Ulrich Petschow, Christian Pade, Rolf-Ulrich Sprenger, Michael Steinfeldt,
Arnim von Gleich, Ursula Ammon

Umweltschutz, Umwelttechnik und Marktpotenziale – Chancen der Nano-technologie für NRW

Schriftenreihe des IÖW 195/10

i | ö | w INSTITUT FÜR ÖKOLOGISCHE WIRTSCHAFTSFORSCHUNG

Auftraggeber:
Ministerium für Umwelt und Naturschutz,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen

Ulrich Petschow, Christian Pade, Rolf-Ulrich Sprenger, Michael Steinfeldt,
Arnim von Gleich, Ursula Ammon
(unter Mitarbeit von Jakob Höhne und Helene Samyschew)

Umweltschutz, Umwelttechnik und Marktpotenziale – Chancen der Nanotechnologie für NRW

Schriftenreihe des IÖW 195/10
Berlin, März 2009

Studie im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, **gefördert unter dem Titel "Chancen der Nanotechnologie für den Umweltschutz und in der Umwelttechnik und Marktpotenziale für NRW"**

ISBN 978-3-932092-98-5

Impressum

Herausgeber:
Institut für ökologische
Wirtschaftsforschung (IÖW)
Potsdamer Straße 105
D-10785 Berlin
Tel. +49 – 30 – 884 594-0
Fax +49 – 30 – 882 54 39
E-mail: mailbox@ioew.de
www.ioew.de

Auftraggeber:

Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen

Ministerium für Umwelt und Naturschutz,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen

In Kooperation mit:

Universität Bremen

Universität Bremen
FG Technikgestaltung und Technologieentwicklung
FB Produktionstechnik

und

sfs
sozial
forschungs
stelle
dortmund

Sozialforschungsstelle Dortmund (sfs)
Universität Dortmund, Zentrale wissenschaftliche Einrichtung (ZWE)

Zusammenfassung

Das Ziel der Studie war, die Potenziale der Nanotechnologien für den Umweltschutz und in der Umwelttechnik in Nordrhein-Westfalen zu analysieren. Methodisch wurde die relevante Literatur aufgearbeitet und zwei schriftliche Unternehmensbefragungen durchgeführt. Eine Befragung richtete sich an Unternehmen, die Nanotechnologien nutzen und bei denen Umweltentlastungseffekte erwartbar sind, die andere Befragung richtete sich an Umwelttechnikunternehmen in NRW. Anschließend wurden vertiefende Interviews mit Nanotechnologieunternehmen und Umwelttechnikunternehmen durchgeführt. Des Weiteren wurden die Förderansätze und – bedingungen (insbes. FuE Infrastruktur) analysiert und drei vertiefende Technikanalysen (Membrantechnologien, Katalyse und Farben und Lacke) in Bereichen, in denen NRW eine besondere Wettbewerbsposition hat, durchgeführt. Ebenso wurden die Beschäftigungseffekte der Nanotechnologien in NRW analysiert. Im Rahmen einer SWOT Analyse wurden die Ergebnisse zusammengeführt. Wesentliche Ergebnisse der Studie waren: (i) NRW verfügt über eine gute Wettbewerbssituation bzgl. der Nanotechnologien, (ii) der Wissenstransfer insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen sollte verstärkt in den Fokus der Förderpolitik gelangen und (iii) ein besonderer Förder- und Entwicklungsbedarf besteht bei den Umwelttechnikunternehmen (nicht allein in NRW), die bislang nur in begrenztem Umfang mit Nanotechnologien befasst sind und die, durch die klein- und mittelständische Struktur, auf sie zugeschnittene Förder- und Informationsangebote benötigen. Letzteres gilt auch für die Unternehmen, die nicht dem Umwelttechniksektor zuzurechnen sind.

Abstract

The aim of the study was to analyse the potentials of nanotechnologies for environmental protection as well as for the environmental industry sector in North Rhine-Westphalia. The analytical approach included an analysis of the relevant literature as well as two written questionnaires which were given to companies. One of the questionnaires addressed companies which were using nanotechnologies due to which positive effects for the environment were to be expected. The other questionnaire addressed environmental technology companies in North Rhine-Westphalia. More detailed and further-reaching interviews were also conducted with nanotechnology companies and environmental technology companies. In addition to that, there was an analysis of existing funding approaches and conditions (especially of R&D infrastructure). Furthermore, three detailed analysis of techniques (diaphragm technology, catalysis and paint and lacquer) were made in areas in which North Rhine-Westphalia is in a special competitive position. The effects of nanotechnology on the employment situation in North Rhine-Westphalia were also analysed. A summarising SWOT analysis was also made, the findings of which were i) North Rhine-Westphalia is in a positive competitive situation with regards to nanotechnology; ii) the transfer of knowledge, especially for smaller and middle-sized companies, should be more in the focus of funding policies; iii) there is a special need to fund environmental technology companies which have only very little experience with nanotechnologies (not only in North Rhine-Westphalia) and which, owing to their small or middle-sized structure, need especially designed possibilities of funding and distribution of information. This last point also applies for non-environmental technology companies.

Für den Inhalt zeichnen die Autoren verantwortlich. Die geäußerten Auffassungen stimmen nicht unbedingt mit der Meinung des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen überein.

Die Autorinnen und Autoren

Ulrich Petschow ist Leiter des Forschungsfeldes Umweltökonomie und –politik im IÖW. Er hat sich in den vergangenen Jahren insbesondere auch mit der Entwicklung und Gestaltung der Nanotechnologien befasst und deren ökonomischen Potenzialen.
Kontakt: Ulrich.Petschow@ioew.de
Tel. +49 – 30 – 884 594-0

Christian Pade ist B.Sc. (Environmental and Ressource Management) und M.A (Öffentliches und betriebliches Umweltmanagement). Christian Pade hat sich in seiner Masterarbeit insbesondere mit der Frage der Bionik, Innovation und Nachhaltigkeit befasst. Im IÖW hat er maßgeblich an einer Studie zur Bionik, einer Studie zu den Potenzialen der Nanotechnologie in NRW und an der vorliegenden Studie mitgearbeitet.

Rolf-Ulrich Sprenger ist fellow am IÖW und war Professor am College of Europe. Rolf Sprenger hat sich mit umweltökonomischen Fragestellungen befasst und insbesondere auch mit denen der Umwelttechnik und Arbeitsplatzeffekten des Umweltschutzes.

Arnim von Gleich ist Professor an der Universität Bremen und Leiter des Fachgebiets 10 Technik Gestaltung - Technologie Entwicklung. Er befasst sich seit Jahren mit der Gestaltung von Stoffströmen (Industrial ecology und Bionik) sowie mit der Gestaltung von Innovationsprozessen. Armin von Gleich war und ist Mitglied unterschiedlicher (Risiko-) Kommissionen, wie gegenwärtig der Nanokommission.

Michael Steinfeldt ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Bremen in Fachbereich 10 (Technik Gestaltung - Technologie Entwicklung). Michael Steinfeld ist Ingenieur für Verfahrenstechnik, ist Spezialist für Life-Cycle-Analysis und befasst sich aktuell mit den Ansätzen der prospektiven Ökobilanzierung für Anwendungsfälle aus dem Bereich der Nanotechnologie.

Ursula Ammon ist wissenschaftliche Mitarbeiterin an der TU Dortmund, Sozialforschungsstelle (sfs) im Forschungsbereich 6: Nachhaltige Organisations- und Technikgestaltung. Ursula Ammon hat sich mit Innovation und neuen Technologien sowie Organisationsgestaltung befasst.

Vorbemerkung

Die Erstellung der Studie wurde zum einen durch einen externen Begleitkreis und zum anderen durch MitarbeiterInnen der unterschiedlichen Fachabteilungen des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalens, sowie des Ministeriums für Innovation, Wissenschaft, Forschung und Technologie und dem Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Energie begleitet.

In dem externen Begleitkreis waren repräsentiert:

- Dr. Péter Krüger (Bayer AG)
- Dr. Markus Pridöhl (Evonik AG)
- Dr. Christine Neuy (IVAM, Fachverband für Mikrotechnik e.V.)
- Dr. Dr. Axel Zweck; Dr. Wolfgang Luther (VDI Technologiezentrum GmbH)
- Prof. Dr. Heinz Fißan (Institut für Energie und Umwelt, IUTA, e.V.)
- Dr. Andreas Tietmann (Rheinland Venture Capital, RVC, GmbH & Co. KG)
- Dr. Wolfgang Buscher (Zentrum für Nanotechnologie, CeNTech, GmbH)

Im Verlauf der Erstellung der Studie fanden drei Treffen des Begleitkreises statt, in welchen die Studienfortschritte intensiv diskutiert und wichtige Hinweise gegeben wurden.

Wir möchten uns hiermit recht herzlich für das hohe Engagement des Begleitkreises bedanken.

Ebenso gilt unser Dank den Unternehmen, die die Fragebögen ausgefüllt haben, den Unternehmern und Mitarbeitern die für vertiefende Interviews zur Verfügung standen, sowie den Wirtschafts- und Wissenschaftsförderern und Wissenschaftlern, die uns im Rahmen von Interviews wichtige Hinweise für die Erstellung der Studie gegeben haben.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis **8**

Abbildungsverzeichnis **14**

Tabellenverzeichnis **18**

Kurzfassung der Studie **20**

1 Einleitung **100**

2 Ziele und Vorgehen der Studie **102**

3 Nanotechnologische Verfahren und Produkte **105**

3.1 Ziele, Vorgehen und Methoden ***105***

3.1.1 Identifikation von nanotechnologischen Produkten und Verfahren 105

3.1.2 Kategorisierung und Bewertung der identifizierten nanotechnologischen Produkte und Verfahren 108

3.1.2.1 Bewertung der identifizierten nanotechnologischen Produkte und Verfahren hinsichtlich ihrer Relevanz für Umwelttechnik und Umweltschutz 110

3.1.2.2 Kategorisierung der identifizierten nanotechnologischen Produkte und Verfahren hinsichtlich der zugrundeliegenden Nanofunktionalitäten 113

3.1.2.3 Differenzierung der identifizierten nanotechnologischen Produkte und Verfahren nach regionaler Herkunft der jeweiligen Anbieter/Anwender 114

3.1.2.4 Differenzierung der identifizierten nanotechnologischen Produkte und Verfahren nach ihrem jeweiligen Entwicklungsstand 115

3.2 Nanotechnologische Produkte und Verfahren – Übersicht ***116***

3.3 Konkrete Nanotechnologische Produkte und Verfahren für die Umwelttechnik und den Umwelt- und Ressourcenschutz ***119***

3.3.1 Am Markt befindliche Produkte und Verfahren 122

3.3.2 In der Forschung und Entwicklung befindliche Produkte und Verfahren 129

3.3.3 Differenzierung nach Anbietern/Herstellern aus NRW und den anderen Bundesländern 135

3.4 Übersicht der Nanofunktionalitäten und deren aktuelle Bedeutung für den Umwelt- und Ressourcenschutz ***137***

3.4.1 Oberflächenfunktionalisierung/Beschichtung 137

3.4.1.1 „Easy-to-clean“, Anti-Haftung und „Anti-fingerprint“ 137

3.4.1.2 UV-Schutz 139

3.4.1.3 Antireflex-Beschichtungen 140

3.4.1.4 Korrosionsschutz 141

3.4.1.5 Schutz gegen Mikroben 142

3.4.1.6 Kratzfestigkeit 144

3.4.2 Werkstoffbeschaffenheitsänderungen/Neue Materialien 144

3.4.2.1 verstärkte/bessere mechanische Beanspruchbarkeit 145

3.4.2.2 Gewichtsreduktion 147

3.4.2.3 Volumenreduktion und verbesserte thermische Eigenschaften 148

3.4.2.4 Verbesserte elektrische und optische Eigenschaften 149

3.4.3 Katalytische Prozesse 151

3.4.4 Membranen 153

3.4.5 Analytik ... 155
3.5 Zusammenfassung ... 156
4 Risiken nanotechnologischer Produkte und Verfahren ... 169
4.1 Einleitung ... 169
4.2 Potenzielle Risiken ... 169
4.3 Ansatz zur vorläufigen Bewertung von Nanomaterialien - Besorgnisanalyse ... 175
4.4 Zusammenfassung ... 177
5 Anbieter und Anwender der Nanotechnologie ... 178
5.1 Schriftliche Unternehmensbefragung ... 178
5.1.1 Vorgehen und Methoden ... 178
5.1.1.1 Umfrage unter deutschen Nanotechnologie-Unternehmen ... 178
5.1.1.2 Umfrage unter nordrhein-westfälischen Umweltwirtschafts-Unternehmen ... 178
5.1.2 Ergebnisse ... 179
5.1.2.1 Umfrage unter deutschen Nanotechnologie-Unternehmen ... 181
5.1.2.1.1 Strukturelle Zusammensetzung der Unternehmen ... 181
5.1.2.1.2 Tätigkeitsfelder der Unternehmen ... 183
5.1.2.1.3 Stadium der Entwicklung der Leistungsangebote im Bereich Nanotechnologie ... 185
5.1.2.1.4 Anwendungsbereiche der Leistungsangebote im Bereich Nanotechnologie ... 189
5.1.2.1.5 Leistungsangebote im Bereich Nanotechnologie nach Nano-Funktionalitäten ... 190
5.1.2.1.6 Beitrag des Leistungsangebots im Bereich Nanotechnologie zum Umwelt- und Ressourcenschutz ... 194
5.1.2.1.7 Absatzmärkte der Leistungsangebote im Bereich Nanotechnologie ... 201
5.1.2.1.8 Vorleistungsbezug ... 206
5.1.2.1.9 Wettbewerber ... 208
5.1.2.1.10 Kooperationspartner der Unternehmen ... 213
5.1.2.1.11 Innovationsaktivitäten der Unternehmen im Bereich Nanotechnologie ... 216
5.1.2.1.12 Einschätzung der Entwicklung der Nanotechnologieaktivitäten durch die Unternehmen ... 219
5.1.2.2 Zusammenfassung der Aussagen des Berichtskreises „Nanotechnologieunternehmen“ ... 221
5.1.2.3 Umfrage unter nordrhein-westfälischen Umweltwirtschafts-Unternehmen ... 225
5.1.2.3.1 Strukturelle Zusammensetzung der Unternehmen ... 225
5.1.2.3.2 Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten der Unternehmen ... 229
5.1.2.3.3 Kooperationspartner und Informationsquellen der Unternehmen ... 231
5.1.2.3.4 Bezug der Unternehmen zu Nanotechnologie ... 233
5.1.2.3.5 Einschätzung seitens der Unternehmen bezüglich des Einflusses der Nanotechnologie auf die jeweiligen Märkte der Unternehmen ... 235
5.1.2.3.6 Die Gründe für den Einsatz von Nanotechnologie ... 243
5.1.2.3.7 Hemmende Faktoren der Entwicklung und Anwendung aus Sicht der Unternehmen ... 244
5.1.2.3.8 Einschätzung von Fördermaßnahmen durch die Unternehmen ... 246
5.1.2.4 Zusammenfassung der Aussagen des Berichtskreises Unternehmen des Umweltmarktes ... 247
5.1.3 Zusammenfassung der Befragung der Nanotechnologieunternehmen und der Unternehmen des Umweltmarktes ... 250
5.2 Unternehmensinterviews ... 253
5.2.1 Vorgehen und Methoden ... 253
5.2.2 Ergebnisse ... 257
5.2.2.1 Wettbewerber (allgemein) ... 257
5.2.2.2 Wettbewerber hinsichtlich nanotechnologischer Produkte/Verfahren ... 257
5.2.2.3 Zulieferer und Abnehmer (allgemein) ... 257
5.2.2.4 Zulieferer hinsichtlich nanotechnologischer Produkte/Verfahren ... 258
5.2.2.5 Abnehmer hinsichtlich nanotechnologischer Produkte/Verfahren ... 258
5.2.2.6 Forschung und Entwicklung ... 258
5.2.2.7 Rolle der Nanotechnologie in den nanotechnologischen Produkten/Verfahren ... 259

5.2.2.8 Treiber der Entwicklung nanotechnologischer Produkte/Verfahren ... 260
5.2.2.9 Hemmnisse der Entwicklung nanotechnologischer Produkte/Verfahren ... 261
5.2.2.10 Öffentliche Förderung ... 263
5.2.2.11 Einschätzung der weiteren Entwicklung der Nanotechnologie ... 264
5.2.2.12 Zusammenfassung Unternehmensinterviews ... 264

5.3 Fazit ... 266

6 Marktpotenziale nanotechnologischer Produkte und Verfahren ... 268

6.1 Methodische Besonderheiten ... 268

6.2 Prognosen bezüglich der Nanotechnologiemärkte ... 270

6.3 Prognosen des Umweltwirtschaftsmarktes ... 274

6.3.1 Bestandsaufnahme ... 274
6.3.1.1 Inland ... 274
6.3.1.2 Weltmarkt ... 277
6.3.2 Dynamiken ... 279

6.4 Fazit ... 282

7 Vertiefungsstudien ... 284

7.1 Katalyse ... 284

7.1.1 Einleitung ... 284
7.1.2 Katalyse ... 285
7.1.2.1 Definition ... 285
7.1.2.2 Bedeutung der Katalyse im Allgemeinen ... 285
7.1.2.3 Bedeutung der Katalyse für den Umwelt- und Ressourcenschutz ... 286
7.1.2.4 Beispiele und Anwendungsfelder ... 287
7.1.2.5 Katalyse in der Umwelt- („end-of-pipe“) und Energietechnik ... 288
7.1.3 Nanokatalyse ... 290
7.1.3.1 Nanokatlyse als eigenständiges Forschungs-/Entwicklungs- und Anwendungsfeld ... 290
7.1.3.2 Beispiele von Nanokatalysatoren und deren Anwendungen im Umweltbereich ... 291
7.1.3.3 Fazit Nanokatalyse ... 297
7.1.4 Katalyseforschung und -entwicklung in NRW ... 298
7.1.5 Zusammenfassung ... 305

7.2 Membrantechnologie ... 306

7.2.1 Einleitung ... 306
7.2.2 Membrantechnologie: Begriffe und Klassifikationen ... 306
7.2.2.1 Membranen und Module ... 306
7.2.2.2 Klassische Membranverfahren ... 310
7.2.2.3 Andere Membranverfahren ... 313
7.2.3 Anwendungsfelder der Membrantechnologie ... 315
7.2.4 Marktpotenziale von Membranen, Membranmodulen und -verfahren ... 325
7.2.5 Potenziale der Nanotechnologie für Membrantechnik und -verfahren ... 330
7.2.5.1 Membrantechnologie und Nanotechnologie: Schwierige Ein- und Abgrenzung ... 330
7.2.5.2 Protonenaustauschermembranen für Brennstoffzellen ... 333
7.2.5.3 Membranherstellung unter Verwendung von Block-Copolymeren ... 335
7.2.5.4 Membranen mit Kohlenstoff-Nanoröhren für die Wasseraufbereitung ... 336
7.2.5.5 Ultradünnschicht-Membranen ... 339
7.2.5.6 Nanopartikel in Polymermembranen ... 340
7.2.6 Zusammenfassung und Fazit zum Vertiefungsfall Membrantechnologie ... 341

7.3 Oberflächenfunktionalisierung ... 343

7.3.1 Bedeutung der Oberflächenfunktionalisierung ... 344

7.3.2 Nanotechnologische Einsatzmöglichkeiten in der Oberflächentechnik bzw. im Farben- und Lackbereich ... 346
7.3.2.1 Verschiedene Nanonutzungen ... 346
7.3.2.2 Beispiele für Oberflächenfunktionalisierungen ... 347
7.3.2.2.1 Antimikrobielle Beschichtungen ... 348
7.3.2.2.2 Photokatalytische Beschichtungen (Self-Cleaning) ... 349
7.3.2.2.3 Superhydrophobe Beschichtungen (Lotus-Effekt, Easy-to-Clean) ... 350
7.3.2.2.4 Superhydrophile Beschichtungen (Easy-to-Clean) ... 350
7.3.2.2.5 Kratzfeste Beschichtungen ... 351
7.3.2.2.6 Barrierebildner/Diffusionssperren ... 351
7.3.2.2.7 Nanolacke/dünne Nanoschichten ... 352
7.3.2.3 Zwischenfazit ... 352
7.3.3 Bedeutung für NRW ... 353
7.3.4 Zusammenfassung ... 355

8 Abschätzung der Beschäftigungspotenziale durch Herstellung und Nutzung nanotechnologischer Produkte und Verfahren in Deutschland ... 356

8.1 Vorgehen und Methoden ... 356
8.1.1 Vergleich der methodischen Ansätze und Datenquellen ... 357

8.2 Ergebnisse ... 361
8.2.1 Die vermutete Grundgesamtheit von Unternehmen im Bereich Nanotechnologie ... 362
8.2.2 Beschäftigte in Nanotechnologie-Unternehmen ... 365
8.2.3 Nano-Anteile der Beschäftigten in Unternehmen mit Nano-Aktivitäten ... 369
8.2.4 Hochrechnung der Nanobeschäftigten für die vermutete Grundgesamtheit von Nano-Unternehmen ... 371
8.2.5 Schätzung des Beschäftigungspotenzials von Nanotechnologien ... 372
8.2.6 Erwartete Beschäftigungsentwicklung in den Nano-Unternehmen ... 374

8.3 Fazit ... 376

9 FuE-Infrastruktur und -förderung, Technologietransfer und Netzwerke mit Bezug zur Nanotechnologie in NRW ... 378

9.1 Zur Definition der Begriffe „Netzwerk“ und „Cluster“ ... 378

9.2 Zur Bedeutung von Netzwerkbildungen ... 378

9.3 Empirisches Vorgehen ... 380

9.4 Charakterisierung und Typisierung wichtiger Nanotechnologie-Cluster und -Netzwerke in NRW ... 382
9.4.1 Forschungscluster ... 382
9.4.1.1 Übersicht Forschungscluster ... 382
9.4.1.2 Universitäre Forschungscluster ... 383
9.4.1.3 „NRW-Forschungscluster“ ... 389
9.4.1.4 Anwendungsorientierte Forschungscluster ... 391
9.4.1.5 Wirtschaftsorientierte FuE-Cluster ... 393
9.4.2 Forschungs- bzw. Technologie-Netzwerke ... 399
9.4.2.1 Übersicht Forschungs- bzw. Technologie-Netzwerke ... 400
9.4.2.2 Wirtschaftsorientierte Netzwerke ... 400
9.4.2.3 Forschungsorientierte Netzwerke ... 404
9.4.3 Vernetzungen zwischen Nanotechnologien und Umweltforschung ... 405

9.5 Bewertung der Befunde zur FuE-Infrastruktur im Bereich Nanowissenschaften/Nanotechnologien in NRW ... 409

9.6 Zur Förderpolitik des Landes NRW im Bereich der Nanotechnologie ... 419

9.6.1 Die neue Innovationsstrategie der Landesregierung ... 419
9.6.2 Bedeutung der Nanotechnologie in der Innovationsstrategie ... 421
9.6.3 *Bewertung* ... 421

10 Förderlandschaft ... 425
10.1 Vorgehen und Methoden ... 425
10.2 Ergebnisse ... 425
10.2.1 Förderprogramme auf Bundesebene mit Bezug zur Nanotechnologie ... 425
10.2.2 Verteilung der Projekte und der Fördersummen auf die einzelnen Bundesländer ... 428
10.3 Zwischenfazit ... 437

11 SWOT Analyse und Handlungsempfehlungen für NRW ... 439
11.1 SWOT-Analyse zur Nanotechnologie in Deutschland ... 439
11.2 SWOT Analyse für Nanotechnologien in NRW ... 441
11.2.1 Stärken der Nanotechnologien/Nanowissenschaften in NRW ... 441
11.2.2 Schwächen der Nanotechnologien/Nanowissenschaften in NRW ... 443
11.2.3 Chancen ... 447
11.2.4 Herausforderungen ... 448
11.2.5 Zusammenfassung SWOT ... 449
11.3 Handlungsempfehlungen ... 451
11.3.1 Erhalten der Stärken ... 451
11.3.2 Überwindung der Schwächen ... 452
11.3.3 Nutzen der Chancen ... 456
11.3.4 Bewältigung der Herausforderungen ... 456
11.3.5 Zusammenfassung Handlungsempfehlungen ... 458

12 Literatur ... 459

13 Anhang 473

I. Verwendete Quellen zur Recherche von nanotechnologischen Produkten und Verfahren für die Umwelttechnik, den Umwelt- und den Ressourcenschutz 473

II. Fragebogen für Nano-Unternehmen 476

III. Fragebogen für Unternehmen des Umwelttechnikmarktes 480

IV. Leitfaden der Unternehmensinterviews 485

V. Wachstumsraten und Marktvolumina im Bereich Nanotechnologie 495

VI. Leitfaden der Interviews mit VertreterInnen von Netzwerken, Clustern und Technologiezentren sowie universitärer und außeruniversitärer Forschung und Entwicklung 499

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau und Vorgehen des Projekts ... *22*
Abbildung 2: Erwartbare nanotechnologiebasierte relevante Anwendungen und Konzepte im Umwelt- bzw. Energiebereich ... *47*
Abbildung 3: Prognostizierte Marktvolumina im Bereich Nanotechnologie [in Milliarden US-Dollar] ... *57*
Abbildung 4: Beitrag der nanotechnologischen Leistungsangebote zum Umwelt- und Ressourcenschutz ... *62*
Abbildung 5: Umweltrelevante Anwendungsbereiche des nanotechnologischen Leistungsangebots ... *63*
Abbildung 6: Bedeutung der Umwelt- und Ressourceneffekte des nanotechnologischen Leistungsangebots ... *64*
Abbildung 7: Umsätze mit nanotechnologischen Leistungsangeboten nach Ländern/Regionen ... *64*
Abbildung 8: Herkunft der stärksten Wettbewerber bezüglich der nanotechnologischen Leistungsangebote nach Ländern/Regionen ... *65*
Abbildung 9: Die größten Wettbewerbsvorteile der stärksten Wettbewerber bezüglich nanotechnologischer Leistungsangebote ... *66*
Abbildung 10: Kooperationspartner in der Forschung und Entwicklung bezüglich nanotechnologischer Leistungsangebote ... *67*
Abbildung 11: Einschätzung der Entwicklung der Nanotechnologie-Aktivitäten im Jahresdurchschnitt 2008-2010 im Vgl. zu 2007 ... *68*
Abbildung 12: Kooperationspartner und Informationsquellen der Umweltwirtschafts-Unternehmen ... *70*
Abbildung 13: Erwartungen des Einflusses der Nanotechnologie auf das jeweilige Marktsegment ... *71*
Abbildung 14: Erwarteter Einfluss der Nanotechnologie auf unser Marktsegment ... *72*
Abbildung 15: Unternehmen derzeit mit Nanotechnologie beschäftigt ... *73*
Abbildung 16: Gründe der Unternehmen des Umweltmarktes, sich derzeit nicht mit Nanotechnologie zu beschäftigen . *73*
Abbildung 17: Einsatzbereiche der Umwelttechnikprodukte mit Bezug zur Nanotechnologie ... *75*
Abbildung 18: Innovationshemmnisse ... *77*
Abbildung 19: Gewünschte Unterstützungsmaßnahmen ... *78*
Abbildung 20: Profile der Nano-FuE-Cluster in NRW ... *85*
Abbildung 21: Profile der Nano-Netzwerke in NRW ... *88*
Abbildung 22: Projektablauf ... *102*
Abbildung 23: Matrix nanotechnologischer Produkte und Verfahren in der Umwelttechnik und für den Umweltschutz *109*
Abbildung 24: Erwartbare nanotechnologiebasierte relevante Anwendungen und Konzepte im Umwelt- bzw. Energiebereich ... *119*
Abbildung 25: Am Markt befindliche nanotechnologische Produkte und Verfahren für die Umwelttechnik und den Umweltschutz ... *123*
Abbildung 26: In der Forschung und Entwicklung befindliche nanotechnologische Produkte und Verfahren für die Umwelttechnik und den Umweltschutz ... *130*
Abbildung 27: Zeitliche Lücken zwischen Nanoprodukten am Markt und Kenntnissen zum Umwelt- und Gesundheitswirkungen ... *174*
Abbildung 28: Im Bereich der Nanotechnologie aktive Unternehmen ... *181*
Abbildung 29: Im Nanobereich aktive Unternehmen differenziert nach Größe ... *182*
Abbildung 30: Unternehmen differenziert nach ihren Tätigkeiten im Bereich der Nanotechnologie ... *183*
Abbildung 31: Tätigkeiten im Bereich der Nanotechnologie ... *184*
Abbildung 32: Entwicklungsstand der bedeutendsten nanotechnologischen Leistungsangebote ... *185*
Abbildung 33: Entwicklungsstand der drei bedeutendsten nanotechnologischen Leistungsangebote differenziert nach Unternehmensgröße ... *186*
Abbildung 34: Systematisierung der nanotechnologischen Leistungsangebote der Unternehmen ... *187*
Abbildung 35: Zuordnung des nanotechnologischen Leistungsangebots zu Nanotechnologiebereichen ... *188*
Abbildung 36: Zuordnung des nanotechnologischen Leistungsangebots zu Anwendungsbereichen ... *189*

Abbildung 37: Nanotechnologisches Leistungsangebot nach Nano-Funktionalitäten 190
Abbildung 38:Nanotechnologisches Leistungsangebot im Bereich "Verbesserung von Werkstoffeigenschaften" 191
Abbildung 39: Nanotechnologisches Leistungsangebot im Bereich "Oberflächenfunktionalisierung" 192
Abbildung 40: Nanotechnologisches Leistungsangebot im Bereich "Ermöglichung oder Verbesserung katalytischer Prozesse" 193
Abbildung 41: Nanotechnologisches Leistungsangebot im Bereich "Ermöglichung oder Verbesserung von Filterprozessen" 193
Abbildung 42: Beitrag der nanotechnologischen Leistungsangebote zum Umwelt- und Ressourcenschutz 194
Abbildung 43: Beitrag der nanotechnologischen Leistungsangebote der NRW-Unternehmen zum Umwelt- und Ressourcenschutz 195
Abbildung 44: Bedeutung der Umwelt- und Ressourceneffekte des nanotechnologischen Leistungsangebots 196
Abbildung 45: Umweltrelevante Anwendungsbereiche des nanotechnologischen Leistungsangebots 197
Abbildung 46: Umweltrelevante Anwendungsbereiche des nanotechnologischen Leistungsangebots, differenziert nach NRW/Deutschland 198
Abbildung 47: Anwendungsbereiche des nanotechnologischen Leistungsangebots differenziert nach umweltrelevanten Anwendungen 199
Abbildung 48: Zuordnung des nanotechnologischen Leistungsangebots zu Anwendungsbereichen, differenziert nach deutschen und NRW-Unternehmen 200
Abbildung 49: Umsätze mit nanotechnologischen Leistungsangeboten nach Ländern/Regionen 201
Abbildung 50: Umsätze mit nanotechnologischen Leistungsangeboten nach Ländern/Regionen in Umsatzanteilen 202
Abbildung 51: Umsätze mit nanotechnologischen Leistungsangeboten nach Ländern/Regionen, differenziert nach deutschen und NRW-Unternehmen 203
Abbildung 52: Umsätze mit nanotechnologischen Leistungsangeboten nach Ländern/Regionen, differenziert nach deutschen und NRW-Unternehmen 204
Abbildung 53: Umsätze mit nanotechnologischen Leistungsangeboten nach Ländern/Regionen, differenziert nach Unternehmensgröße (Mitarbeiter) 205
Abbildung 54: Herkunft der Vorprodukte und Vorleistungen der nanotechnologischen Leistungsangebote nach Ländern/Regionen 206
Abbildung 55: Herkunft der Vorprodukte und Vorleistungen der nanotechnologischen Leistungsangebote nach Ländern/Regionen, differenziert nach deutschen und NRW-Unternehmen 206
Abbildung 56: Herkunft der Vorprodukte und Vorleistungen der nanotechnologischen Leistungsangebote nach Ländern/Regionen, differenziert nach Unternehmensgröße (Mitarbeiter) 207
Abbildung 57: Herkunft der stärksten Wettbewerber bezüglich der nanotechnologischen Leistungsangebote nach Ländern/Regionen 208
Abbildung 58: Herkunft der stärksten Wettbewerber bezüglich der nanotechnologischen Leistungsangebote nach Ländern/Regionen, differenziert nach deutschen und NRW-Unternehmen 209
Abbildung 59: Herkunft der stärksten Wettbewerber bezüglich der nanotechnologischen Leistungsangebote nach Ländern/Regionen , differenziert nach deutschen und NRW-Unternehmen 210
Abbildung 60: Die größten Wettbewerbsvorteile der stärksten Wettbewerber bezüglich nanotechnologischer Leistungsangebote 211
Abbildung 61: Die größten Wettbewerbsvorteile der stärksten Wettbewerber bezüglich nanotechnologischer Leistungsangebote, differenziert nach deutschen und NRW-Unternehmen 212
Abbildung 62: Kooperationspartner in der Forschung und Entwicklung bezüglich nanotechnologischer Leistungsangebote 213
Abbildung 63: Kooperationspartner in der Forschung und Entwicklung bezüglich nanotechnologischer Leistungsangebote, differenziert nach deutschen und NRW-Unternehmen 214
Abbildung 64: Kooperationspartner in der Forschung und Entwicklung bezüglich nanotechnologischer Leistungsangebote, differenziert nach Unternehmensgröße 215
Abbildung 65: Aktivitäten, an denen sich Nanotechnologie-Innovationen messen lassen 216
Abbildung 66: Aktivitäten, an denen sich Nanotechnologie-Innovationen messen lassen, differenziert nach deutschen und NRW-Unternehmen 217

Abbildung 67: Aktivitäten, an denen sich Nanotechnologie-Innovationen messen lassen, differenziert nach Unternehmensgröße (Mitarbeiter) *218*
Abbildung 68: Einschätzung der Entwicklung der Nanotechnologie-Aktivitäten im Jahresdurchschnitt 2008-2010 im Vgl. zu 2007 ..... *219*
Abbildung 69: Unternehmen, die für 2008-2010, verglichen zu 2007 zunehmende Aktivitäten im Bereich Nanotechnologie erwarten, differenziert nach Unternehmensgröße *220*
Abbildung 70: Unternehmen, die für 2008-2010, verglichen zu 2007 zunehmende Aktivitäten im Bereich Nanotechnologie erwarten, differenziert nach Unternehmensgröße *220*
Abbildung 71: Aktive Unternehmen auf dem Umweltmarkt *225*
Abbildung 72: Aktive Unternehmen auf dem Umweltmarkt, differenziert nach Unternehmensgröße *225*
Abbildung 73: Differenzierung der Aktivitäten nach Segmenten *226*
Abbildung 74: Nachsorgender Umweltschutz *227*
Abbildung 75: Integrierter Umweltschutz *227*
Abbildung 76: Ressourcenmanagement *228*
Abbildung 77: Eigenständige FuE *229*
Abbildung 78: Eigenständige FuE, differenziert nach Unternehmensgröße *230*
Abbildung 79: Kooperationspartner/Informationsquellen *231*
Abbildung 80: Kooperationspartner/Informationsquellen, differenziert nach Unternehmensgröße *232*
Abbildung 81: Unternehmen derzeit mit Nanotechnologie beschäftigt *233*
Abbildung 82: Falls nein... ..... *234*
Abbildung 83: Falls ja... ..... *235*
Abbildung 84: Erwartungen des Einflusses der Nanotechnologie auf das jeweilige Marktsegment *235*
Abbildung 85: Erwarteter Einfluss der Nanotechnologie auf unser Marktsegment *236*
Abbildung 86: Nachsorgender Umweltschutz *237*
Abbildung 87: Integrierter Umweltschutz *238*
Abbildung 88: Ressourcenmanagement *239*
Abbildung 89: Einsatzbereiche der Umwelttechnikprodukte mit Bezug zur Nanotechnologie *240*
Abbildung 90: Unser Umweltangebot unter Einsatz der Nanotechnologie bedeutet für uns... ..... *240*
Abbildung 91: Unser Umweltangebot unter Einsatz der Nanotechnologie bedeutet für uns... ..... *241*
Abbildung 92: Die Nutzung unserer Umweltmarktangebote unter Einsatz der Nanotechnologie rechnet sich bei unseren Kunden schätzungsweise *242*
Abbildung 93: Wir setzen Nanotechnologie statt herkömmlicher Technik ein *243*
Abbildung 94: Unsere Dienstleistungen bzw. Produkte tragen in folgender Weise zum Umwelt- und Ressourcenschutz bei *244*
Abbildung 95: Innovationshemmnisse *245*
Abbildung 96: Folgende Unterstützungsmaßnahmen würden wir für sinnvoll erachten *246*
Abbildung 97: Folgende Unterstützungsmaßnahmen würden wir für sinnvoll erachten, differenziert nach Unternehmensgröße *247*
Abbildung 98: Weltmarktprognose für Nanotechnologie in Mrd. US-$ *270*
Abbildung 99: Umwelttechnologie-Patente mit einem Bezug zu Nanotechnologie *272*
Abbildung 100: Risikokapital-Investitionen in Umwelttechnologien mit einem Bezug zu Nanotechnologie *273*
Abbildung 101: Umatz mit Waren, Bau- und Dienstleistungen für den Umweltschutz nach Leistungsarten *275*
Abbildung 102: Umsatz für den Umweltschutz insgesamt nach Umweltbereichen *276*
Abbildung 103: Im Inland wirksame Nachfrage nach Umweltschutzgütern in Deutschland *277*
Abbildung 104: Welthandelsanteile von potenziellen Umweltschutzgütern 1989-2003 ..... *278*
Abbildung 105: Erwartete durchschnittliche jährliche Wachstumsraten in Umwelttechnikbereichen *280*
Abbildung 106: Bedeutung der Katalyse, insbesondere für die Nachhaltigkeit *287*
Abbildung 107: Einrichtungen der Katalyseforschung und -entwicklung in Deutschland nach Bundesländern *299*
Abbildung 108: die 10 laut Web of Science zu den Schlagworten „nano“ UND „cataly* “meist publizierenden Länder der Welt für den Zeitraum 1997 bis 2007* *301*
Abbildung 109: die 10 laut Web of Science zu den Schlagworten „nano“ UND „cataly* “meist publizierenden Institutionen in Deutschland für den Zeitraum 1997 bis 2007* *302*

Abbildung 110: nach Bundesländern aufsummierte Anzahl der Publikationen der 100 am meisten zu den Schlagworten „nano“ UND „cataly*“ laut Web of Science publizierenden Institutionen Deutschlands 303*
Abbildung 111: Einrichtungen der Nanotechnologie im Anwendungsfeld „Chemistry/Materials“ in Kombination mit dem Technologiefeld „Nanomaterials/Nanochemistry“ in Deutschland nach Bundesländern 304
Abbildung 112: schematische Darstellung eines Membranmoduls 307
Abbildung 113: grobe Klassifizierung von Membranen 308
Abbildung 114: schematische Strukturbeispiele von Membranen 309
Abbildung 115: schematische Darstellung von Membranen und Membranen (Porenweiten, Größe und Art der jeweils zurückgehaltenen Partikel/Moleküle) 311
Abbildung 116: Membranverfahren und deren typische Partikel- bzw. Molekülgrößen (Permeat) und Druckdifferenzen (Innen- zu Außenwand der Membran) 312
Abbildung 117: Funktionsprinzip der Elektrodialyse 313
Abbildung 118: Aufbau eines Membrankontaktors 314
Abbildung 119: Weltweite Verkäufe von Membranen und Modulen für verschiedene Membranverfahren 326
Abbildung 120: Weltweite Verkäufe von Membranen und Modulen für verschiedene Anwendungen 326
Abbildung 121: Kohlenstoff-Nanoröhren (CNT): a) Zick-zack-Typ; b) Armsessel-Typ; c) Helix-Typ 337
Abbildung 122: Herstellungsverfahren von CNT-Membranen Erläuterungen: siehe Text 339
Abbildung 123: Anteile verschiedener Verfahren an der Oberflächenveredelung 345
Abbildung 124: In der Nanotechnologie aktive Unternehmen nach Bundesländern (2008) 364
Abbildung 125: Anzahl von Nanotechnologie-Unternehmen nach Bundesländern in Relation zum BIP der Länder 364
Abbildung 126: Nanotechnologie-Unternehmen in Deutschland nach Wirtschaftszeigen (2008) 365
Abbildung 127: Beschäftigung (in 2005) in KMU der Nanotechnologie nach WZ (n=521 Unternehmen) 368
Abbildung 128: Beschäftigung (in 2007) in KMU der Nanotechnologie nach WZ (n=291 Unternehmen) 369
Abbildung 129: Anstieg des Personaleinsatzes in Nanotechnologie im Unternehmen 375
Abbildung 130: Entwicklung der Nanotechnologie-Aktivitäten im Jahresdurchschnitt 2008-2010 im Vergleich zu 2007 376
Abbildung 131: Forschungscluster Nanowissenschaften/Nanotechnologien in NRW 383
Abbildung 132: FuE-Netzwerke Nanowissenschaften/Nanotechnologien in NRW 400
Abbildung 133: Profile der Nano-FuE-Cluster in NRW 409
Abbildung 134: Profile der Nano-Netzwerke in NRW 413
Abbildung 135: Fördersummen von Nanotechnologieprojekten seit 1995 nach Leistungs-Plan-Systematik Bund 427
Abbildung 136: Anzahl von Nanotechnologieprojekten seit 1995 differenziert nach Leistungs-Plan-Systematik Bund . 427
Abbildung 137: Bundesförderung Nanotechnologie in NRW und in den sonstigen Bundesländern seit 1995 (in %) 429
Abbildung 138: Fördersummen von Nanotechnologieprojekten in NRW und D seit 1995 nach Leistungs-Plan-Systematik Bund (in%) 430
Abbildung 139: Anzahl der Nanotechnologieprojekte in NRW und D seit 1995, differenziert nach Leistungs-Plan-Systematik (in %) 431
Abbildung 140: Fördersummen von Projekten in der LP-Gruppe "Verfahren und Geräte für die Silizium-Mikro- und Nanoelektronik" in D und NRW (in %) 432
Abbildung 141: Fördersummen in Projekten der LP-Gruppe "Nanotechnologie Branchenspezifische Maßnahmen" in D und NRW (in%) 432
Abbildung 142: Fördersummen in Projekten der LP-Gruppe "Nanotechnologie – Prozesstechnologie“ (in%) 433
Abbildung 143: Fördersummen in Projekten der LP-Gruppe "Nanotechnologie - Interdisziplinäre Technologien" in D und NRW (in%) 433
Abbildung 144: Fördersummen in Projekten der LP-Gruppe „Nanotechnologie – Werkstoffkonzepte“ in D und NRW (in%) 434
Abbildung 145: Fördersummen in Projekten der LP-Gruppe "Nanotechnologie" in D und NRW (in%) 434
Abbildung 146: Fördersummen in Projekten anderer LP-Gruppen mit Nanotechnologie-Bezug in D und NRW 435
Abbildung 147: Bundesförderung Nanotechnologie nach Bundesländern (in Mio.) 436
Abbildung 148: Fördersummen Nanotechnologie in den einzelnen LP-Gruppen nach Bundesländern (in%) 437

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auswahl der wichtigsten am Markt befindlichen identifizierten nanotechnologischen Produkte/Verfahren für den Umweltschutz ... *39*

Tabelle 2: Auswahl der wichtigsten in FuE befindlichen nanotechnologischen Produkte/Verfahren für den Umweltschutz ... *43*

Tabelle 3: Zusammenfassende SWOT Analyse zur Nanotechnologie in NRW ... *93*

Tabelle 4: Definition von umwelt- und ressourcenschutzrelevanten Tätigkeiten ... *112*

Tabelle 5: Auswahl der wichtigsten am Markt befindlichen identifizierten nanotechnologischen ProdukteVerfahren für den Umweltschutz ... *162*

Tabelle 6: Auswahl der wichtigsten in FuE befindlichen identifizierten nanotechnologischen Produkte/Verfahren für den Umweltschutz ... *166*

Tabelle 7: Eigenschaften von Nanopartikeln ... *170*

Tabelle 8: Beispiele für Anwendungen der Membrantechnik ... *315*

Tabelle 9: Marktvolumina und -wachstumsraten verschiedener Membranverfahren und Anwendungsbereiche ... *327*

Tabelle 10: Systematisierung der nanotechnologischen Leistungsangebote der Unternehmen ... *344*

Tabelle 11: Deutschlands 20 umsatzstärkste Hersteller von Farben und Lacken im Jahr 2007 ... *354*

Tabelle 12: Ausgewählte Untersuchungen zu den Beschäftigungseffekten in Nano-Unternehmen: Methoden und Datenquellen ... *357*

Tabelle 13: vermutete Grundgesamtheit von Nanotechnologieunternehmen ... *362*

Tabelle 14: In der Nanotechnologie aktive Akteure nach Bundesländern (2007) ... *363*

Tabelle 15: Anzahl der Gesamtbeschäftigten in Nanotechnologie-Unternehmen ... *366*

Tabelle 16: Beschäftigte in KMU der Nanotechnologie nach Bundesländern (n=521) (Angaben für das Jahr 2005) ... *367*

Tabelle 17: Beschäftigte in KMU der Nanotechnologie nach Bundesländern (Angaben für das Jahr 2007, n=295) ... *368*

Tabelle 18: Nano-Beschäftigte in Nanotechnologie-Unternehmen ... *370*

Tabelle 19: Anteil der Nano-Beschäftigten in Nanotechnologie-Unternehmen der Stichprobe ... *370*

Tabelle 20: Anteil der Nano-Beschäftigten in Nanotechnologie-KMU-Unternehmen des Berichtkreises (n=42) ... *371*

Tabelle 21: Hochrechnung der Nanotechnologie-Beschäftigten für 2002 ... *371*

Tabelle 22: KMU und Beschäftigte in den Kernbereichen mit Nano-Aktivitäten im Jahr 2005 ... *373*

Tabelle 23: Beschäftigungspotenzial in KMU der Kernbereiche mit Nano-Aktivitäten im Jahr 2005 ... *373*

Tabelle 24: SWOT-Analyse zur Nanotechnologie ... *439*

Tabelle 25: Zusammenfassende SWOT Analyse zur Nanotechnologie in NRW ... *449*

Tabelle 26: Handlungsempfehlungen für NRW ... *458*

Kurzfassung der Studie

I. Ziele und Vorgehen der Studie 21

II. Nanotechnologie: Definition und Abgrenzung 24

III. Nanotechnologische Produkte und Verfahren für die Umwelttechnik und den Umweltschutz 27

IV. Risiken nanotechnologischer Produkte und Verfahren 55

V. Marktpotenziale nanotechnologischer Produkte und Verfahren für die Umwelttechnik und den Umweltschutz 56

VI. Anbieter und Anwender nanotechnologischer Produkte und Verfahren für die Umwelttechnik und den Umweltschutz 59

VII. Beschäftigungspotenziale der Nanotechnologien 83

VIII. Forschungs- und Entwicklungs-Infrastruktur in NRW 84

IX. SWOT Analyse für Nanotechnologien in NRW 93

X. Handlungsempfehlungen 95

I. Ziele und Vorgehen der Studie

Nanotechnologien wird das Potenzial zugeschrieben, zum einen neue wettbewerbsfähige Verfahren und Produkte zu generieren und zum anderen einen wesentlichen Beitrag zur Umweltentlastung zu leisten.

Das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz hat daher das Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) in Kooperation mit der Universität Bremen und der Universität Dortmund mit der Studie „Chancen der Nanotechnologie für den Umweltschutz und in der Umwelttechnik und Marktpotenziale für NRW“ beauftragt.

Die Ziele der Studie bestanden laut Leistungsbeschreibung

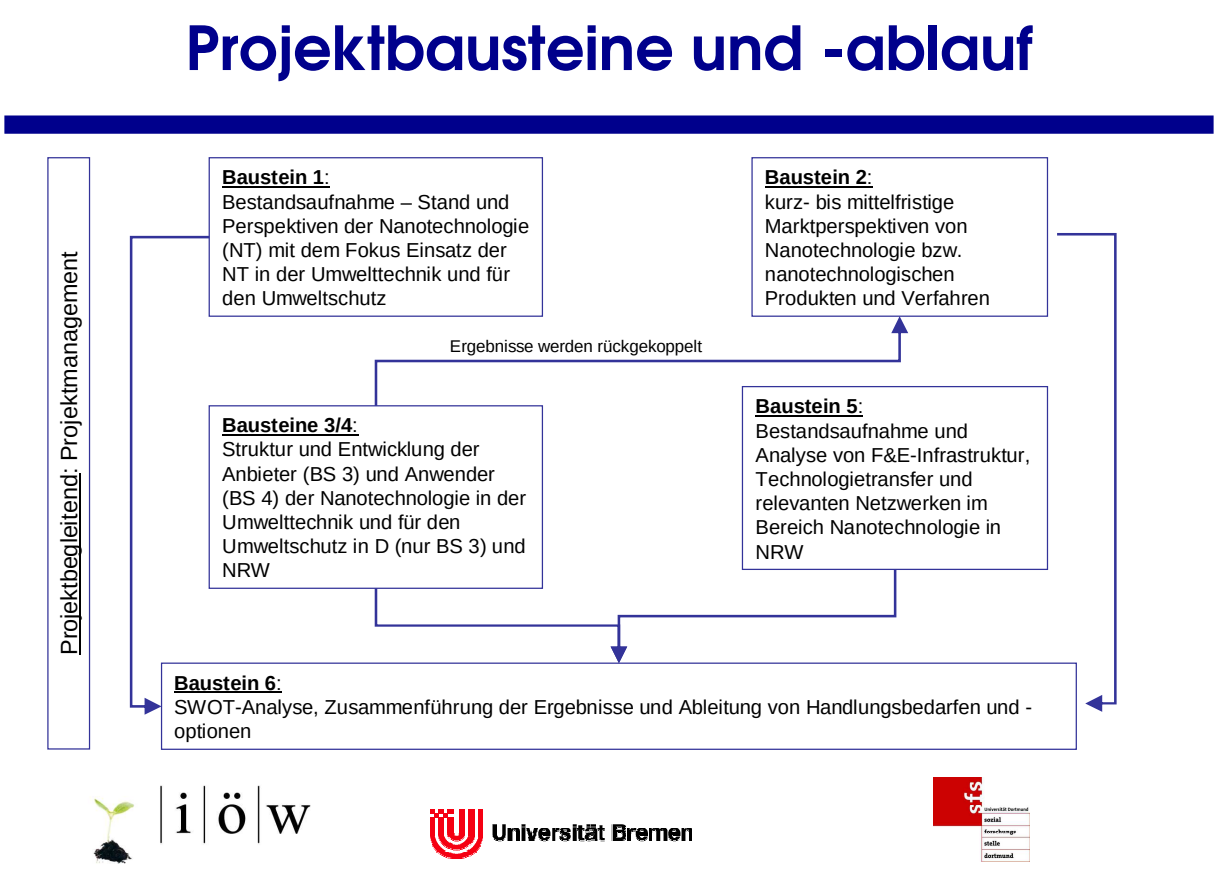
- in der Aufbereitung des Sachstandes,
- in der Entwicklung von Handlungsorientierungen zur Nutzung und Verbreitung der Potenziale der Nanotechnologie für Umwelt und Umwelttechnik,
- in der Information für die relevanten Akteure über mögliche Ansatzpunkte für Aktivitäten.

Die Studie sollte im Einzelnen folgende wesentliche Arbeitspakete umfassen:

- Analyse des generellen Einsatzes von Nanotechnologie für den Umweltschutz und in der Umwelttechnik,
- Erfassung der Anbieter und Anwender von Nanotechnologie in der Umwelttechnik und für den Umweltschutz in NRW,
- Identifikation von Marktpotenzialen und Analyse des Technologietransfers in NRW,
- Erfassung und Darstellung der Chancen, Kompetenzen, Defizite, Hemmnisse und die Entwicklung von Handlungsvorschlägen.

Das IÖW hat die Ziele der Studie in fünf Projektbausteine aufgegliedert und die Schlussfolgerungen in einem sechsten Projektbaustein zusammengeführt (vgl. Abbildung 1).

Abbildung 1: Aufbau und Vorgehen des Projekts



(Quelle: eigene Darstellung)

Das Ziel des ersten Analyseschritts (Baustein 1) war es, einen systematischen Überblick über nanotechnologische Produkte und Verfahren insbesondere in der Umwelttechnik und für den Umwelt- und Ressourcenschutz zu erhalten. Dazu wurden die bereits auf dem Markt sowie die in Forschung und Entwicklung befindlichen nanotechnologischen Produkte und Verfahren erfasst und analysiert. Nicht einbezogen wurden Produkte und Verfahren, die sich noch im Stadium der Grundlagenforschung befinden und bei denen gegenwärtig noch nicht absehbar ist, in welchen Bereichen sie ggf. zum Einsatz kommen werden.

In der Folge wurde eine Matrix zur Strukturierung und Systematisierung der nanotechnologischen Produkte und Verfahren nach Umwelttechnik- bzw. Umweltschutzbereichen sowie nach deren Marktreife erstellt. Die Informationen zu den Produkten und Verfahren wurden durch die Auswertung der relevanten Literatur, Tagungen, Messen und Konferenzen gewonnen. Des Weiteren wurden die relevanten Anbieter- und Produktverzeichnisse ausgewertet und Interviews mit Experten, Unternehmen und FuE-Einrichtungen (in NRW) durchgeführt.

Das Ziel des zweiten Analyseschrittes (Baustein 2) war es, eine Abschätzung der kurz- bis mittelfristigen Marktpotenziale des Einsatzes der Nanotechnologie und der nanorelevanten Umweltmärkte vorzunehmen. Dabei wurden die relevanten Studien zu den Perspektiven der Nanotechnologie- und Umweltmärkte ausgewertet und erste Hinweise dahingehend identifiziert, in welchen Bereichen eine

besondere (Markt-)Dynamik festzustellen ist und welche nanotechnologischen Entwicklungen eine besondere Rolle spielen. Methodisch wurde die relevante Literatur ausgewertet sowie die Beiträge zu Tagungen und Messen gesichtet.

Auf der Basis dieser grundlegenden Analyseschritte (Bausteine 1 und 2) wurden in der Folge zwei schriftliche Unternehmensbefragungen (Bausteine 3 und 4) durchgeführt. Die eine war eine deutschlandweite schriftliche Befragung der Nanotechnologieunternehmen mit dem Ziel der Identifizierung wesentlicher Anwendungsfelder der Nanotechnologien, den hemmenden und fördernden Faktoren des Einsatzes von Nanotechnologien und der Erwartungen der Unternehmen bzgl. der Entwicklung der Nanotechnologien. Eine zweite schriftliche Befragung von Unternehmen des Umweltmarktes aus NRW gab hingegen Auskunft über den Stand der Anwendungen von Nanotechnologien auf dem Umweltmarkt, welche hemmenden und fördernden Faktoren existieren und welche Erwartungen die Unternehmen des Umweltmarktes bzgl. der Bedeutung der Nanotechnologien haben. Im Rahmen der Analyseschritte wurde deutlich, dass eine Darstellung der Anwender von Nanotechologien nicht sinnvoll ist, da eine systematische Differenzierung nach Anbietern und Anwendern entlang der Wertschöpfungsketten vielfach unscharf sein muss und dabei zugleich Doppelzählungen die Folge wären. Um es an einem Beispiel im Bereich Lacke deutlich zu machen: die Hersteller sind die Produzenten von Nanopartikeln, diese werden in der Lackindustrie zur Herstellung von Nanolacken verwendet und stellen in der Folge wieder ein Nanoprodukt dar, das wiederum Anwender hat.

In einem fünften Arbeitsschritt (Baustein 5) wurde die nanotechnologierelevante FuE-Infrastruktur in NRW analysiert (Wissenschaftseinrichtungen, anwendungsorientierte Forschung und Netzwerke mit dem Ziel der Förderung der Nanotechnologien). Ziel war es, die Stärken und Schwächen der wissenschaftlichen Infrastruktur, der Landesförderung und des Wissenstransfers in NRW zu erfassen. Methodisch wurden im Wesentlichen Interviews mit Wissenschaftseinrichtungen, Netzwerken etc. durchgeführt.

In der Zusammenführung der Ergebnisse der Bausteine 1-5 wurden in Baustein 6 eine Analyse der Stärken, Schwächen, Chancen und Herausforderungen (SWOT, für Englisch: „strengths, weaknesses, opportunities, threats“) durchgeführt und Handlungsorientierungen entwickelt.

Im Folgenden werden die wesentlichen Ergebnisse der einzelnen Projektbausteine dargestellt. Anzumerken ist, dass in der Zusammenfassung nur die wichtigsten Ergebnisse enthalten sind. Detaillierte Analysen der Befragungen und insbesondere deren differenzierte Auswertung können der Langfassung der Studie entnommen werden.

II. Nanotechnologie: Definition und Abgrenzung

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) formulierte eine Definition der Nanotechnologie, die sich mittlerweile in der Wissenschaft und Forschung etabliert hat und daher auch dieser Studie zugrunde gelegt wurde:

> *„Nanotechnologie beschreibt die Untersuchung, Anwendung und Herstellung von Strukturen, molekularen Materialien und Systemen mit einer Dimension oder Fertigungstoleranz typischerweise unterhalb von 100 Nanometern. Allein aus der Nanoskaligkeit der Systemkomponenten resultieren dabei neue Funktionalitäten und Eigenschaften zur Verbesserung bestehender oder Entwicklung neuer Produkte und Anwendungsoptionen."* (BMBF 2006: 11)

Wie auch vielen anderen Definitionen zu anderen Wissenschafts- und Technologiebereichen, gelingt es dieser Definition nicht, absolute Klarheit über den Gegenstand zu schaffen und eine eindeutige Ein- oder Abgrenzung zu ermöglichen. Dies ist jedoch auch nicht unbedingt notwendig, reicht es doch, wenn Definitionen zumindest Orientierungen geben und Kernbereiche beschreiben, über die es weitgehende Übereinkunft gibt, und Randbereiche offen lässt, die kontrovers diskutiert werden. Die Krux bezüglich der genannten Nanotechnologie-Definition bilden insbesondere die relativ willkürlich erscheinende Grenze von „100 Nanometern" – viele bspw. katalytische Effekte treten erst bei einem Partikeldurchmesser von weniger als 10 Nanometern auf – sowie die „neue[n] Funktionalitäten und Eigenschaften", die häufig für unterschiedliche Interpretationen offen sind und daher keine allgemeine Festlegung auf eine etwaige Zugehörigkeit zur Nanotechnologie erlauben.
Während die Anwendung der Definition bei einigen Produkten bzw. Anwendungen eher unproblematisch ist, bereitet es bei anderen enorme Schwierigkeiten. Ein Beispiel für Erstere wären Gold-Nanopartikel bzw. Gold-Nanocluster unterhalb von 10 Nanometern Durchmesser, welche eine erstaunliche katalytische Aktivität aufweisen, während größerskaliges Gold („bulk-material") chemisch inert ist. Ein Beispiel für Letztere hingegen wäre der größte Teil der Membrantechnologie, wie sie tlw. schon seit Jahrzehnten Stand der Technik ist. Technische Membranen zur Filtration werden aus Kunststoffen oder Keramiken hergestellt und sind poröse (tlw. auch dichte) Strukturen, deren Porenweiten (teilweise deutlich) kleiner als 100 Nanometer sein können, d. h. es liegen durchaus auch Strukturen mit einer Dimension unterhalb von 100 Nanometern vor. Inwieweit dadurch jedoch neue Eigenschaften oder Funktionalitäten generiert werden, ist eher unklar. Denn im Prinzip funktioniert eine Membran mit Poren größer als 100 Nanometer genauso wie eine Membran mit Porenweiten kleiner als 100 Nanometer: Teilchen, die kleiner sind als die Porenweite, werden hindurchgelassen und Teilchen, die größer sind, herausgefiltert.

Ein weiteres Beispiel, bei dem die Zuordnung zur Nanotechnologie nicht unproblematisch ist, sind Silber-Nanopartikel, die insbesondere in Oberflächen und Beschichtungen als anti-mikrobiell wirksame Zusatzstoffe integriert werden. Nähme man nämlich statt der *Nano*-Partikel *Mikro*-Partikel, träte die gleiche anti-mikrobielle Wirkung ein. Der Vorteil bei Silber-Nanopartikeln ist lediglich, dass die Einsatzmenge pro Flächeneinheit sehr viel geringer ist, weshalb das Edelmetall überhaupt nur betriebswirtschaftlich rentabel bspw. in Wand- und Fassadenfarben gemischt werden kann. Einen weiteren Vorteil bildet die Tatsache, dass sich die Silber-*Nano*partikel aufgrund ihrer Größe, die unterhalb der Wellenlänge bestimmter Farbspektren liegt, farblich nicht auf das Endprodukt auswirken und daher auch für rein-weiße Anstriche infrage kommen, was bei Silber-*Mikro*partikel nicht der Fall ist. Es stellt sich jedoch die Frage, ob im Falle der Silber-Nanopartikel bereits neue Eigenschaften oder Funktionalitäten vorliegen.

Schließlich sei auch noch das Beispiel der Katalysatoren erwähnt: Katalytische Reaktionen finden, wie alle chemischen Reaktionen, an Ober- bzw. Grenzflächen statt. Je größer das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen (O/V) ist, desto besser finden in der Regel solche Reaktionen statt. Dies bedeutet, dass nanopartikuläre Katalysatoren prinzipiell bessere Leistungsmerkmale aufweisen als mikropartikuläre. Dieser Zusammenhang ist jedoch schon sehr lange bekannt und entsprechend lange werden auch schon Ansätze in der Katalyseforschung verfolgt, die auf eine Maximierung des OV-Verhältnisses ausgerichtet sind, ohne dass aber der Begriff „Nanotechnologie“ Verwendung fände, u. a. weil der Fokus der Akteure der Katalyse-F&E nicht primär auf dem Partikeldurchmesser, sondern eben auf dem besagten O/V-Verhältnis liegt.

Die soeben beschriebenen Schwierigkeiten im Umgang mit der oben zitierten Definition von Nanotechnologie sollen die Definition selbst jedoch nicht infrage stellen. Die genannten Beispiele sind vielmehr als Hinweis darauf zu verstehen, dass eine Definition zwar sinnvoll und hilfreich ist, nicht aber sämtliche Ein- und Abgrenzungsprobleme zu lösen vermag. Für die vorliegende Studie bedeutet dies, dass mitunter Bereiche in die Untersuchung und damit auch in die Auswertung miteinbezogen worden sind, deren Zugehörigkeit zur Nanotechnologie nicht einwandfrei feststellbar ist. Andererseits ist es aber auch möglich, dass Bereiche hier nicht behandelt werden, die von einigen anderen jedoch durchaus der Nanotechnologie zugeordnet werden. Die Vollständigkeit der gemachten Angaben kann also nur unter dem Vorbehalt einer nicht alles abdeckenden Definition von Nanotechnologie gelten.

Des Weiteren sind mit der Definition von und der begrifflichen Zuordnung zur Nanotechnologie einige grundlegende Schwierigkeiten der wissenschaftlichen Analyse dieses sehr umfangreichen wissenschaftlichen und technologischen Querschnittsbereiches verknüpft. Denn zum einen setzen die in der vorliegenden Arbeit gewählten Methoden und Vorgehensweisen – Literatur- und Datenbankanalysen, Auswertung von Messen und Konferenzen, schriftliche Unternehmensumfragen

sowie Interviews mit Unternehmensvertretern und Experten aus Forschung und Entwicklung – immer auch gewisse begriffliche Zuordnungen voraus, über die dann die entsprechende Literatur oder der entsprechende Ansprechpartner identifiziert werden kann. Nanotechnologische Ansätze werden in einer sehr großen Bandbreite sehr verschiedener Wissenschafts- und Anwendungsbereiche verfolgt und es gibt für nanotechnologische Produkte und Verfahren keine spezifischen Melde-, Zulassungs- oder Registrierungspflichten, auf deren Dokumentation hätte zurückgegriffen werden können.

III. Nanotechnologische Produkte und Verfahren für die Umwelttechnik und den Umweltschutz

Im Rahmen der vorliegenden Studie konnten über das oben geschilderte Vorgehen insgesamt über 200 Produkte und Verfahren identifiziert werden, welchen das Potenzial zugeschrieben wird, in der Umwelttechnik Anwendung zu finden oder einen sonstigen Beitrag zur Umweltentlastung oder zum Umweltschutz leisten zu können (vgl. Tabelle 1 und Tabelle 2 auf den Seiten 39ff.).

Die genannte Anzahl von Produkten und Verfahren kann allerdings nur als Richtwert dienen und in etwa die Größenordnung beschreiben, in der momentan bzw. in absehbarer Zukunft nanotechnologische Entwicklungen für die Umwelttechnik bzw. den Umweltschutz vorliegen (werden). Dies hängt zum einen mit den oben beschriebenen Schwierigkeiten der Definition und begrifflichen Zuordnung von Nanotechnologien sowie deren wissenschafts-, technologie- und anwendungsübergreifenden Querschnittscharakter zusammen. Zum anderen gibt es zu den in der Regel erst seit kurzem auf dem Markt befindlichen nanotechnologischen Produkten und Verfahren derzeit kaum verlässliche Daten über deren tatsächliche Umweltentlastungs- bzw. -schutzpotenziale[1], so dass hierüber lediglich begründete Annahmen getroffen werden konnten[2]. Es ist also nicht auszuschließen, dass es weitere Produkte und Verfahren gibt, deren positive Umweltwirkungen (noch) nicht erkannt worden sind und die deshalb im Rahmen dieser Studie auch (noch) keine Beachtung gefunden haben. Analog dazu ist es aber auch möglich, dass unter den hier identifizierten Produkten und Verfahren einige zu finden sind, welche sich in Zukunft als nicht (positiv) umweltrelevant oder sogar mit überwiegend umwelt*belastenden* Eigenschaften behaftet herausstellen können.

Schließlich ist eine Definition und Abgrenzung von „Produkten“ und „Verfahren“ nicht immer ohne weiteres möglich. Als Beispiel sei hier einmal ein Hersteller von Farben angeführt, der unter Verwendung von Nano-Silberpartikeln verschiedene Anstriche für den Innen- und Außenbereich anbietet. Auch wenn jeder dieser Anstriche eine eigene Produktbezeichnung besitzt, erscheint es für die vorliegende Arbeit wenig sinnvoll, jede der angebotenen Farben als jeweils ein eigenständiges Produkt zu werten. In anderen Fällen jedoch ist die Unterscheidung weniger klar und eine andere Zählweise hätte durchaus auch eine dementsprechend andere Gesamtzahl von Produkten und Verfahren zur Folge gehabt.

[1] Ausnahmen sind bspw. Steinfeldt et al. 2004 sowie Steinfeldt et al. 2008.
[2] Dies betrifft fast alle der im Folgenden genannten nanotechnologischen Produkte und Verfahren sowie Nanotechnologie-Funktionalitäten.

Schließlich sind im Rahmen der durchgeführten Recherchen auch einige Anwendungsbereiche unberücksichtigt geblieben, die entweder nicht im Zuständigkeitsbereich des MUNLV liegen oder von denen (derzeit) kaum oder keine umweltrelevanten Produkte oder Verfahren erwartet werden.

Die Potenziale der Anwendung der Nanotechnologie im (technischen) Umweltschutz lassen sich direkt von den funktionellen Eigenschaftsänderungen ableiten, welche durch die Nanotechnologie bei Materialien und Oberflächen sowie chemischen/physikalischen Prozessen generell erreicht werden[3]:

- *Oberflächenfunktionalisierung*

  Ein bedeutender Bereich, in welchem die Entwicklung teilweise bereits weit fortgeschritten ist und zahlreiche Produkte am Markt etabliert sind, ist der Bereich Oberflächenfunktionalisierung durch Anwendung der Nanotechnologie. Je nach Art der Oberflächenfunktionalisierung ergeben sich verschiedene positive Effekte für die Umwelt, die in den entsprechenden Anwendungen genutzt werden können (vgl. insb. Heubach/Angerer 2007). Zu nennen wären hier insbesondere folgende Funktionalisierungen von Oberflächen (mit positiven Umwelteffekten):

  - kratzfest (Ressourceneinsparung durch weniger häufige Reparaturen)
  - „easy-to-clean"/anti-haft/„anti-fingerprint" (Einsparung von Reinigungsmitteln und damit Abwasserreduzierung durch verminderten Reinigungsaufwand)
  - nicht reflektierend (bessere Ausnutzung von Solarstrahlung bei Solarzellen und in Gebäuden → Energieeinsparung)
  - anti-mikrobiell (längere Lebensdauer der beschichteten Materialien, weniger Reinigungsaufwand)
  - anti-diffusion (Schutz von Gütern bzw. Schutz der Umwelt).

- *Verbesserung von Werkstoffeigenschaften/neue Materialien*

  Neben der Oberflächenfunktionalisierung kann mithilfe der Anwendung von Nanotechnologie insbesondere auch eine Änderung der Eigenschaften bestehender Materialien bzw. Werkstoffe sowie die Generierung völlig neuer Materialien erreicht werden. Hierbei spielen insbesondere folgende Verbesserungen von Werkstoffeigenschaften bzw. neue Materialien eine wesentliche Rolle (mit positiven Umwelteffekten)

  - verbesserte mechanische Beanspruchbarkeit (längere Haltbarkeit und weniger Materialaufwand → Ressourceneinsparung)

[3] Eine etwas andere Aufschlüsselung der Nanofunktionalitäten als die hier gewählte nimmt bspw. die Hessen-Agentur in ihrer Studie vor (HA 2004, S. 12f): mechanische, geometrische, elektrische, magnetische, optische, chemische und biologische Funktionalitäten. Da eine solche Darstellung mehr die naturwissenschaftlichen Phänomene in den Vordergrund stellt und den Anwendungsbezug nicht so klar erscheinen lässt, haben wir uns hier für eine etwas abweichende Darstellung entschieden.

  - Gewichts- und Volumenreduktion (Material- und Energieeinsparungen u. a. beim Transport)
  - verbesserte thermische Eigenschaften (Energieeinsparung beim Einsatz als Isolierungen)
  - verbesserte elektrische Eigenschaften (Energiegewinnung/-einsparungen bspw. bei Solarzellen oder elektrischen Geräten)
  - verbesserte optische Eigenschaften (Energiegewinnung in Solarzellen).

- *Verbesserung/Ermöglichung katalytischer Prozesse*
  Chemische Prozesse können mithilfe der Nanotechnologie entscheidend verbessert bzw. sogar erst ermöglicht werden. Dies geschieht grundsätzlich auf zwei verschiedenen Wegen: durch Beimischung von Nanopartikeln in Reagenzien (Additive) sowie durch das extrem vergrößerte Oberflächen-Volumen-Verhältnis, das durch nanoporöse Materialien erreicht werden kann. In beiden Fällen können katalytische Prozesse dadurch effizienter ablaufen und so Ressourcen und Energie eingespart und Filter- bzw. Reinigungsprozesse mit höheren Wirkungsgraden realisiert werden.

- *Filtrations- und Speicherprozesse (physikalisch)*
  Auch physikalisch wirkende Filter bzw. Membranen sowie Speicher können durch die Nanotechnologie in ihrer Wirkungsweise entscheidend verbessert und damit positive Wirkungen für die Umwelt erreicht werden. Zu nennen wären hier nanoporöse Filter, die bspw. in der Abwasserbehandlung zum Einsatz kommen können oder nanostrukturierte Membranen bzw. Speichermedien in Brennstoffzellen.

Teilweise kommen in einem Produkt/Verfahren mehrere Nanoanwendungen parallel zum Einsatz. Ein Beispiel hierfür aus dem Umwelttechnikbereich sind Dünschicht-, Quanten-Dot-, Farbstoff- und organische Solarzellen. Nanodünne anorganische oder organische Schichten erzielen hohe Wirkungsgrade bei der Umwandlung von Solarstrahlung in elektrische Ladungen. Kratzfeste, selbstreinigende und Anti-Reflex-Oberflächen der Träger- und Versiegelungsmaterialien (Glas oder Kunststoffe) erhöhen zusätzlich den Anteil der Solarstrahlung, der die photokatalytischen Schichten erreicht. Nanoelektrische Bauteile ermöglichen die weitere Miniaturisierung von Kunststoffsolarzellen (die Dicke, nicht die Fläche betreffend) und erhöhen somit die Integrationsmöglichkeiten bspw. in Fassaden, Textilien oder mobilen Anwendungen.
Hierzu zählen die Bereiche Medizin, pharmazeutische Industrie und Biotechnologie.
Die mehr als 200 identifizierten umweltrelevanten, nanotechnologischen Produkte und Verfahren sind im Rahmen der vorliegenden Studie sowohl nach Umwelttechnik- bzw.

Umweltschutzbereichen als auch nach den ihnen zugrunde liegenden nanotechnologischen Eigenschaften bzw. Funktionalitäten systematisiert und in einer Matrix überblicksartig zusammengefasst worden. Auch wurde bei der Matrixdarstellung zwischen bereits am Markt und noch in der Forschung und Entwicklung befindlichen Produkten und Verfahren unterschieden. Schließlich ist auch eine Differenzierung dahingehend vorgenommen worden, ob das jeweilige Produkt oder Verfahren nur in oder nur außerhalb von Nordrhein-Westfalen oder sowohl in Nordrhein-Westfalen als auch anderswo in Deutschland hergestellt bzw. angeboten wird. Der Aufbau der Matrix ist im Kapitel 3.1.1 ab S. 108 dargestellt und erläutert. Die ausgefüllte Matrix findet sich dann im Kapitel 3.3.1 und 3.3.2 ab S. 122ff sowie S. 129ff. Im Folgenden sollen die wichtigsten Ergebnisse aus der Analyse sowie der systematischen Strukturierung und Kategorisierung der identifizierten nanotechnologischen Produkte und Verfahren überblicksartig dargestellt werden.

Anwendungsbereiche der nanotechnologischen Produkte und Verfahren für die Umwelttechnik und den Umweltschutz

Klassische Umwelttechnik

Die Analyse der identifizierten nanotechnologischen Produkte und Verfahren hinsichtlich ihrer umweltrelevanten Anwendungsbereiche (Umwelttechnik/Umweltschutz) ergibt ein relativ klares Bild. Danach finden sich derzeit und wahrscheinlich auch kurz- bis mittelfristig nur wenige nanotechnologischen Produkte und Verfahren, die der klassischen Umwelttechnik zuzuordnen sind, wie bspw. (Ab-)Wasseraufbereitungs-, Abfallbehandlungs-, Luftreinhaltungs- oder Altlasten-sanierungstechnik. Zu nennen wären hier insbesondere folgende Produkte und Verfahren: Membranen mit Nanopartikeln oder aus Nanofasern zur Abwasseraufbereitung (vor allem auch Prozessabwässer), Luftfilter aus Nano-(Cellulose-)Fasern sowie Abgasfilter und -katalysatoren mit eingelagerten Nano-(Metall-)Partikeln.

Bei allen der zuvor genannten Produkte handelt es sich um geschlossene Anwendungen, das heißt, die verwendeten Nanostrukturen sind fest in einer Matrix integriert und verbleiben dort auch über den Nutzungszeitraum.[4] Anders hingegen verhält es sich mit einer klassischen Umwelttechnik-anwendung aus dem Bereich Grundwassersanierung, die im Zusammenhang mit der Euphorie um nanotechnologische Lösungen für schwerwiegende Umweltprobleme große Aufmerksamkeit erfahren hat: Nano-Eisenpartikel zur katalytischen Umsetzung von vor allem organischen Schadstoffen. Zwar konnten für den deutschen Raum keine Hersteller von Nano-Eisenpartikeln für die Grundwassersanierung identifiziert werden. Jedoch bieten bereits einige wenige deutsche

[4] Über den Verbleib der Nanostrukturen am Ende der Nutzungsphase ist in der Regel nichts bekannt. Aufgrund von etwaigen mit Nanostrukturen verbundenen Risiken besteht diesbezüglich Aufklärungsbedarf.

Unternehmen Sanierung mit Nano-Eisen an. Die kommerziell erfolgreiche Anwendung dieses neuen Verfahrens steht jedoch noch am Anfang und dessen Durchsetzung wird nicht zuletzt auch von möglichen Gefahren mit dieser offenen Anwendung, bei der Nano-Partikel in großen Mengen in Grundwasser-Aquifere injiziert werden, abhängen. Entscheidend wird dabei auch sein, ob die etwaigen Risiken in einem angemessenen Verhältnis zu den technischen und ökonomischen Vorteilen der Nano-Eisenpartikel gegenüber anderen zukünftigen oder bereits bewährten Verfahren zur Grundwassersanierung stehen.

Integrierter Umweltschutz

Deutlich mehr nanotechnologische Produkte und Verfahren konnten identifiziert werden, die zwar nicht der Umwelttechnik oder der Umweltwirtschaft im engeren Sinne (also bspw. ohne Energietechnik) zuzuordnen sind, aber dennoch positive Umwelteffekte erwarten lassen. Dies sind Produkte und Verfahren des so genannten produkt- bzw. prozessintegrierten Umweltschutzes, deren Herstellung oder Anwendung mit einem geringeren Material- oder Energieverbrauch bzw. einem geringeren Schadstoffeintrag in Gewässer, Luft oder Boden einhergeht. Ganz besonders präsent am Markt sind bereits **Oberflächenbeschichtungen und -funktionalisierungen**, die mithilfe der Nanotechnologie, insbesondere unter Verwendung von Nanopartikeln, realisiert werden konnten. Allen voran sind es so genannte „Easy-to-clean"-, kratzfeste und vor Korrosion, UV-Strahlung sowie mikrobiellem Befall schützende Beschichtungen von Konsum- und Gebrauchsgütern sowie Prozess- und Anlagentechnik, die derzeit schon eine relativ große Verbreitung gefunden haben. Dies mag einerseits damit zusammenhängen, dass die technische Realisierung von (passiven) nanostrukturierten Oberflächen im Vergleich zu nanostrukturierten „Bulk"-Materialien oder gar aktiven Nanostrukturen (bspw. „nano electro-mechanical systems", NEMS) leichter ist. Andererseits ist auch die Anwendungsbreite recht groß: die mehr oder weniger gleiche Beschichtung kann auf unterschiedliche Materialien für unterschiedliche Einsatzbereiche angewendet werden. Schließlich kann die Nanotechnologie im Bereich der Beschichtungen bzw. Oberflächenfunktionalisierungen zur Ausbildung von Alleinstellungsmerkmalen bestimmter Produkte beitragen. Als Beispiel seien hier einmal kratzfeste Lacke angeführt: Diese konnten bisher auch durch den Einsatz von Mikropartikeln realisiert werden, was jedoch eine verminderte Transparenz bzw. erhöhte Mattheit der Lacke zur Folge hatte. In bestimmten Anwendungen ist aber eine Kombination beider Eigenschaften – sowohl Kratzfestigkeit als auch Glanz bzw. Transparenz – gewünscht, die nun durch die Anwendung von Nanopartikeln erreicht werden kann.

Der Umweltnutzen, welcher durch die nanotechnologisch optimierten Oberflächen erreicht werden könnte, wird bei den „Easy-to-clean"-Anwendungen in einem verminderten Reinigungsaufwand gesehen, wodurch auch der Einsatz umweltschädigender Reinigungsmittel sowie der Energie- und

vor allem Wasser-/Lösungsmittelverbrauch reduziert werden würde. Gleichermaßen wird angenommen, dass schmutz- und keimfreie Oberflächen die beschichteten Materialien langsamer verschleißen ließen, was zu einer längeren Lebensdauer und damit indirekt auch zu reduziertem Material- und Energieverbrauch führen würde. Dieser Nutzen wird vor allem auch bei kratzfesten, vor Korrosion, UV-Strahlung sowie vor mikrobiellem Befall schützenden Beschichtungen gesehen. Im Fall von Anwendungen, bei denen Güter transportierende oder lagernde Behältnisse (Container, Silos, Rohre etc.) durch (nanotechnologische) Beschichtungen widerstandsfähiger gegen Schmutz, Mikroben, mechanische Beschädigungen oder Korrosion gemacht werden, kommt noch ein weiterer Aspekt hinzu: Leckagen könnten so vermindert oder gar verhindert werden, was den Verlust von Gütern und damit Ressourcenverbräuche reduzieren bzw. – im Falle von umweltgefährdenden Stoffen – Belastungen der Umwelt abwenden helfen würde.

Mindestens ebenso zahlreich (am Markt und vor allem in der Forschung und Entwicklung) wie nanotechnologische Produkte und Verfahren im Bereich Oberflächen/Beschichtungen sind solche im Bereich **Verbesserung von Werkstoffeigenschaften**. Gemeint sind damit, ähnlich wie bei Oberflächen, Leistungssteigerungen von oder gänzlich neue Materialien, die derzeit in der Regel durch Beimischung von Nanopartikeln oder (seltener) anderen Nanostrukturen wie bspw. Kohlenstoff-Nanoröhren erreicht werden. Im Wesentlichen geht es dabei um die Erhöhung der mechanischen Beanspruchbarkeit (Bruch-, Stoß-, Reißfestigkeit etc.) und der thermischen Beanspruchbarkeit (Hitzebeständigkeit, Wärmeleitfähigkeit) sowie einer Gewichts- und/oder Volumenreduktion bei sonst gleichen Leistungsparametern. Aber auch die Verbesserung von elektrischen und optischen Eigenschaften der Materialien spielt eine Rolle. Die (potenziellen) Einsatzbereiche dieser durch Nanotechnologie optimierten oder überhaupt erst möglich gemachten Materialien sind derartig groß und breit gestreut, dass sie hier unmöglich alle genannt, geschweige denn erläutert werden könnten. Daher sei hier nur kurz und beispielhaft eine kleine Auswahl erwähnt: „Carbon Black“ (Ruß) in Reifen für verminderten Abrieb, formstabilere Metalle in Maschinen und Anlagen aller Art zur Erhöhung von Laufgeschwindigkeiten oder Betriebs-drücken/-temperaturen (höherer Wirkungsgrad), Wärmedämmmaterialien, Leichtbauwerkstoffe aller Art.

Was den Umweltnutzen durch nanotechnologisch optimierte bzw. ermöglichte Materialien angeht, so hängt dieser von den jeweiligen Eigenschaften und Funktionen der verbesserten oder neuen Materialien sowie von den jeweiligen Produkten und Verfahren ab, in denen die Materialien zum Einsatz kommen. Prinzipiell wird dabei argumentiert, dass eine Leistungssteigerung der Materialien zu mehr Output-Einheiten pro Input-Einheit bzw. zu mehr Nutzen-Einheiten pro Aufwand-Einheit führen und somit eine erhöhte Material- bzw. Energieeffizienz erreicht werden könne. So könne bspw. ein durch Beimischung von Nanopartikeln stabileres, gleichzeitig aber auch leichteres

Aluminiumbauteil eines Verbrennungsmotors dessen Wirkungsgrad, das heißt Fahrleistung pro eingesetzte Kraftstoffeinheit, erhöhen und damit zur relativen Verminderung des Energieverbrauchs beitragen. In ähnlicher Weise könne auch ein Zement, dem Nanopartikel beigemischt wird und dessen Stabilität dadurch erhöht würde, zu Materialeinsparungen führen, indem ensprechende Betonkonstruktionen mit geringeren Wanddicken gefertigt werden könnten, ohne dass es Einbußen bei der Stabilität gäbe.

Einen weiteren Bereich, in welchem derzeit und vor allem für die Zukunft eine große Anzahl nanotechnologischer Produkte und Verfahren identifiziert werden konnte, stellen Technologien zur Gewinnung, Speicherung, effizienten Nutzung sowie Einsparung von **Energie** dar. Beispiele hierfür sind Beschichtungen und Materialien rund um die Solarenergie-Technik (Anti-Reflex-Beschichtung für höhere Lichtausbeute, anorganische und organische Alternativen zu Silizium als photoaktive Materialien, Quantenpunkte zur Leistungssteigerung von Silizium basierten und anderen Solarzellen), Wärmedämmmaterialien (Aerogele, „Nano-Schäume“) oder alternative Leuchtmitteltechnologien („light emitting diodes“ (LED) bzw. „organic light emitting diodes“ (OLED)). Zukünftig wird darüber hinaus erwartet, dass die Nanotechnologie einen wesentlichen Beitrag zur umweltfreundlichen Gewinnung von Wasserstoff (bspw. durch Nanokatalysatoren), zu dessen Speicherung (bspw. in nanostrukturierten, porösen Materialien) sowie zu dessen Nutzung als Kraftstoff (bspw. durch nanostrukturierte Membranen) würde leisten können. Auch im Bereich der Nutzung fossiler Energieträger könnten Nanotechnologien einen positiven Umweltbeitrag leisten, bspw. durch Wirkungsgradsteigerungen von Kraftwerken, welche durch – wie oben erläutert– Oberflächenbeschichtungen oder verbesserte bzw. neue Materialien erreicht werden könnten. Ein Beispiel hierfür wären Beschichtungen mit Nanopartikeln, welche ein Anbacken von Schlacken an Ofenrosten oder Wärmetauschern verhindern oder reduzieren.

Der Umweltnutzen von Technologien zur Gewinnung, Speicherung, effizienten Nutzung sowie Einsparung von Energie ist vor allem dann anzunehmen, wenn es sich dabei um Energie aus erneuerbaren Quellen handelt. Dies ist vor allem bei Solartechnik (sowohl photovoltaischen als auch solarthermischen) der Fall, kann aber prinzipiell auch für Gezeiten-, Erdwärme- oder Windkraftwerke gelten (bei letzteren sind bspw. Wirkungsgradsteigerungen durch nanotechnologisch basierte leichtere und dennoch stabilere Rotormaterialien in der Diskussion).

Häufigkeit und Bedeutung der in den identifizierten Produkten und Verfahren für die Umwelttechnik und den Umweltschutz eingesetzten Nanofunktionalitäten

Die systematische Analyse der identifizierten nanotechnologischen Produkte und Verfahren für die Umwelttechnik und den Umweltschutz in Bezug auf die jeweils eingesetzten Nanofunktionalitäten ergab ebenfalls ein recht klares Bild. Demnach bilden die Bereiche **Oberflächenfunktionalisierung**

und Beschichtung sowie **Werkstoffbeschaffenheitsverbesserungen** die beiden mit Abstand größten Gruppen. Wie oben bereits erwähnt, scheint die verhältnismäßig breite Anwendung der Nanotechnologie im Bereich Oberflächen und Beschichtungen vor allem darin begründet zu liegen, dass hierbei die relative technische Einfachheit der Umsetzung auf eine große Bandbreite von Anwendungen trifft und die Herstellung auch zu wettbewerbsfähigen Kosten gelingt. Die meisten realisierten bzw. kurz- bis mittelfristig zu erwartenden Produkte und Verfahren beruhen dabei auf der Beimischung oder Anlagerung von Nanopartikeln unterschiedlicher Stoffe. Die dadurch realisierten Eigenschaften bzw. Funktionalitäten dieser Oberflächen bzw. Beschichtungen sind Schutz vor Korrosion, UV-Strahlung, mikrobiellem Befall, Schmutz („easy-to-clean“) sowie mechanischen Einwirkungen (Kratzern). Darüber hinaus können auch die optischen Beschaffenheiten von Oberflächen durch den Einsatz von Nanopartikeln manipuliert werden (bspw. reduzierte Reflexion, Farbeinstellung), was jedoch – außer bei solartechnischen Anlagen – mit keinem Umweltnutzen verbunden ist. Der Bereich Oberflächen und Beschichtungen ist im Rahmen dieser Studie vertiefend untersucht worden und wird ausführlich im Kapitel 7.3 ab Seite 343 dargestellt.

Beim ebenfalls bereits heute sehr stark und in Zukunft wahrscheinlich noch stärker vertretenen Bereich Verbesserung von Werkstoffeigenschaften und Neue Materialien sind es in der Regel ebenfalls einem bestimmten Grundstoff(-gemisch) zugesetzte Nanopartikel unterschiedlicher Beschaffenheit, die Eigenschaftsverbesserungen bzw. neue Eigenschaften eines Materials bewirken können. Besonders verbreitet sind dabei Materialien mit erhöhter mechanischer Beanspruchbarkeit (Bruch-, Zug-, Reißfestigkeit etc.) sowie verbesserter thermischer Beanspruchbarkeit. Daneben bzw. teilweiseauch mit dem Vorgenannten einhergehend können auch Volumen- und/oder Gewichts-reduktionen realisiert werden. Schließlich werden Nanopartikel und andere -strukturen auch eingesetzt, um Werkstoffen zu besseren elektrischen oder optischen Eigenschaften zu verhelfen.

Anwendungen, welche sich die zum Teil erheblich vom jeweiligen „Bulk“-Material unterscheidenden **katalytischen Eigenschaften von Nanopartikeln** zunutze machen, sind im Vergleich zu den anderen, eben genannten Bereichen (Oberflächen und Werkstoffe), eher selten zu finden und auch für die kurz- bis mittelfristige Zukunft eher weniger zu erwarten. Dies mag zum einen daran liegen, dass bestimmte Katalysatoren, die vermutlich bereits heute in irgend einer Form nanostrukturiert sind, als solche nicht gekennzeichnet oder vermarktet werden, was deren Identifizierung bzw. Unterscheidung von anderen Katalysatoren schwierig bis unmöglich macht. Zum anderen – und dies scheint der Hauptgrund zu sein – befindet sich gerade diejenige Forschung, die gezielt solche Stoffe untersucht, die als „Bulk“-Material inert oder nur sehr schwach reaktiv sind, als nur wenige Nanometer großes Partikel bzw. Cluster jedoch hoch reaktiv oder katalytisch wirksam (wie bspw. Gold), noch am Anfang. Derzeit bereitet es noch einige Schwierigkeiten, solche

Strukturen herzustellen und zu analysieren, um verstehen zu können, weshalb und unter welchen Bedingungen die jeweiligen katalytischen Wirkungen überhaupt auftreten. Dennoch gibt es bereits einige wenige Produkte am Markt bzw. in der angewandten Forschung und Entwicklung, bei denen katalytisch aktive Nanopartikel eingesetzt werden. Beispiele hierfür sind Abgaskatalysatoren oder photokatalytische Titandioxid-Katalysatoren zur Luft- und Wasserreinigung sowie photochemische Solarzellen zur Produktion von Wasserstoff. Auch dem Bereich Nano-Katalyse wurde sich im Rahmen dieser Arbeit vertiefend gewidmet. Die entsprechenden Ausführungen finden sich im Kapitel 7.1 ab Seite 284.

Etwas komplexer in ihrer Analyse und Bewertung sind poröse und dichte **Membranen** deren Porenweiten bzw. (bei dichten Membranen) Molekülabstände unterhalb von 100 Nanometern liegen. Denn würde man an dieser Stelle ausschließlich das Kriterium der Nanometer-Dimensionalität anlegen (vgl. Ausführungen zur Nanotechnologie-Definition weiter oben), dann gehörte ein sehr großer Teil der seit vielen Jahrzehnten etablierten Membrantechnik inkl. der entsprechenden Produkte und Verfahren zur Nanotechnologie (nämlich Teile der Mikrofiltration, die gesamte Ultra- und Nanofiltration sowie die Umkehrosmose) (vgl. hierzu die Anmerkungen weiter oben). Setzt man jedoch eher strengere Kriterien an, so finden sich nur einige wenige nanotechnologische Entwicklungen im Bereich der Membrantechnik, die zudem meist noch im Stadium der Grundlagenforschung befindlich sind. Beispiele sind Bestrebungen, Kohlenstoff-Nanoröhren als Wasser leitende Membranen bspw. zur Meerwasserentsalzung einzusetzen oder dichten Polymermembranen Nanopartikel zur Verbeserung der Durchfluss- und Selektionseigenschaften zuzusetzen. Die Membrantechnik bildete einen weiteren Schwerpunkt der vorliegenden Untersuchungen und auch diese Ergebnisse sind in Kapitel 7.2 ab Seite 306 zu finden.

Schließlich werden **nanoporöse Strukturen** auch außerhalb der Membrantechnik oder Katalyse diskutiert, so bspw. als Speichermaterialien für Wasserstoff oder als Dämmmaterialien. Beispiele für letztere sind Aerogele, die jedoch erst am Beginn ihrer Kommerzialisierung stehen, und Nano-Kunststoffschäume, die wahrscheinlich erst in einigen Jahren Marktreife erreichen werden. Was die nanoporösen Strukturen zur Speicherung von Wasserstoff anbetrifft, so kann hier wohl erst mittel- bis langfristig mit Anwendungen gerechnet werden.

Stellung Nordrhein-Westfälischer Unternehmen als Anbieter bzw. Anwender nanotechnologischer Produkte und Verfahren für die Umwelttechnik und den Umweltschutz

Die identifizierten nanotechnologischen Produkte und Verfahren für die Umwelttechnik und den Umweltschutz sind auch dahingehend analysiert worden, ob deren Anbieter bzw. Anwender in NRW oder außerhalb von NRW angesiedelt sind. Im Zuge dieser Analyse konnten jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen NRW und anderen Bundesländern festgestellt werden. Zwar

gibt es die eine oder andere Anwendung, die von keinem oder nur ausschließlich von NRW-Unternehmen angeboten oder angewendet wird. Insgesamt ergibt sich jedoch ein durchwachsenes Bild und die meisten Produkte bzw. Produkttypen werden sowohl von NRW- als auch von Unternehmen außerhalb NRWs angeboten oder angewendet.

Diese Feststellungen sagen jedoch noch nichts über die Anzahl der Unternehmen oder Beschäftigten im Nanotechnologie-Bereich aus. Auch kann man von der Identifikation oder Nicht-Identifikation von nanotechnologischen Produkten und Verfahren in dem einen oder anderen Bundesland nicht auf Umsätze, Innovationskraft oder ähnliches schließen. Um hierüber mehr in Erfahrung zu bringen, sind im Rahmen der vorliegenden Studie neben den Produktrecherchen auch schriftliche Unternehmensumfragen sowie persönliche Interviews mit Unternehmensvertretern durchgeführt worden (vgl. Kapitel 5), zu deren Ergebnissen weiter unten Stellung genommen wird.

Nanotechnologische Produkte und Verfahren für die Umweltechnik und den Umweltschutz nach Entwicklungsstand

Um einen Eindruck von der Dynamik der Nanotechnologie-Entwicklung insbesondere im Bereich Umwelttechnik bzw. Umweltschutz zu erhalten, sind die identifizierten nanotechnologischen Produkte und Verfahren auch nach ihrem jeweiligen derzeitigen Entwicklungsstand systematisiert worden. Dabei konnte festgestellt werden, dass diejenigen Produkte und Verfahren, die bereits am Markt angeboten werden, vornehmlich dem „Low-Tech“-Bereich zuzuordnen sind. Hierzu zählen vor allem eine große Anzahl verschiedener Beschichtungen mit Nanopartikeln sowie einfacher Verbundwerkstoffe. Bei den Beschichtungen ist mittlerweile die gesamte Bandbreite von „Easy-to-clean“-Beschichtungen über Korrosions-, UV- und Kratzschutzschichten bis zu Oberflächen mit Nano-Silberpartikeln (antimikrobielle Wirkung) am Markt vertreten. Bei den Verbundwerkstoffen handelt es sich in der Regel um Kunststoffe, welche bspw. durch Beimischung von Nanopartikeln bessere Fließeigenschaften aufweisen (Prozessverbesserung) oder durch Beimischung von Kohlenstoff-Nanoröhren stabiler werden (bspw. Baseball-Schläger) bzw. eine bessere elektrische Leitfähigkeit aufweisen (bspw. Folien zum Verpacken von Elektronika). Mitunter gibt es auch Anwendungen im Bereich Keramiken. In den Bereichen poröse Materialien und Katalyse sind hingegen bedeutend weniger Produkte oder Verfahren identifiziert worden, was wahrscheinlich auch mit den eingangs erwähnten Unzulänglichkeiten einer Nanotechnologie-Definition und -Zuordnung zusammenhängt.

Bei fast allen nanotechnologischen Produkten und Verfahren, die derzeit schon am Markt angeboten werden, handelt es sich um Verbesserungen etablierter Produkte und Verfahren. Wirklich „revolutionäre“ neue Anwendungen sind hingegen nicht vertreten. Eine Ursache hierfür ist, wie insbesondere aus den im Rahmen dieser Studie geführten Interviews mit Unternehmensvertretern

hervorging, die Tatsache, dass die durch Nanotechnologie realisierten Leistungssteigerungen bzw. neuen Funktionen mit einer Kostensteigerung und damit mit höheren Preisen der betreffenden Produkte und Verfahren einhergehen. Diese höheren Preise sind jedoch aus Sicht der potenziellen Abnehmer bzw. Anwender häufig nicht durch die erzielten Verbesserungen zu rechtfertigen, d. h. entweder reichen die Leistungseigenschaften der bestehenden Produkte und Verfahren aus, oder es werden Leistungssteigerungen bzw. neue Funktionen nachgefragt, die derzeit aber selbst durch Nanotechnologie (noch) nicht erreicht werden können.

Darüber hinaus gestaltet sich die technisch-industrielle Umsetzung dessen, was in der Theorie belegt und im Labormaßstab erprobt ist, im Falle vieler nanotechnologischer Anwendungen als problematisch. Allein aufgrund der Tatsache, dass in vielen Bereichen noch Analysegeräte und -methoden fehlen, um überhaupt erst einmal sichtbar machen und verstehen zu können, wie genau Nanostrukturen entstehen und wie sie sich im Herstellungs- und Verarbeitungsprozess verhalten, stellt ein gravierendes Umsetzungshemmnis dar. Auch Produktionsverfahren und -anlagen für groß-industrielle Herstellungsprozesse von Nanostrukturen befinden sich meist erst noch in der Entwicklung („Up-scaling"), sodass Anwendungen, die bereits in Kleinserien für Nischenbereiche realisiert worden sind, den Massenmarkt noch nicht haben erschließen können.

Schließlich gilt für Nanotechnologie-Innovationen, was für alle anderen Innovationen auch gilt: Im Innovationssystem gibt es Trägheiten, Pfadabhängigkeiten, Irrationalitäten seitens der handelnden Akteure etc., die eine schnelle Übernahme neuer Technologien verhindern oder verzögern, selbst wenn die neuen Technologien „objektiv" überlegen sein sollten.

Was die zukünftig auf dem Markt erwarteten nanotechnologischen Produkte und Verfahren angeht, an welchen Unternehmen bereits forschen und entwickeln, so dominiert hier ganz klar der Bereich Technologien zur Gewinnung, effizienten Nutzung und (in weitaus geringerem Maße) Speicherung von Energie. Zu nennen wären hier vor allem solartechnische Anwendungen und Technologien rund um die Herstellung und Nutzung von Wasserstoff als Energieträger. Primär geht es bei diesen Entwicklungen um die Verbesserung von Werkstoffeigenschaften und die Entwicklung neuer Materialien mit gänzlich neuen Eigenschaften bzw. Eigenschaftskombinationen. Diese zukünftig erwarteten Werkstoffe bzw. Materialien unterscheiden sich jedoch in ihrer Leistungsfähigkeit signifikant von jenen, die bereits heute durch die Anwendung der Nanotechnologie realisiert werden konnten. Solche Werkstoffe/Materialien hätten dann – aus heutiger Sicht – schon eher einen revolutionären Charakter und könnten zu völlig neuen Anwendungen beitragen. Zur Illustration seien als Beispiele genannt: sogenannte „Super-Capacitors", die extrem schnell große Mengen elektrischer Energie aufnehmen und fast verlustfrei wieder abgeben können (Batterien); preiswerte, effiziente und sichere Wasserstoffspeicher; langzeitstabile Membranen für Brennstoffzellen; kostengünstige und hocheffiziente photovoltaische Materialien; äußerst energieeffiziente und flächig

einsetzbare Leuchtmittel; sehr preiswerte, geringvolumige und hocheffektive Dämmmaterialien; extrem kleine, leistungsstarke und energieeffiziente elektronische Systeme (Sensoren, Rechner, Kommunikationsgeräte etc.).

Nanotechnologische Produkte und Verfahren in der Übersicht

Die nachfolgenden Tabellen (Tabelle 1 und Tabelle 2) stellen noch einmal im Überblick dar, welche nanotechnologischen Produkte und Verfahren für die Umwelttechnik und den Umweltschutz im Rahmen der vorliegenden Studie identifiziert werden konnten. In Tabelle 1 sind die bereits am Markt angebotenen Produkte und Verfahren aufgelistet, wohingegen Tabelle 2 die sich noch in der Forschung und Entwicklung befindlichen Produkte und Verfahren zeigt. Bei Letzteren handelt es sich jedoch ausschließlich um solche der angewandten, nicht aber der Grundlagenforschung.

Die gewählte Darstellung versucht, detaillierte Informationen zu den einzelnen Produkten und Verfahren zu liefern, ohne aber unübersichtlich und allzu umfangreich zu sein. Daher werden die über 200 identifizierten nanotechnologischen Produkte und Verfahren für die Umwelttechnik und den Umweltschutz auch nicht einzeln, sondern in Gruppen zusammengefasst dargestellt. Die erste Spalte (links außen) enthält die (Gruppen-)Bezeichnung des jeweiligen Produkts oder Verfahrens und die zweite Spalte das verwendete nanostrukturierte Material bzw. den eingesetzten nanostrukturierten Stoff (soweit bekannt oder auf einen oder wenige einschränkbar). In der nächsten Spalte folgt eine kurze Beschreibung des jeweiligen auf Nanotechnologie beruhenden Effekts bzw. der Funktion oder Eigenschaft. Die darauffolgende Spalte enthält eine kurze Erläuterung dazu, wie das jeweilige Produkt oder Verfahren zu einer Umweltentlastung beitragen kann oder könnte. Die nächsten beiden Spalten enthalten zum einen den Umwelttechnik- bzw. Umweltschutzbereich und zum anderen den Anwendungsbereich, in welchem das betreffende Produkt oder Verfahren zum Einsatz kommt.

Tabelle 1: Auswahl der wichtigsten am Markt befindlichen identifizierten nanotechnologischen Produkte/Verfahren für den Umweltschutz

Nr.	Produkt/ Verfahren	Nano-Material	spez. Eigenschaften	Erläuterung	Umweltbereich	Einsatzbereich/Wirtschaftsbereich
1	Photokataly-satoren zur Luftreinhaltung	TiO_2	Bei der Absorption von Licht (UV-Licht lamda<390nm) werden Photohalbleiter wie zum Beispiel Titandioxid (insbesondere Anatas lamda=388nm, 3,2 eV) in einen angeregten Zustand überführt. Dabei werden Elektronen in Zustände mit höherer Energie angeregt, bei einem Halbleiter wie Titandioxid von Zuständen des Valenzbands in Zustände des Leitungsbandes.	In Verbindung mit Wasser und Sauerstoff werden durch die freien Elektronen oxidative Radikale gebildet, die organische Verbindungen an der Oberfläche zerstören können und so die Oberfläche reinigen.	Luftreinhaltung, Abwasservermeidung, Reduzierung toxischer Substanzen	Wandfarben (mit Nanopartikel) zur Luftreinhaltung in und an Gebäuden
2	Easy-to-clean (selbstreinigende) Beschichtung	nanostrukturierte Oberflächen-beschichtung	Schicht auf Basis kolloidchemischer Nanotechnologie; Bei diesen Beschichtungen geht es darum, die Benetzungseigenschaften der Materialoberflächen zu verschlechtern und die Wassertropfenbildung zu verbessern, damit diese dann leicht von der Materialoberfläche abperlen können und dabei Schmutzpartikel gleich mit wegspülen. Oberflächen mit einem Kontaktwinkel von mehr als 90° gegenüber Wass er werden als hydrophob bezeichnet. Die Blüten der Lotuspflanze erreichen sogar einen Kontaktwinkel von über 160°. Derartige Oberflächen erreicht man entweder d urch nanostrukturierte raue Oberflächen oder durch eine Beschichtung mit niedriger Oberflächenenergie	Verringerung des Einsatzes von Reinigungsmitteln	Abwasservermeidung, Reduzierung toxischer Substanzen	Einsatz der Beschichtung auf Flliesen, Keramik, allg. Oberflächen etc.
3	Catalytic-to-clean-(photo-katalytische) Beschichtungen	TiO_2	Bei der Absorption von Licht (UV-Licht lamda<390nm) werden Photohalbleiter wie zum Beispiel Titandioxid (insbesondere Anatas lamda=388nm, 3,2 eV) in einen angeregten Zustand überführt. Dabei werden Elektronen in Zustände mit höherer Energie angeregt, bei einem Halbleiter wie Titandioxid von Zuständen des Valenzbands in Zustände des Leitungsbandes.	In Verbindung mit Wasser und Sauerstoff werden durch die freien Elektronen oxidative Radikale gebildet, die organische Verbindungen an der Oberfläche zerstören können und so die Oberfläche reinigen.	Luftreinhaltung, Abwasservermeidung, Reduzierung toxischer Substanzen	Wandfarbe, Fassadenanstriche
4	UV-Schutz-Beschichtungen	nanopartikuläres TiO_2, ZnO	Nutzung der spezifisch hohen UV-Absorption der Nanopartikel	Längerer Schutz des Holzes, Verringerung des Ressoursenverb-rauchs	Materialeinsparung	Holzlacke, sonstige Oberflächen
5	Antireflex-beschichtungen	SiO_2	Nutzung des niedrigen Brechnungsindexs der Partikel; Mittels Sol-Gelverfahren wird die Siliziumdioxidschicht aufgebracht, die antireflektierend wirkt.	Steigerung der Energieausbeute um mehrere Prozent	effizientere Energiegewinnung, Abwasservermeidung, Reduzierung toxischer Substanzen	Antireflexglas für Solarzellen
6	Antimikrobielle Ausstattungen	nanoostrukturiertes Nanosilber	Nutzung der antimikrobiellen Eigenschaften; als Additiv verwendbar	In Spezialanwendungen (bspw. Krankenhaus) Einsparung von Desinfektionsmittel etc. erreichbar	Abwasservermeidung, Reduzierung toxischer Substanzen	Kunststoffoberflächen, Textilien, Beschichtungen im Krankenhaus etc.

Nr.	Produkt/ Verfahren	Nano-Material	spez. Eigenschaften	Erläuterung	Umweltbereich	Einsatzbereich/Wirtschaftsbereich
		nanostrukturierte Oberflächenbeschichtung	Schicht auf Basis kolloidchemischer Nanotechnologie, Oberfläche wird durch eine widerstandsfähge hauchdünne Schicht so veredelt, dass sich die frische Druckfarbe nicht mehr so stark auf die Walzenoberfläche ablegt	Verlängerung der Maschinenlaufzeit, Minimierung des Reinigungsaufwandes	Abwasservermeidung, Reduzierung toxischer Substanzen	Papierwalzen in Druckereien
7	Antihaftbeschichtungen	nanostrukturierte Oberflächenbeschichtung	Schicht auf Basis kolloidchemischer Nanotechnologie, Oberfläche wird durch eine widerstandsfähge hauchdünne Schicht so veredelt, dass sich die Entformung von Epoxidharzkomponenten verbessert	Verlängerung der Werkzeugstandzeit (6-fache Standzeit), Reduzierung des Trennmitteleinsatzes um 80%	Abwasservermeidung, Reduzierung toxischer Substanzen, Materialeinsparung	Entformung von Epoxidharzkomponenten
8	Kratzfeste Beschichtungen	SiO_2	Einarbeitung von nanoskaligen Partikeln in Lackformulierungen, z.B. anorganische Siliziumoxidpartikel zum Einstellen der Fließeigenschaften und zur Erhöhung der Kratzfestigkeit	Der Lack enthält Nanopartikel, die beim Aushärten eine sehr dichte Netzstruktur bildeten. Dies führt dann zu einer verbesserten Kratzbeständigkeit z.B. in Autowaschanlagen als bei herkömmli-	Materialeinsparung	z.B. im Automobillackbereich
9	Diffusionssperren	z.B. Kaolinit-Nano-Partikel	Einarbeitung von Kaolinit-Nano-Partikel in Polymer-Nanokomposite. Die verteilten Kaolinit-Nano-Partikel bilden eine Barrierewirkung für Gase durch Kunststoffe.	Bei der Verpackung vieler Lebensmittel wird heute auf Konservierungsstoffe verzichtet und stattdessen unter einer Schutzatmosphäre (z.B. Stickstoff) verpackt. Durch eine Verlängerung der Diffusionswege können die Schutzgase innerhalb der Verpackung länger erhalten und so die Haltbarkeit deutlich erhöht werden.	verbesserte Ressourcennutzung, Vermeidung von tox. Substanzen	Diffusionsperren auf Folien, Nahrungsmittelverpackungen; Beschichtungen auf Wasserrohren zur Vermeidung von Schwermetalleinträgen im Wasser
10	Korrosionsschutzbeschichtungen/ Konversionsbeschichtung	anorganisch-organische Hybridpolymere auf Basis von Silanverbindungen	Schicht auf Basis kolloidchemischer Nanotechnologie (Sol-Gel-Technologie)	notwendige Korrosionsschutzschicht bedeutend dünner als bisherige Schichten	Materialeinsparung, effizientere Energienutzung	Aluminiumoberflächen
11	Nanolacke	Nanopartikel	dünnere Lackschichten bei gleichen bzw. besseren Oberflächeneigenschaften, keine Chromatierung vonnöten		Energie- und Materialeinsparung, Reduzierung toxischer Substanzen	Automobil, Flugzeugbau
12	Abriebfestere Materialien	Carbon Black, Nanopren (nanostrukturierte Partikel aus polymerisiertem Styrol und Butadien)	Nutzung der verbesserten physikalischen Eigenschaften; als Additiv für die Kautschukmischung der Lauffläche bewirkt es die Verringerung des Rollwiederstandes und führt zu längeren Reifenlaufzeiten	Verringerung des Rollwiederstandes, Verlängerung der Reifenlaufzeit, Kraftstoffeinsparung	Abfallvermeidung, effizientere Energienutzung	allg. Fahrzeugreifen

Nr.	Produkt/ Verfahren	Nano-Material	spez. Eigenschaften	Erläuterung	Umweltbereich	Einsatzbereich/Wirtschaftsbereich
13	Motorbeschich-tungen	Schichtsystem mit Nanopartikeln	Kolbenbeschichtung führen zur verbesserte mechanische Beanspruchung	Verringerung des Verschleiß der Kolben	Abfallvermeidung, verbesserte Ressourcen-nutzung	Motorbereich, Fahrzeugkolben
14	Verschleiß-schutz/-schmiermittel	nanopartikuläes Siliziumdioxid SiO2	Das Additiv im Motorenöl bildet auf den Reibungsoberflächen eine flexible, elastische und permanent haftende Verschleißschutzschicht, die sich durch Druck und Temperatur aufbaut. Hierbei lagert sich das Siliziumoxid dauerhaft ab und das Graphit sorgt für eine zusätzliche Schmiereigenschaft.	Kraftstoffeinsparung (bis 10% möglich), Erhöhung der Lebensdauer des Motors, Steigerung der Motorleistung	effizientere Energienutzung, Materialeinsparung, Abfallvermeidung	Einsatz im Automotor
15	Leitfähige Folien	Carbon Nano Tubes	Nutzung der elektrischen Eigenschaften; als Additiv in Folienkunstoffen wird die Leitfähigkeit der Folie gewährleis-tet	Sustitution von Carbon Black sowie Verringerung der Foliendicke (um 20%) möglich	Materialeinsparung	Elektronikteilverpackung
16	Spezialzement	nanostrukturierte synthetische Kieselsäuren, bspw. Aerosil, Sipernat	Nutzung der erhöhten Reaktivität; Die Reaktion dieser SiO_2-Stoffe mit dem aus der Zementreaktion freigesetzten Calciumhydroxid erfolgt deutlich schneller und umfassender als bisher und führt zu einer Optimierung des Zementsteingefüges.	Verringerung des spezifischen Verbrauchs an Zement	Materialeinsparung	Ultra-Hochfeste Betonanwendungen
17	Kunststoff mit besseren Fließeigenschaften (bspw. Ultradur High Speed)	Organische Nanopartikel	Als Additiv in Polybutylenterephthalat (PBT) bewirkt es eine Modifizierung der rheologischen Eigenschaften; die Schmelzviskosität des Kunststoffes wird abgesenkt und die Fließfähigkeit erhöht.	Die bessere und einfachere Verarbeitbarkeit des Kunstoffs führt beim Spritzgussprozess bis zu 20% Energieeinsparung.	effizientere Energienutzung	thermoplastische Kunststoffe aus PBT (z.B. Lenkwinkelsensor)
18	Leitfähige Polymerschichten (organische Metalle)	nanostrukturiertes Polyanilin	Nutzung der "Metalleigenschaften" des Polyanilins zur Gewährleistung einer lötfähigen Oberfläche von Leiterplatten.	Die Kontaktflächen von Leiterplatten müssen nach ihrer Herstellung bis zu einem Jahr lötfähig sein. Die jetzt nur 55 nm dicke Schicht gewährleistet die gleiche Funktionalität wie bisher Schichten im µm-Bereich.	Materialeinsparung, Reduzierung toxischer Substanzen, geringerer Energieverbrauch	Endoberfläche für Leiterplatten
19	Ferritklebstoffe	gecoatete nanoskalige Eisenoxidpartikel	Nutzung der magnetischen Eigenschaften; Durch die als Additiv in konventionellen Klebstoffen eingearbeiteten Nanopartikel ist eine partielle Erwärmung durch z.B. Mikrowellen und eine Aushärtung des Klebstoffes möglich.	In Anwendungen, bei denen der Anteil der Klebeflächen gering gegenüber den Klebeteilen ist, sind keine Heizöfen wie bisher zur Aushärtung mehr nötig.	effizientere Energienutzung	Kleben von Verbundmaterialien in Fahrzeug- und Luftfahrtbereich
20	Nanogelfenster	Nanogel	Verbesserung der Wärme- und Schalldämmung	Isolierglassystem, Scheibenzwischen-raum wird mit Nanogel gefüllt	effizientere Energienutzung	Fenster
21	LED		Durch LED-Prinzip wird bei der Lichtproduktion keine Wärmeenergie mehr produziert und bei geringerer Energiezufuhr eine hohe Lichtausbeute erreicht.	verbesserte thermische und elektrische Eigenschaften	Materialeinsparung, effizientere Energienutzung	Automobil, Unterhaltungselektronik

Nr.	Produkt/ Verfahren	Nano-Material	spez. Eigenschaften	Erläuterung	Umweltbereich	Einsatzbereich/Wirtschaftsbereich
22	Flamm-/Brand-schutz-ausrüstung	nanodisperse Schichtsilikate	Als Additiv verwendbar; Der Flammschutz der rix wird durch Zugabe eines nanoskaligen Schichtsilikat-Additivs von ca. 5 Gew.-% sowie ggf. konventionellen FSM eingestellt.	Substitution von hologenierten FSM	Substitution toxischer Substanzen	Kunststoffanwendungen, Kabelum-mantelungen etc.
23	Katalysatoren	Edelmetallpartikel (Palladium, Platin)	Nutzung der hohen katalytischen Aktivität durch das große Oberflächen/Volumenverhältnis; immer kleinere nanostrukturierte Edelmetallpartikel an der Katalysatoroberfläche bewirken über ihre Oberfläche eine erhöhte spezifische Katalysatorleistung.	geringerer Edelmetalleinsatz gewährleistet die gleiche Funktion	Luftreinigung, Vermeidung toxischer Substanzen	Abgaskatalysator im Automobil
		Katalysator (bspw. NxCat) basierend auf nanoskalige Palladium-Platin-Partikel	Nutzung der hohen katalytischen Aktivität und höheren Reaktivität durch das große Oberflächen/Volumenverhältni.;	einfacherer und effizienterer Produktionsprozess	Luftreinigung	Chemischer Prozess, Direktsynthese von Wasserstoffperoxid
24	Membrane	bspw. nanoporöse Polymere aus Cyclodextrinen	Adsorption von organischen Schadstoffen wie Benzol oder Aceton		Wasserreinigung, Abwasserbehandlung	Meerwasserentsalzungsanlagen, chem. und pharm. Industrie, Druckereigewerbe
25	Nanofaser-beschichtete Filter	Nanofaser-beschichtete Filter	Verbesserung der Filtereigenschaften durch eine zusätzliche Beschichtung mit Nanofasern, die mittels Elektrospinning hergestellt werden. Dabei wird eine Polymerschmelze bipolar elektrostatisch versponnen und auf einem Trägermaterial abgelegt.	Durch den Einsatz der Nanofasern stehen Filtermedien zur Verfügung, die neben einem geringen Luftwiderstand auch eine hohe Partikelabscheidung aufweisen. Bei einem Kabinenluftfilter bspw. ist dann bei gleicher Funktionalität eine geringere elektrische Gebläseleistung notwendig.	Luftreinigung, Energieeffi-zienz	Druckluft, technische Gase
26	Poröse nanoskalige keramische Membrane	keramische Nanofiltration-membran TiO2	Die aus mehreren Schichten bestehende NF-Membran besitzt eine 50nm dicke trennaktive Membranschicht mit Porendurchmesser von nur 0,9 nm.	verbesserte Wasseraufbereitung und hohe chemische, thermische und mechanische Stabilität ggü. Polymermembrane	Wasserreinigung, Abwasserbehandlung	Kläranlagen, Krankenhäuser, dezentrale Trink- und Wasseraufberei-tungsanlagen
27	Keramiksepa-ratoren	Keramik aus Luminium, Zirkonium und Silizium	Der Seperator besteht aus Keramik und Polymeren. Diese Kombination der beiden Materialien, die wegen ihrer unterschiedlichen Temperaturanforderungen eigentlich unverträglich sind, ist durch den Einsatz von nanoskaligen Oxiden möglich geworden.Zirkonoxid ist funktionaler Bestandteil der Separatoren und sorgt unter anderem für seine Stoffintegrität, Nanoporösität und Flexibilität.	Diese Keramikmembran ermöglicht die brandsichere Speicherung der Energie und eine effizientere Nutzung der Lithium-Ionen-Batterien.	verbesserte Energiespei-cherung und -effizienz	Lithium-Ionen-Batterie Energiespeicherung, Elektro- und Hybridfahrzeuge, Brennstoffzelle

(Quelle: eigene Darstellung)

Tabelle 2: Auswahl der wichtigsten in FuE befindlichen nanotechnologischen Produkte/Verfahren für den Umweltschutz

Nr.	Produkt/ Verfahren	Nano-Material	spez. Eigenschaften	Erläuterung	Umweltbereich	Einsatzbereich/ Wirtschaftsbereich
1	Leichtbau	PA/PPE Nanocom-posites		Leichtbau unter Einsatz thermoplastischer Nanocomposites	Material- und Energieeinsparung	Maschinenbau, Automobil
		Carbon Nano Tubes	Gewichts- und Volumenreduktion, verbesserte mechanische Beanspruchbarkeit	Leichtbau unter Einsatz Carbon Nano Tubes als Substitut für z.B. Metalle	Material- und Energieeinsparung	Leichtbauweise bei KfZ o.ä.
2	alternative Solarzellen-technologien	Quantum-Dots	Durch den Einsatz von Quantum-Dots erhöht sich die Anzahl der Elektronen-Loch-Paare je Photon, die Absorptionsbanden lassen sich auf die Wellenlängen des einfallenden Lichts anpassen	Effizienzsteigerungen bei der Energieer-zeugung im Vergleich zu herkömmlichen Solarzellen	Energieerzeugung	Photovoltaik
		nanometerdünne aktive Schichten	photoaktive Schichten sind nur noch wenige 100nm dick	Effizienzsteigerungen bei der Energieer-zeugung im Vergleich zu herkömmlichen Solarzellen	Energieerzeugung	Photovoltaik-Anlagen, Wandelemente
		organische photoelektrische Materialien	Polymere als photoaktive Schicht	Effizienzsteigerungen bei der Energieer-zeugung im Vergleich zu herkömmlichen Solarzellen	Energieerzeugung	Photovoltaik
		Farbstoffbasierte Solarzellen	nanoporöse TiO_2-Schichten ermöglichen eine ausreichend hohe Kontaktfläche zwischen organischen Farbstoffen und TiO2 und somit eine hohe Effiziemz bei der Umwandlung von Licht in elektr. Ladungsträger	Effizienzsteigerungen bei der Energieer-zeugung im Vergleich zu herkömmlichen Solarzellen	Energieerzeugung	Photovoltaik
3	SuperCaps	nanostrukturierte Oberflächen (z.B. mit Carbon-Aerogelen)	vergrößerte Oberflächen der Elektroden sollen die Ladungskapazität der Kondensatoren erhöhen		Energiespeicherung	Automobil-, Batterienbereich
4	hochfester Stahl	metallische Carbonnitride	Durch das Einlagern von Nanopartikeln in den Stahl kann es gelingen die Dauerbelastbarkeit zu erhöhen	ermüdungsfreier Stahl	Materialeinsparung	Fahrzeugtechnik, Maschinenbau, Hochbau
5	Hitze-beschichtungen	Titanaluminid	Die in einem Plasmaofen erzeugte bis zu 1000℃ hitzebeständige Nanoschutzschicht aus Titanaluminid besitzt eine extrem hohe Härte - etwa die des Diamanten in Kombination mit einer sehr hohen Zähigkeit.	Die optimierte thermische Schutzschicht auf Nanotechnologiebasis könnte die Nutzung von Turbinenschaufelrädern bei höheren Temperaturen zulassen und somit den Wirkungsgrad erhöhen sowie den Verschleiß senken.	Energieerzeugung	Kraftwerksbereich, Flugzeugturbinen
6	OLED-Display		Durch OLED's wird bei der Lichtproduktion keine Wärmeenergie mehr produziert und bei geringerer Energiezufuhr eine hohe Lichtausbeute erreicht	verbesserte thermische und elektrische Eigenschaften	Materialeinsparung, effizientere Energienutzung	Unterhaltungselektronik

Nr.	Produkt/ Verfahren	Nano-Material	spez. Eigenschaften	Erläuterung	Umweltbereich	Einsatzbereich/ Wirtschaftsbereich
7	Wärmeisolation (bspw. Nanogel)	Aerogel auf Basis von Kieselsäure mit Nanoporen	geringe Dichteeigenschaften und sehr geringe Wärmeleitfähigkeit der Stoffe ermöglichen vielfältige Einsatzmöglichkeiten	bessere Isolierung bei veringerter Größe des Materials	Material- und Energieeinsparung sowie effizientere Nutzung und Speicherung der Energie	Isolierungen jeglicher Art (Haus etc.)
8	Nanosensoren	z.B. Halbleiter-Nanodrähte	Nanosensoren sind Sensoren, die Nanomaterialien zur Detektion verwenden oder Nanotechnologie für ihre Miniaturisierung einsetzen. Durch ihre geringe Größe können Nanosensoren mit geringem Energieverbrauch oder sogar energieautark betrieben werden.	Überwachung verschiedener Parameter des Bodens zur gezielteren Einsetzung der Bodenversorgungsmittel (Landwirtschaft), Überwachung der Schadstoffe bzw. Einträgen bei Böden und Wasser	verbesserter Materialeinsatz, Abfallvermeidung	Landwirtschaft, Wasserwirtschaft
		Carbon Nano Tubes	NTFET (Nanoröhren-Feldeffkekttransistoren) reagieren auf Konzentrationsänderungen von bestimmten Gasen mit Veränderung des messbaren elektr. Leitwertes	Eine Detektion von u.a. Ammoniak, Stickstoffdioxid, Schwefeldioxid oder Schwefelwasserstoff ist möglich	Luftreinhaltung	
9	Nanoverkapselte Wirkstoffe	z.B. Lambda-Cyhalothrin	Nanoverkapselte oder nanostrukturierte Wirkstoffe für die Landwirtschaft; Der nanoverkapselte Wirkstoff Lambda-Cyhalothrin, der gegen verschiedene Insekten im Ackerbau eingesetzt wird, entfaltet erst bei Berührung mit der Blattoberfläche seine Wirkung.	Vermeidung von Schadstoffbelastungen, Die Adhäsion zum Blatt ist so stark, dass die Nanokapsel auch bei regen nicht weggespült wird.	verbesserter Materialeinsatz	Landwirtschaft
10	Nanoelektronik	Nanostrukturen	Die immer geringer werden Nanostrukturen ermöglichen eine Erhöhung der spezifischen Leistungsfähigkeit der Elektronikbauteile	Steigerung der spezifischen Effizienz	Materialeinsparung, effizientere Energienutzung	Computer, Halbleitertechnik
11	H_2-Speicherung		nanoporöse Materialstrukturen	verbesserte Speicherstrukturen ermöglichen eine Verbesserung der H_2-Versorgung von z.B. Brennstoffzellen	verbesserte Energiespeicherung	Brennstoffzellen in Fahrzeugen, zur Energiegewinnung etc.
12	Nanopartikel als Kraftstoff-beimischung	Ceroxid	als Additiv im Kraftstoff bewirkt das nanostrukturierte Ceroxid eine verbesserte Verbrennung	bis zu 5% Kraftstoffeinsparung möglich	effizientere Energienutzung	im Automobil
13	Nanopartikel zur Grundwasser- und Bodensanierung	z.B. nullwertige nanoskalige Eisenpartikel Fe(0)	Katalytisch aktive nanostrukturierte Partikel und Metalloxide	Nutzung der hohen katalytischen Aktivität und höheren Reaktivität durch das große Oberflächen/Volumenverhältnis; die Eisenpartikel werden zur Oxidation von verschiedenen Verbindungen genutzt.	Grundwasser- / Altlastensanierung	Grundwasser- / Altlastensanierung
		z.B. MgO, CaO, SrO, TiO_2, MgO_2	Katalytisch aktive nanostrukturierte Metalloxide	Nutzung der hohen katalytischen Aktivität und höheren Reaktivität durch das große Oberflächen/Volumenverhältnis; Die Nanokatalysatoren werden direkt in das zu reinigende Wasser dispers gelöst oder immobilisiert auf einer Membran mit dem Wasser in Kontakt gebracht.	Grundwasser- / Altlastensanierung	Grundwasser- / Altlastensanierung

Nr.	Produkt/ Verfahren	Nano-Material	spez. Eigenschaften	Erläuterung	Umweltbereich	Einsatzbereich/ Wirtschaftsbereich
		nanoskaliges Magnetit Fe_2O_3	Magnetische Nanopartikel	Nutzung der magenetischen Eigenschaften; Die magnetischen Nanopartikel binden die Zielmoleküle (bspw. Arsen-Verbindungen) selektiv und werden anschließend magnetisch auf dem Wasser extrahiert.	Grundwasser- / Altlastensanierung	Wasserreinigung von Arsenverbindungen
14	photoelektrochemische Solarzellen		Diese Solarzellen können durch Lichteinstrahlung Wasser in die Bestandteile H_2 und O_2 zersetzen		Substitution von endlichen Ressourcen zur Energieversorgung	autarke Wasserstoffversorgung auch für private Haushalte
15	Brennstoffzellen		Verschiedene Ansätze sollen mit Hilfe der Nanotechnologie z.B. eine höhere Speicher- und Leitfähigkeit der Elektroden ermöglichen und somit den großflächigen wirtschaftlichen Einsatz von Brennstoffzellen ermöglichen.		verbesserte Energiespeicherung	Automobil, Energiespeicher für Industrie und Haushalt

(Quelle: eigene Darstellung)

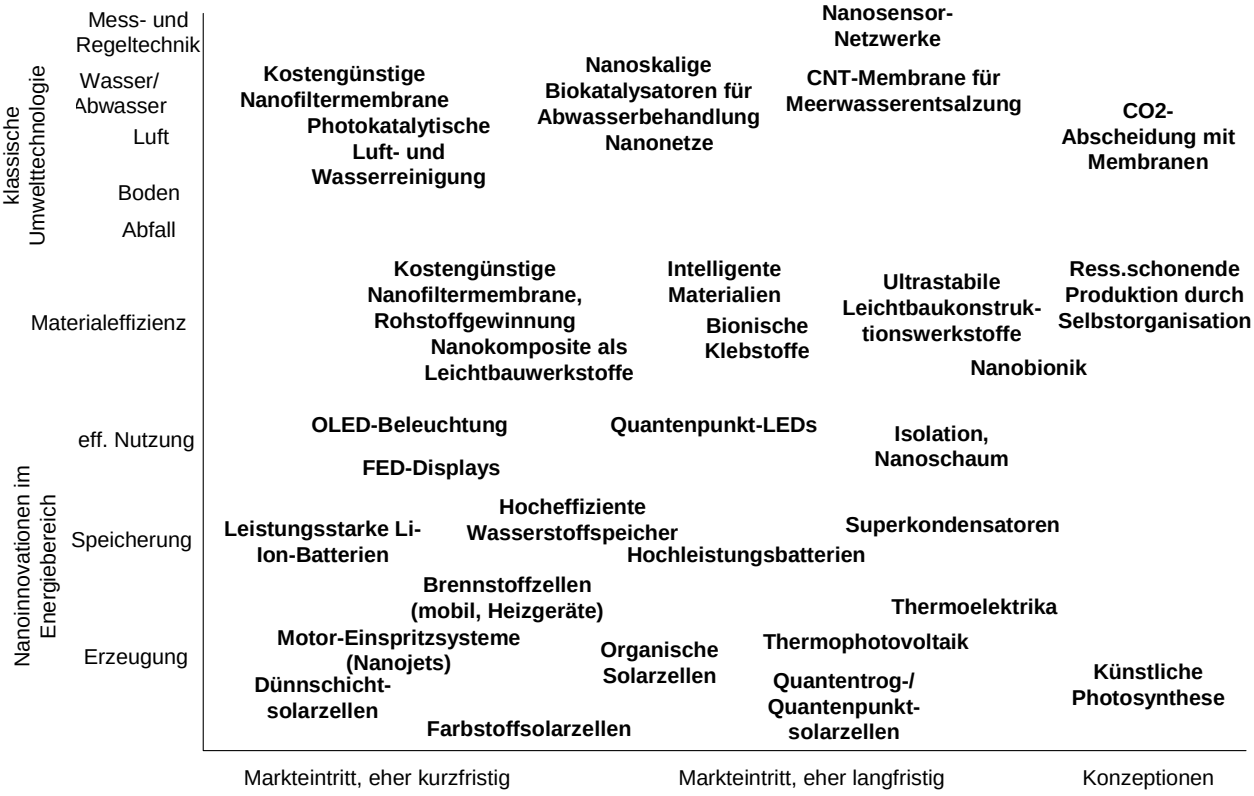
Nanotechnologische Produkte und Verfahren für die Umwelttechnik und den Umweltschutz in der Grundlagenforschung

Da neben den bereits am Markt sowie in der angewandten FuE befindlichen nanotechnologischen Produkten und Verfahren für die Umwelttechnik und den Umweltschutz auch diejenigen von Interesse sind, die sich derzeit erst in der Grundlagenforschung befinden und mit deren Marktreife in der Folge auch erst langfristig zu rechnen ist, ist im Rahmen der vorliegenden Studie auch versucht worden, die längerfristigen Perspektiven der Nanotechnologie im Umweltbereich auszuloten. Allerdings konnte dabei der Grad an Detailliertheit, der bei der Beschreibung der bereits heute bzw. kurz- bis mittelfristig am Markt angebotenen Produkte und Verfahren Anwendung fand, unmöglich beibehalten werden. Denn wenn auch all diejenigen nanotechnologischen Ansätze (und Visionen) in den Blick genommen werden, die sich derzeit erst undeutlich abzeichnen und lediglich in den Laboratorien von Hochschulen, außeruniversitären Forschungseinrichtungen und großen Unternehmen verfolgt werden, dann weitet sich das ohnehin breite und sehr heterogene Feld der Nanotechnologien noch einmal um ein Vielfaches. In nahezu allen wissenschaftlichen Disziplinen und technischen Anwendungsbereichen finden sich nämlich mehr oder weniger vielversprechende Bestrebungen, Phänomene des „Nano-Kosmos“ für die „Makro-Welt“ nutzbar und ökonomisch erfolgreich zu machen.

Statt eine detaillierte Recherche in wissenschaftlichen Journalen, unter Hochschulen oder außeruniversitären Forschungseinrichtungen durchzuführen, die einen erheblichen und für diese Studie nicht angemessenen Aufwand bedeutet hätten, sind im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen Roadmaps ausgewertet worden, welche sich mit der längerfristigen Entwicklung der Nanotechnologien beschäftigen. Dabei wurde ein besonderes Augenmerk auf diejenigen Entwicklungen gelegt, die eine positive Umweltrelevanz aufweisen (könnten). In Abbildung 2 sind die in den Roadmaps analysierten erwartbaren nanotechnologischen Anwendungen und Konzepte im Umwelt- und Energiebereich aufgeführt und einem zeitlichen Realisierungshorizont zugeordnet. Die zeitliche Zuordnung der Anwendungsfelder wurde soweit wie möglich den entsprechenden Roadmaps entnommen bzw. auf Grund ihrer technischen Komplexität zugeordnet. Aufgrund der erheblichen Unsicherheiten bezüglich der zeitlichen Entwicklung der jeweiligen nanotechnologischen Ansätze, ist dabei jedoch bewusst auf konkrete Zeitangaben verzichtet worden. Die unterschiedlichen Zeithorizonte sollen lediglich vermitteln, dass zur wahrscheinlichen wirtschaftlichen Umsetzung in den jeweiligen Anwendungsfeldern unterschiedlich viel Forschungs- und Entwicklungsarbeit geleistet

werden muss. Dies gilt besonders bei den dargestellten langfristig angelegten Konzepten wie bspw. bei der künstlichen Photosynthese.

Abbildung 2: Erwartbare nanotechnologiebasierte relevante Anwendungen und Konzepte im Umwelt- bzw. Energiebereich



(Quelle: eigene Darstellung)

Bei der Betrachtung der Abbildung 2 wird deutlich, dass auch langfristig die klassischen Umwelttechnikanwendungen nicht den Hauptanwendungsbereich nanotechnologischer Produkte und Verfahren der Zukunft darstellen. Das Schwergewicht liegt – zumindest aus heutiger Sicht – vornehmlich bei den produkt- oder prozessintegrierten Anwendungen sowie im Bereich Energiegewinnung, -nutzung und -speicherung. Im Falle ihrer technischen Realisierung und breiten, wirtschaftlich erfolgreichen Anwendung hätten jedoch alle der in der Abbildung gezeigten Produkte und Verfahren eine enorme Bedeutung, und zwar sowohl ökonomisch als auch ökologisch. Denn wenn es bspw. gelänge, Kohlenstoff-Nanoröhren (CNT) mit ihren extremen Leistungsmerkmalen hinsichtlich Permeabilität und Selektivität in Membranen für die Meerwasserentsalzung nutzbar zu machen, könnten die derzeit noch sehr energieintensiven Entsalzungsprozesse weit effizienter gestaltet werden. So könnte ein wichtiger Beitrag zur globalen Trinkwasserversorgung geleistet werden, der ökonomisch tragbar und ökologisch verrtetbar wäre. Gleichermaßen könnte die massenhafte Verwendung

von Leichtbauwerkstoffen, insbesondere in mobilen Anwendungen, einen großen Beitrag zur Material- und Energieeffizienz leisten. Die erfolgreiche Umsetzung der künstlichen Photosynthese – um ein drittes Beispiel zu nennen –, also die chemische Synthese energiereicher Verbindungen aus energiearmen Molekülen mithilfe des Sonnenlichts, könnte helfen, die mit der konventionellen Energiegewinnung verbundenen Probleme der Ressourcenknappheit und des anthropogenen Klimawandels zu lösen.

All die in Abbildung 2 gezeigten Produkte und Verfahren befinden sich jedoch, wie erwähnt, derzeit noch im Stadium der Grundlagenforschung, das heißt, ob, wann und in welchem Umfang diese Produkte und Verfahren tatsächlich den Markt erreichen werden, ist mit sehr großen Unsicherheiten behaftet. Gleichermaßen kann momentan über die tatsächlichen zukünftigen Umweltentlastungspotenziale nur spekuliert werden. Denn wichtige Informationen bspw. zu den verwendeten Stoffen, zu den Risiken oder zu den Energie- und Materialverbräuchen der betreffenden Herstellungsprozesse sind derzeit noch nicht verfügbar und können es auch gar nicht sein. Daher muss die künftige Entwicklung beobachtet und ggf. begleitend gestaltet werden, um etwaige umweltgefährdende Auswirkungen dieser neuen Technologien zu verhindern und umweltentlastende zu fördern.

Vertiefende Analysen nanotechnologischer Produkte und Verfahren für die Umwelttechnik und den Umweltschutz: Katalyse, Oberflächen und Membranen

Im Rahmen der Studie wurden drei Fallstudien durchgeführt. Kriterien für die Auswahl der Fallstudien waren zum einen die Relevanz der Nanotechnologien, zum anderen die wirtschaftliche Relevanz für NRW. Des Weiteren wurden solche Bereiche ausgeschlossen, in denen bereits hinreichende Informationen vorlagen. Damit wurden Fallstudien zur Katalyse, Oberflächen und Membranen durchgeführt, die im Folgenden kurz dargestellt werden.

Fallstudie Katalyse

Insgesamt kann die Rolle der Nanokatalyse – also der Nanotechnologie in der und für die Katalyse – als eine stetige Verbesserung von Katalysatoren und damit von katalytischen Prozessen beschrieben werden. Zum jetzigen Zeitpunkt ist die Katalyseforschung noch weit davon entfernt zu verstehen und in der Folge zu beeinflussen, welche Prozesse auf atomarer/molekularer Ebene während der Katalyse wie stattfinden. Folglich geschehen die Herstellung von Katalysatoren sowie die Optimierung von katalytischen Prozessen größtenteils noch empirisch in einem „trial-and-error“-Prozess und können noch nicht theoretisch hergeleitet und damit gezielt gesteuert erfolgen. Dennoch trägt insbesondere die Nanokatalyseforschung

dazu bei, das Verständnis katalytischer Prozesse im Allgemeinen sowie von Nanokatalysatoren im Besonderen deutlich zu erweitern und damit Möglichkeiten für die Entwicklung neuer und verbesserter Katalysatoren und die Optimierung katalytischer Prozesse zu schaffen. Vor dem Hintergrund der Bedeutung der Katalyse, die sie heute bereits hat und die in Zukunft stark wachsen wird, stellt die Nanokatalyse einen wichtigen Teilbereich sowohl der Katalyse auf der einen als auch der Nanotechnologie auf der anderen Seite dar. Dies gilt auch und vor allem für die (Nano-)Katalyse als „enabler" umwelt- und ressourcenschonender Produkte und Verfahren.

Einige der aufgeführten Beispiele zukünftiger nanokatalytischer Anwendungen, an denen derzeit mit Hochdruck geforscht wird, haben in gewisser Weise revolutionären Charakter – zu denken wäre hierbei an die Gewinnung alternativer, nachhaltiger Kraftstoffe oder die Nutzung nachwachsender Rohstoffe. Dieser wird sich jedoch erst mittel- bis langfristig entfalten können, da die wissenschaftlichen und technischen Herausforderungen, die jeweiligen Entwicklungen in marktfähige Produkte umzusetzen, enorm groß sind. Dieser Befund schmälert jedoch in keiner Weise das Potenzial, welches bestimmten nanokatalytischen Entwicklungen zugesprochen wird. Es verdeutlicht nur, dass die Realisierung wahrscheinlich eher in längerfristigen Zeithorizonten gelingen kann (Schlögl/Hamid 2004).

Im Gegensatz zu den revolutionären Innovationen, welche aus der Nanokatalyseforschung und -entwicklung zu erwarten sind, zeichnet sich eine große Zahl evolutionärer Verbesserungen bestehender katalytischer Systeme ab. In der Summe sind von diesen Verbesserungen auch große positive Umwelt- und Ressourceneffekte zu erwarten, angefangen bei der Steigerung der Effizienz von Katalysatormaterialien, über die Substitution von weniger umweltfreundlichen durch umweltfreundlichere Katalysatoren, bis hin zur Ermöglichung alternativer Prozesse mit besserer Nachhaltigkeitsbilanz.

NRW nimmt in der Katalyseforschung und -entwicklung sowie in der Nanokatalyseforschung und -entwicklung – absolut betrachtet – eine Spitzenposition in Deutschland ein. Wenn man berücksichtigt, dass Deutschland im weltweiten Vergleich der Nanokatalyse-FuE ebenfalls im Spitzenfeld vertreten ist, ergibt sich daraus für NRW sogar eine international bedeutende Stellung. Besonders hervorzuheben ist hierbei das Max-Planck-Institut für Kohleforschung in Mülheim (a. d. Ruhr), welches unter den wissenschaftlichen Einrichtungen innerhalb NRWs mit Abstand vorn liegt und damit auch deutschlandweit – allerdings erst nach dem Fritz-Haber-Institut in Berlin – zu den wichtigsten Stätten der (Nano-)Katalyse-FuE gehört. Auch hinsichtlich der Unternehmen, die im Bereich (Nano-)Katalyse tätig sind, steht NRW im deutschlandweiten Vergleich an der Spitze. Diese Einschätzung basiert jedoch auf der

Auswertung des Katalyse-Atlas des ConNeCat. Dieser listet aber mit Sicherheit nicht alle Katalyse-Unternehmen auf. In der Annahme, dass der Katalyse-Atlas sowie die jährlichen Katalyse-Fachtagungen der Dechema keinen Bias für oder gegen NRW oder irgendein anderes Bundesland beinhalten, kann dennoch von einer nicht nur universitären und außeruniversitären, sondern auch von einer unternehmerischen Überlegenheit der Katalyse-FuE NRWs gegenüber den anderen Bundesländern ausgegangen werden. Allerdings muss hinsichtlich dieser Aussage berücksichtigt werden, das NRW aufgrund seiner Größe und wirtschaftlichen Stärke auch im Vorteil ist.

Fallstudie Oberflächen

In diesem Vertiefungsfall wurde versucht, ein möglichst genaues Bild der verschiedenen Oberflächenfunktionalisierungen mit Hilfe der Nanotechnologie wiederzugeben. Dabei wurde aufgrund der Komplexität und Heterogenität der verschiedenen Oberflächenfunktionalisierungen ein Schwerpunkt auf den Bereich Lackieren bzw. die verschiedenen Möglichkeiten der Lacke und Farben mit der Nanotechnologie gesetzt. Es wurde dargelegt, welche Möglichkeiten die Nanotechnologie schon vielfach heute unter dem Einsatz verschiedener Lacke und Farben bietet und welche Chancen für den Standort NRW bestehen.

Im Ergebnis lässt sich festhalten, dass es eine große Anzahl verschiedener Anwendungsmöglichkeiten der Nanotechnologie in der Oberflächentechnik bzw. speziell im Bereich Lacke und Farben gibt. Der Bezug der Nanotechnologie in der Oberflächentechnik findet sowohl im Einsatz von Nanopartikeln im Lack, die Herstellung von Nanostrukturen bzw. Nanoarchitekturen sowie das Erstellen von Dünnschichten im Nanobereich Anwendung. Folgend seien die wichtigsten Beschichtungen und (potenziellen) Anwendungen kurz überblicksartig aufgelistet:

- Antimikrobielle/ hygienische Beschichtungen (medizinische Geräte, Gebrauchsgüter wie Laptoptastaturen oder Kühlschränke)
- Kratzfeste Beschichtungen (Autolacke)
- Photokatalytische Beschichtungen (Fassadenfarben, Fenster-, Photovoltaikbeschichtungen)
- Easy-to-clean (Fassadenfarben, Fenster-, Photovoltaikbeschichtungen)
- Anti-haft Beschichtungen (Prozesstechnik, Kochgeschirr)
- UV beständige Beschichtungen (Holzlacke)
- Schutz vor elektromagnetischer Strahlung (elektrische Geräte)

- Hydrophe Beschichtungen (Fassaden, Textilien)
- Nanolacke (Automobil-, Luftfahrtindustrie)
- Erhöhung der Säurebeständigkeit (Prozesstechnik)
- Rheologiemodifikationen (Maschinenbauteile)
- Barrierebildner/ Diffusionssperre (Lebensmittelverpackungen)
- Anti-fogging (Photovoltaik, Optik)
- Anti-fingerprint (Haushaltsgeräte und Armaturen)
- Anti-reflex (Photovoltaik, Optik)
- Anti-statik (Kunststoffverpackungen für elektrische Bauteile/Geräte)
- Feuerbeständigkeit/ Flammschutz (Kunststoffe aller Art)

Weitere in der Forschung befindliche Anwendungsfelder sind:

- schaltbare Lacke
- wärmeisolierende Beschichtungen
- Lacke zur Solarstromerzeugung
- elektrisch leitende Lacke
- selbstheilende Lacke

Am weitesten in der Entwicklung fortgeschritten sind sicherlich die Beschichtungen im Easy-to-Clean Bereich. Dabei haben die Produkte für die privaten Endanwendungen nicht die größten Potenziale für die Umweltentlastung, sondern die funktionalisierten Oberflächenbeschichtungen im Industriebereich. Die Vermeidung von Stillstandzeiten durch Reinigungen im Druckereigewerbe oder Kraftwerksbereich sollen als Beispiele angeführt werden. So kann durch antihaft-Beschichtungen eine Anbackung von Schlacken und Aschen in verschiedenen Kraftwerksbereichen reduziert werden und ein hoher Wirkungsgrad erhalten bleiben. Des Weiteren können so die Reinigungszyklen verlängert bzw. vereinfacht werden. Auch andere Nanoschichten sind in der Entwicklung und werden teilweise schon in der Industrie eingesetzt. Durch das Auftragen einer Nanoschicht können unterschiedliche Bauteile vor Anhaftungen und Verschleiß geschützt werden und einen Beitrag zur effektiveren Ressourcennutzung leisten. Sollten Nanobeschichtungen den Anforderungen der Industrie gerecht werden und sich in diesem Bereich durchsetzen, sind möglicherweise erhebliche Umweltentlastungspotenziale erschließbar.

Das Land Nordrhein-Westfalen (NRW) ist mit seiner starken Farben- und Lackindustrie gut aufgestellt. In den Top 3 der umsatzstärksten Herstellern von Farben und Lacken im Jahre

2007 haben die ersten beiden Unternehmen ihren Hauptsitz in NRW und innerhalb der ersten 10 sind es sogar 7 Unternehmen, deren Hauptsitz in NRW liegt bzw. große Produktionskapazitäten in NRW vorhanden sind. In den Top 20 finden sich immerhin noch 11 Unternehmen mit sehr starken NRW Bezug.

Fallstudie Membrantechnologie

Membranen sind Vorrichtungen zur Trennung von Stoffgemischen und kommen als solche in einer Vielzahl zum Teil höchst unterschiedlicher Anwendungen zum Einsatz. Hinsichtlich der Zusammensetzung werden grundsätzlich Polymer- von anorganischen Membranen unterschieden, wobei erstere deutlich weiter verbreitet sind als letztere. Des Weiteren werden Unterscheidungen hinsichtlich der Verfahren, in denen Membranen eingesetzt werden, vorgenommen. Zu den klassischen Verfahren zählen dabei die Umkehrosmose (RO)[5], Nanofiltration (NF), Ultrafiltration (UF) und Mikrofiltration (MF) sowie die Elektrodialyse (ED). Weitere Verfahren sind die Pervaporation (PV), Dampfpermeation (DP) und Gaspermeation (GP) sowie Membrankontaktoren (MK) und Membranreaktoren (MR). Jedes der genannten Verfahren findet in vielen verschiedenen Ausführungen Anwendung. Dabei kommen sowohl dichte Membranen, d. h. porenlose, als auch poröse Membranen zum Einsatz.

Die Anwendungsfelder der Membrantechnik sind extrem heterogen und breit. Sie reichen von der Abwasserbehandlung, Trinkwasserherstellung (inkl. Meerwasserentsalzung) und Prozesswasserherstellung (inkl. ultrareines Wasser für Pharma- und Halbleiterindustrie) über die Rückgewinnung von Stoffen aus Reaktions- und Verarbeitungsprozessen in verschiedenen Industriebereichen (wie Lebensmittel-, pharmazeutische, chemische Industrie oder Bergbau) bis hin zu alternativen Reaktionsprozessen in der (petro-)chemischen Industrie. Der Markt für Membrantechnik ist dementsprechend ebenfalls sehr breit gefächert und hat mittlerweile wahrscheinlich ein globales Gesamtvolumen von ca. 10 Milliarden US-Dollar erreicht. Aufgrund zu erwartender technischer Forschritte im Bereich Membranherstellung und -optimierung sowie vor allem auch aufgrund erhöhter Bedarfe sowohl im direkten Umweltschutzbereich (bspw. Abwasseraufbereitung) als auch indirekt durch zunehmende Ressourcenverknappung (Rückgewinnung von Wertstoffen aus industriellen Prozessen) werden in vielen Membran-Marktsegmenten Wachstumsraten zwischen 5 % und 10 %, in einigen Bereichen wie bspw. der Meerwasserentsalzung sogar über 10 % pro Jahr erwartet.

[5] von Englisch: „reverse osmosis“

Die Frage, welchen Beitrag die Nanotechnologie zur Membrantechnik leisten kann und wird, ist nicht ganz einfach zu beantworten. Zunächst einmal muss nämlich geklärt werden, welche Bereiche der Membrantechnik aus welchen Gründen der Nanotechnologie zugeordnet werden können und sollten. Denn viele Membranen weisen Porengrößen von (tlw. weit) unter 100 nm auf und bilden somit Strukturen einer Größenordnung, die häufig als Grenze für die (Nicht-)Zugehörigkeit zur Nanotechnologie genannt wird. Allerdings fehlt es vieler dieser Membranen an wirklich neuen Eigenschaften oder Funktionen, so dass eine pauschale Subsumierung aller Membranen mit Porengrößen kleiner oder gleich 100 nm im Rahmen dieser Studie als wenig sinnvoll und zielführend angesehen wird.

Allerdings gibt es auch einige Entwicklungen in der Membrantechnik, bei denen Strukturen im Nanometer-Bereich zum Einsatz kommen und damit signifikante Verbesserungen oder sogar neue Funktionen und Eigenschaften realisiert werden. Hierzu zählen Membranen für Protonenaustauschermembranen, die bspw. in Brennstoffzellen eingesetzt werden. Durch eine Integration von Kohlenstoff-Nanoteilchen verschiedenster Formen kann eine deutlich bessere Leistungsfähigkeit der Membran erreicht werden. Auch die Verwendung von so genannten Block-Copolymeren in der Membranherstellung kann der Nanotechnologie zugeordnet werden. Mithilfe von solchen Materialien können die Porengrößen und -strukturen von Membranen sehr viel besser eingestellt und damit ebenfalls die Leistungsfähigkeit der Membran erhöht werden. Ein weiteres Beispiel für nanotechnologische Ansätze in der Membrantechnik stellt die Verwendung von Kohlenstoff-Nanoröhren (CNT) als Membranwerkstoff dar. Beforscht und entwickelt werden dabei CNT insbesondere in der Wasserfiltration. Ebenfalls eine Nanometer-Dimension wird bei ultradünnen Membranen erreicht, wenngleich in diesem Fall die Zugehörigkeit zur Nanotechnologie nicht ganz klar ist. Da die Durchflussrate einer Membran in der Regel von deren Dicke abhängig ist, strebt man eine möglichst dünne Membran an. Aufgrund von verbesserten Herstellungsverfahren und robusteren Materialien, können mittlerweile Schichtdicken von teilweise deutlich unter 100 nm realisiert werden. Ein klarer Fall von Nanotechnologie liegt hingegen bei den so genannten Nanokomposit-Membranen vor. Dies sind Polymermembranen, denen anorganische Nanopartikel beigemischt werden. So können entscheidende Eigenschaften der Membranen verbessert werden und es stellen sich teilweise Phänomene ein, die bei größeren Partikeln der gleichen Zusammensetzung nicht auftreten – ein Charakteristikum der Nanotechnologie.

In der Gesamtbetrachtung der verschiedenen nanotechnologischen Ansätze, die derzeit in der Membrantechnik verfolgt werden, muss jedoch festgestellt werden, dass deren Umsetzung in

marktfähige industrielle Produkte und Verfahren größtenteils erst mittel- bis langfristig erwartet werden kann, da sich die meisten der hier beschriebenen Entwicklungen erst in der Grundlagenforschung befinden. Daher ist es auch kaum möglich, Aussagen darüber zu treffen, welchen ökonomischen oder technologischen Einfluss diese Produkte und Verfahren auf das gesamte Feld der Membrantechnik haben werden. Einiges spricht aber dafür, dass in vielen Bereichen deutliche Verbesserungen der Membrantechnik und -verfahren erreicht werden können, die sich wahrscheinlich auch in einem entsprechenden wirtschaftlichen Erfolg niederschlagen werden.

IV. Risiken nanotechnologischer Produkte und Verfahren

Im öffentlichen und wissenschaftlichen Diskurs werden die potenziellen Gefährdungen durch Nanopartikel thematisiert. Es ist unumstritten, dass kohärente Forschungsprogramme erforderlich sind, die Wissen bzgl. der potenziellen nanotechnologischen Risiken generieren sowie Methoden und Verfahrensweisen im Umgang mit diesen Risiken entwickeln. Die Anforderungen an die entsprechenden Forschungsprogramme sind benannt, allerdings kommen diese Forschungsprogramme gegenwärtig noch nicht in dem Maße voran, wie es notwendig wäre, was nicht zuletzt auch an einer zu geringen Mittelausstattung liegen mag.

Vor diesem Hintergrund sind im Umgang mit Nanopartikeln Vorsorgemaßnahmen erforderlich. Als Vorsorgemaßnahme ist generell akzeptiert, dass die Emission von Nanopartikeln vermieden werden sollte.

In den wesentlichen Anwendungen der Nanotechnologie sind die Partikel eingebettet (bspw. in einer Matrix) oder wie im Bereich der Elektronik eingehaust, so dass davon auszugehen ist, dass in der Anwendungsphase nicht mit Freisetzungen zu rechnen ist. Allerdings liegen noch keine Untersuchungen über das Lebenszyklusverhalten („end of life“) von Materialien mit Nanopartikeln vor. Hier sind dringend entsprechende Forschungen notwendig.

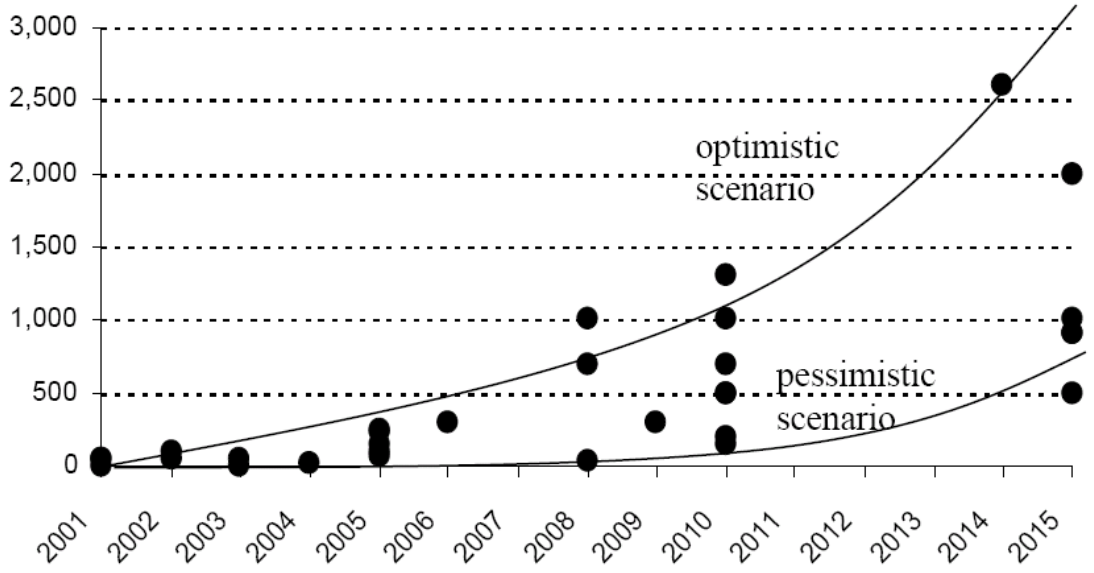
Die Ansätze zu einer vorläufigen Bewertung von Nanomaterialien, wie sie von der vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit federführend betreuten NanoKommission und der dortigen Arbeitsgruppe ‚Risiken und Sicherheitsforschung‘ vorgelegt worden sind, können einen vorsorgeorientierten Umgang unterstützen. Die Kommission hat einen Katalog von Kriterien festgelegt, die in eine „Besorgnisanalyse“ einfließen und in der sowohl entlastende Kriterien als auch Besorgniskriterien entwickelt worden sind, deren Beachtung in der Übergangszeit, bis die relevanten Fragestellungen im Kontext der Toxiziditätsstudien bearbeitet worden sind, die potenzielle Risiken minimieren können.

V. Marktpotenziale nanotechnologischer Produkte und Verfahren für die Umwelttechnik und den Umweltschutz

Um die Marktpotenziale nanotechnologischer Produkte und Verfahren für die Umwelttechnik und den Umweltschutz abschätzen zu können, ist im Rahmen der vorliegenden Arbeit ein Ansatz gewählt worden, der sich zum einen von der Nanotechnologieseite und zum anderen von der Umweltwirtschaftsseite der Fragestellung nähert. Denn bis auf ganz wenige Ausnahmen gibt es bisher noch keine Untersuchungen, die sich dem Stand bzw. den Perspektiven der umweltrelevanten Nanotechnologiemärkte widmen. Studien zur Entwicklung der Nanotechnologiemärkte auf der einen und den Umweltwirtschaftsmärkten auf der anderen Seite existieren jedoch in relativ großer Zahl. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass unterschiedliche Marktstudien in der Regel auch unterschiedliche Untersuchungsgegenstände/-fokusse aufweisen, unterschiedliche Annahmen zugrunde legen sowie unterschiedliche Methoden anwenden. Dadurch verlieren die Studien teilweise stark an Vergleichbarkeit untereinander. Dennoch können im Ergebnis der Analyse verschiedener Studien zu den Marktpotenzialen sowohl der Nanotechnologien als auch der Umweltwirtschaft belastbare Hinweise zu den tendenziellen Entwicklungen der Nanotechnologie basierten Umwelttechnik gewonnen werden.

Bezüglich der Nanotechnologiemärkte kann zusammenfassend festgestellt werden, dass in allen Teilmärkten mit einem überdurchschnittlichen Wachstum gerechnet wird, welches klar über den prognostizierten Wachstumsraten des BIP der Industrienationen liegt: Im Durchschnitt wird von einer jährlichen Wachstumsrate von ca. 15 % des gesamten Nanotechnologiemarktes bis 2015 ausgegangen. Wie aus Abbildung 3 hervorgeht, divergieren die Prognosen jedoch recht stark und weisen für das Jahr 2015 Marktvolumina in einer Bandbreite zwischen 0,5 und 2,5 Billionen US-Dollar aus. Hinsichtlich des Teilmarktes Umwelt-/Energietechnik (innerhalb des Nanotechnologiemarktes) werden ebenfalls hohe Wachstumsraten vorausgesagt, die jedoch – verglichen mit anderen Segmenten wie Informations- und Kommunikationstechnik – zunächst einmal unterhalb des Durchschnitts liegen. Es wird aber erwartet, dass nanotechnologische Umwelt-/Energietechnik langfristig ihre sehr großen ökonomischen Potenziale durchaus wird entfalten können.

Abbildung 3: Prognostizierte Marktvolumina im Bereich Nanotechnologie [in Milliarden US-Dollar]



(Quelle: Hullmann 2006)

Auf der anderen Seite wird die Entwicklung der Umweltmärkte ebenfalls durchgängig als positiv bis sehr positiv bewertet, wenngleich auch mit geringeren durchschnittlichen Wachstumsraten als bei den Nanotechnologiemärkten. Vor allem in den Bereichen Energie und Wasser werden erhebliche Wachstumspotenziale vorhergesagt. Die Erwartungen im Hinblick auf Energie speisen sich vor allem aus den aktuellen Preisentwicklungen auf den Energiemärkten und den zu erwartenden Klimapolitiken (u. a. Zertifikatehandel und Effizienzorientierungen). Im Bereich Wasser ist es insbesondere die globale Entwicklung der Wasserknappheit, die zumindest erwarten lässt, dass entsprechende internationale Aktivitäten initiiert werden, um diesem Problem zu begegnen. In den energie- und wasserrelevanten Umwelttechnikbereichen werden daher auch weit überdurchschnittliche Wachstumsraten erwartet.

In der Zusammenschau sowohl der Nanotechnologie- als auch der Umweltmarktprognosen kann durchaus die Schlussfolgerung abgeleitet werden, dass nanotechnologische Produkte und Verfahren für die Umwelttechnik und den Umweltschutz mit großen zukünftigen ökonomischen Potenzialen verbunden sind. Diese werden jedoch wahrscheinlich erst langfristig, also in zehn oder mehr Jahren in größerem Maße ausgeschöpft werden können, da es derzeit sowohl an der technischen Ausgereiftheit als auch an der entsprechenden Nachfrage, die eng mit einem entsprechenden politisch und gesellschaftlich verstärkten ökologischen Problemdruck verknüpft ist, mangelt. Über die Frage, welche konkreten nanotechnologischen Entwicklungen in welchen Umweltbereichen und in welchem Ausmaß kommerzialisiert werden, können derzeit jedoch keine auch nur annähernd verlässlichen Aussagen getroffen werden. Einiges spricht indes dafür, dass Technologien zur Energieerzeugung, -speicherung

und effizienten -nutzung sowie zur Trinkwassergewinnung (sei es aus Abwasser oder Meerwasser) in kürzerer Frist und größerem Umfang ökonomisch erfolgreicher sein werden als nanotechnologische Produkte und Verfahren anderer umweltrelevanter Anwendungsbereiche. Detailliertere Darstellungen zu den Marktpotenzialen nanotechnologischer Produkte und Verfahren für die Umwelttechnik und den Umweltschutz finden sich im Kapitel 6 ab Seite 268.

VI. Anbieter und Anwender nanotechnologischer Produkte und Verfahren für die Umwelttechnik und den Umweltschutz

Neben der Produkt- und Verfahrens- sowie der Marktebene war für die Fragestellungen der vorliegenden Studie auch die Unternehmensebene von großer Bedeutung. Dabei interessierte nicht nur, welche Unternehmen Nanotechnologie im Bereich Umweltschutz anbieten oder anwenden und wie diese zu charakterisieren sind. Sondern im Fokus standen auch die Einschätzungen seitens der involvierten Unternehmen selbst bezüglich des Standes und der Perspektiven nanotechnologischer Produkte und Verfahren für die Umwelttechnik und den Umweltschutz. Hieraus sollten Hinweise abgeleitet werden, welches Ansätze zur erfolgreichen Förderung der umweltrelevanten Nanotechnologie für NRW sein können.

Um sich zunächst einmal ein Bild von den Anbietern und Anwendern der Nanotechnologie im Allgemeinen machen zu können, sind bundesweit Unternehmen recherchiert worden, die (potenziell) mit Aktivitäten im Bereich Nanotechnologie in Verbindung stehen. Als Quellen für diese Recherche dienten diverse Datenbanken, welche im Internet öffentlich zugänglich sind, sowie Messen und Konferenzen rund um die Nanotechnologie.[6] Auf diese Weise konnten insgesamt 866 (potenzielle) Nanotechnologie-Unternehmen identifiziert werden.

Eine quantitative Analyse dieser Nanotechnologie-Unternehmen hinsichtlich ihrer Branchenzugehörigkeit und Größenstruktur ergab, dass es sich zu einem großen Teil um FuE- und andere Dienstleistungsunternehmen handelt. Daneben sind auch die Branchen Mess-/Steuer-/Regeltechnik, (Groß-)Handel, chemische Erzeugnisse und Maschinenbau stark vertreten. Des Weiteren sind Großunternehmen über- und mittlere Unternehmen unterrepräsentiert. Dies alles deutet darauf hin, dass sich die Nanotechnologien insgesamt noch in einem frühen Stadium ihrer Entwicklung befinden, weswegen sie noch sehr forschungsintensiv und kaum in der industriellen Produktion angekommen sind. Demzufolge handelt es sich bei den kleinen Unternehmen häufig um ausschließlich oder größtenteils in der FuE tätige Unternehmen und bei den großen oft lediglich um die FuE-Abteilungen oder kleinere Subbereiche dieser Unternehmen, was in qualitativen Stichprobenanalysen auch bestätigt werden konnte. Erkennbar wird dies darüber hinaus aus den in den schriftlichen Umfragen gewonnenen Daten zu den derzeitigen Umsätzen der Firmen mit nanotechnologischen Produkten und Verfahren: bei Kleinstunternehmen liegen diese mitunter bei bis zu 100 %, bei allen anderen Unternehmen jedoch nur im niedrigen einstelligen Prozentbereich oder sogar darunter. Fast durchgän-

[6] Detaillierte Angaben zur Vorgehensweise und zu den angewandten Methoden finden sich im Kapitel 5.1.1 ab Seite 7.

gig wird seitens der befragten Unternehmen jedoch mit einem Umsatzwachstum gerechnet, sodass sich die Situation in fünf oder zehn Jahren gänzlich anders darstellen könnte.

In dem Bewusstsein, dass nanotechnologische Produkte und Verfahren derzeit noch keine starke Verbreitung auch und vor allem in der Umweltwirtschaft erfahren haben, die Potenziale jedoch gerade dort als hoch einzuschätzen sind, wurden neben den besagten Nanotechnologie-Unternehmen aus ganz Deutschland auch Unternehmen der Umweltwirtschaft aus NRW recherchiert. Als Quellen dienten ebenfalls öffentlich zugängliche Internetdatenbanken. Die Eingrenzung auf NRW erfolgte dabei zum einen aufgrund der generellen Fokussierung dieser Studie auf NRW, zum anderen aber auch aus praktischen Erwägungen heraus: Derzeit gibt es deutschlandweit über 10.000 Unternehmen, die sich der Umweltwirtschaft zuordnen. Diese große Anzahl von Unternehmen zu untersuchen hätte den Rahmen dieser Arbeit gesprengt. Für NRW konnten ca. 1.600 Unternehmen der Umweltwirtschaft recherchiert werden. Allerdings sind nur 937 in die vorliegenden Untersuchungen einbezogen worden, da sehr technik- bzw. nanotechnologieferne Unternehmen, bspw. aus den Bereichen Abfallentsorgung, Energie-„Contracting“ oder Renaturierung (um nur einige zu nennen), aussortiert worden sind.

Um nun Genaueres über den Stand und die Perspektiven nanotechnologischer Produkte und Verfahren für die Umwelttechnik und den Umweltschutz von den Unternehmen selbst erfahren zu können, sind beide der genannten Gruppen – Nanotechnologie- und Umweltwirtschafts-Unternehmen – schriftlich befragt worden. Die entsprechenden Fragebögen finden sich in den Anhängen II und III ab Seite 476. Die Unternehmensbefragungen hatten dabei zum Ziel, neben dem Stand und der Entwicklung auch Informationen zu den Einsatzbereichen der Nanotechnologien, den potenziellen bzw. erwarteten Umwelteffekten, zu den Innovationshemmnissen sowie zu den Einschätzungen der politischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen seitens der Unternehmen abzufragen. Einige der zentralen Erkenntnisse aus diesen Befragungen sollen nun im Folgenden kurz und zusammengefasst erläutert werden. Die Darstellung erfolgt dabei getrennt nach Nanotechnologie- und Umweltwirtschafts-Unternehmen, da sich beide Gruppen sehr grundsätzlich hinsichtlich ihrer Bezüge zur Nanotechnologie unterscheiden. Daneben sind flankierend auch qualitative Unternehmensinterviews geführt worden, deren Ergebnisse im Anschluss präsentiert werden.

Schriftliche Unternehmensbefragungen

Nanotechnologie-Unternehmen

Von den angeschriebenen 866 Nanotechnologie-Unternehmen haben insgesamt 168 (19,4 %) eine Rückmeldung gegeben. 109 (12,6 %) haben einen auswertbaren Fragebogen zurückgeschickt (= „Berichtskreis"). Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass von allen Rückmeldungen (also mit oder ohne ausgefüllten Fragebogen) fast 27 % angaben, derzeit nicht im Bereich Nanotechnologie aktiv zu sein. Die Gründe hierfür sind wahrscheinlich vielfältiger Natur. Zum einen kann es sein, dass einige Unternehmen lediglich *vorgeben*, nichts mit Nanotechnologie zu tun zu haben, weil sie alle diesbezüglichen Informationen vor Konkurrenten schützen wollen. Zum anderen sind die negativen Rückmeldungen evtl. auch auf die Qualität der zugrundegelegten Unternehmensdatenbanken zurückzuführen.

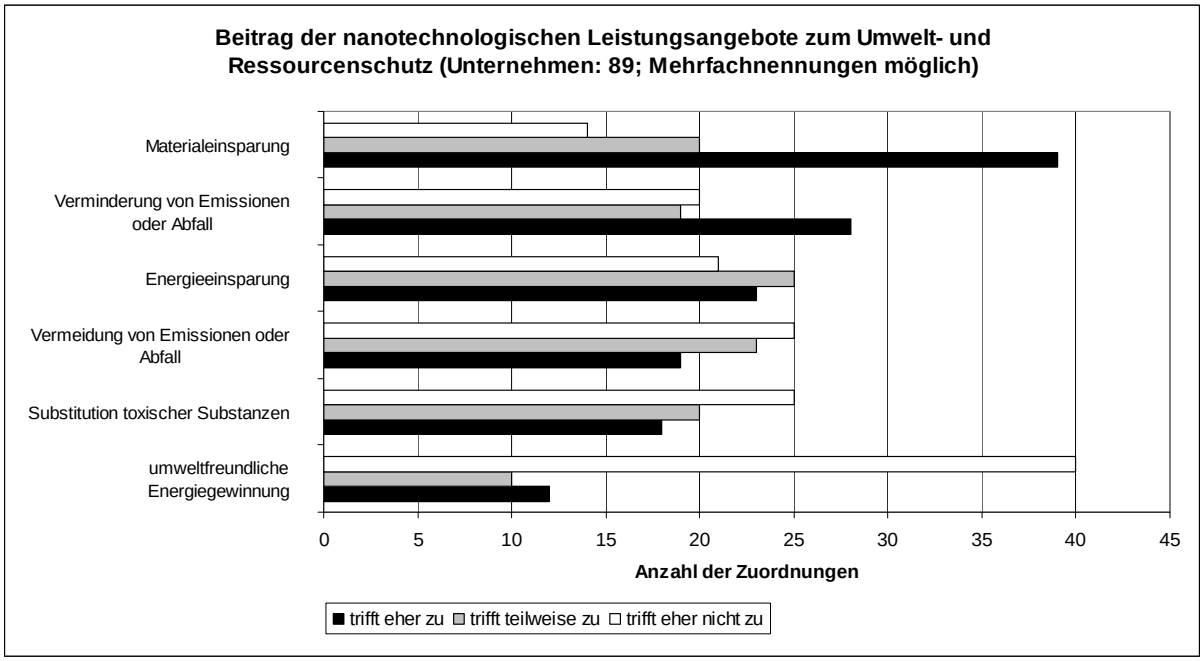
Bezüglich ihrer *Tätigkeit im Bereich Nanotechnologie* ordnen sich die Unternehmen des Berichtskreises vorrangig der Kategorie „Anbieter von Produkten und Verfahren, in denen Nanotechnologien eine funktionelle Rolle spielt" zu. Die zweithäufigste Gruppe bilden die „Hersteller von Nanotechnologien", noch vor den „Anbietern von Dienstleistungen" und den „FuE-Einrichtungen". In NRW sind die Dienstleister geringfügig stärker vertreten als im gesamten Berichtskreis.

Des Weiteren sehen die Unternehmen des Berichtskreises ihre *nanotechnologischen Anwendungsgebiete* vorrangig in den Bereichen „Oberflächen/Beschichtung" und „Nanomaterialien", gefolgt von „Anlagen/Geräten" und „Analytik". Die Unternehmen in NRW ordnen sich hierbei in etwas stärkerem Maße der „Elektronik" und der „Analytik" zu.

Die *branchenspezifischen* bzw. *-übergreifenden Anwendungsbereiche* wiederum sind vorrangig „Materialien/Werkstoffe" sowie die „Automobil-" und die „Chemieindustrie". Hieraus wird deutlich, dass die Nanotechnologien generische Einsatzgebiete haben, wobei Materialien/Werkstoffe als Querschnittsbereiche anzusehen sind, die letztlich sämtliche Produktionsprozesse beeinflussen könnten. Das breite Einsatzpotenzial dieser Technologien in der Automobilindustrie zeigt, dass diese ein wesentlicher potenzieller Nachfrager nach diesen neuen nanotechnologischen Produkten bzw. Verfahren sein könnte. Vor dem Hintergrund des durch wenige Industriezweige getragenen Innovationssystems Deutschlands ist es von daher wenig überraschend, dass die Automobilindustrie – neben der chemischen Industrie – als eines der wichtigsten (potenziellen) Anwendungsgebiete genannt wurde. Hinzuzufügen ist, dass die durchgeführten Auswertungen der Befragungen keineswegs den Anspruch auf vollständige Repräsentativität erheben können, jedoch dennoch wichtige Ergebnisse liefern sowie Aussagen und Rückschlüsse zulassen.

Die Abbildung 4 stellt die Einschätzungen der Unternehmen bezüglich der zu erwartenden *Beiträge der Nanotechnologien zum Umweltschutz* dar.

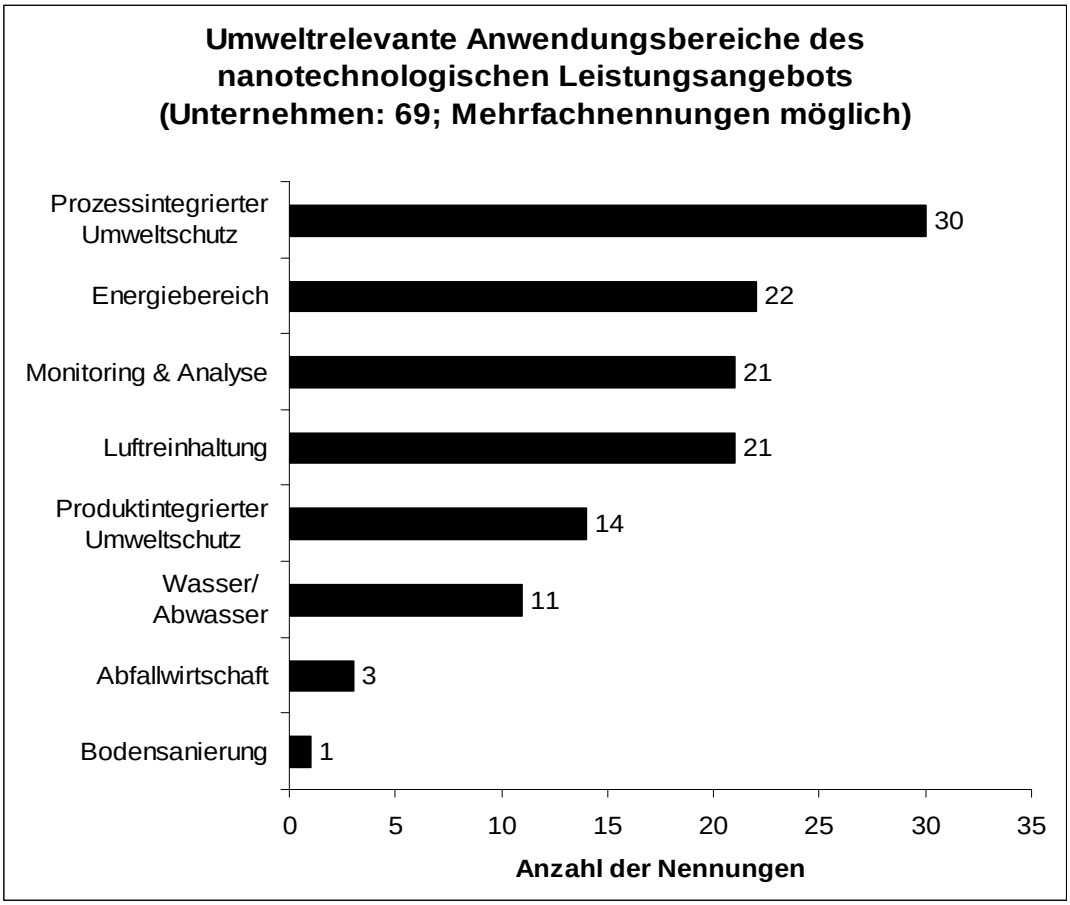
Abbildung 4: Beitrag der nanotechnologischen Leistungsangebote zum Umwelt- und Ressourcenschutz



(Quelle: eigene Erhebung; Mehrfachnennungen möglich)

Es wird deutlich, dass die Unternehmen insbesondere in den Bereichen „Materialeinsparung", „Verminderung von Emissionen und Abfall" sowie bei der „Energieeinsparung" Umweltschutzbeiträge durch nanotechnologische Produkte und Verfahren sehen. Der Hauptfokus der Nanotechnologieunternehmen des Berichtskreises liegt damit in dem Bereich der Material- und Energieeffizienz bzw. des produkt- oder prozessintegrierten Umweltschutzes, wie auch durch die Abbildung 5 noch einmal bestätigt wird.

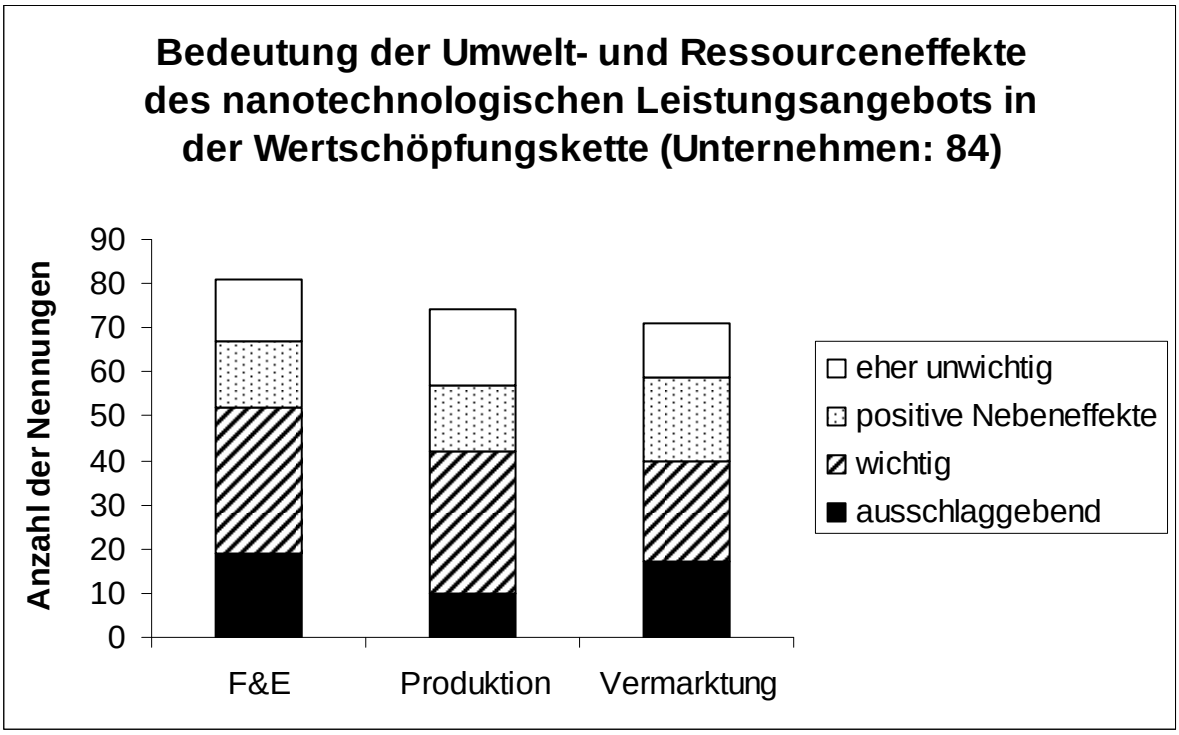
Abbildung 5: Umweltrelevante Anwendungsbereiche des nanotechnologischen Leistungsangebots



(Quelle: eigene Erhebung; Mehrfachnennungen möglich)

Die Einschätzung der Unternehmen hinsichtlich der *Bedeutung der Umweltschutzeffekte* nanotechnologischer Produkte und Verfahren ist in der Abbildung 6 dargestellt. Demnach spielen Umweltschutzeffekte insbesondere in der Phase der FuE eine wichtige Rolle und sind z. T. auch ausschlaggebend. Mit etwas abnehmender Bedeutung trifft dies auch auf die Produktions- und Vermarktungsphase zu.

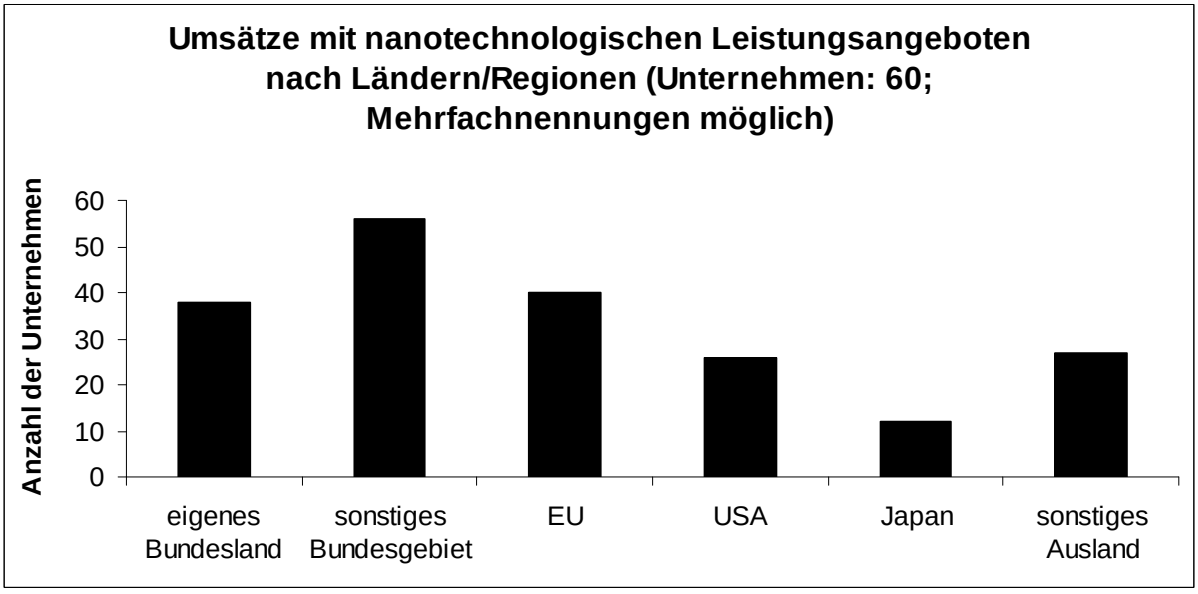
Abbildung 6: Bedeutung der Umwelt- und Ressourceneffekte des nanotechnologischen Leistungsangebots



(Quelle: eigene Erhebung)

Befragt nach den *Absatzmärkten* der angebotenen nanotechnologischen Produkte und Verfahren gaben die Unternehmen an, dass das sonstige Bundesgebiet noch vor dem europäischen Ausland (EU) und dem eigenen Bundesland am wichtigsten sei. Aber auch die USA und Japan seien wichtige Absatzmärkte, wie der Abbildung 7 zu entnehmen ist.

Abbildung 7: Umsätze mit nanotechnologischen Leistungsangeboten nach Ländern/Regionen



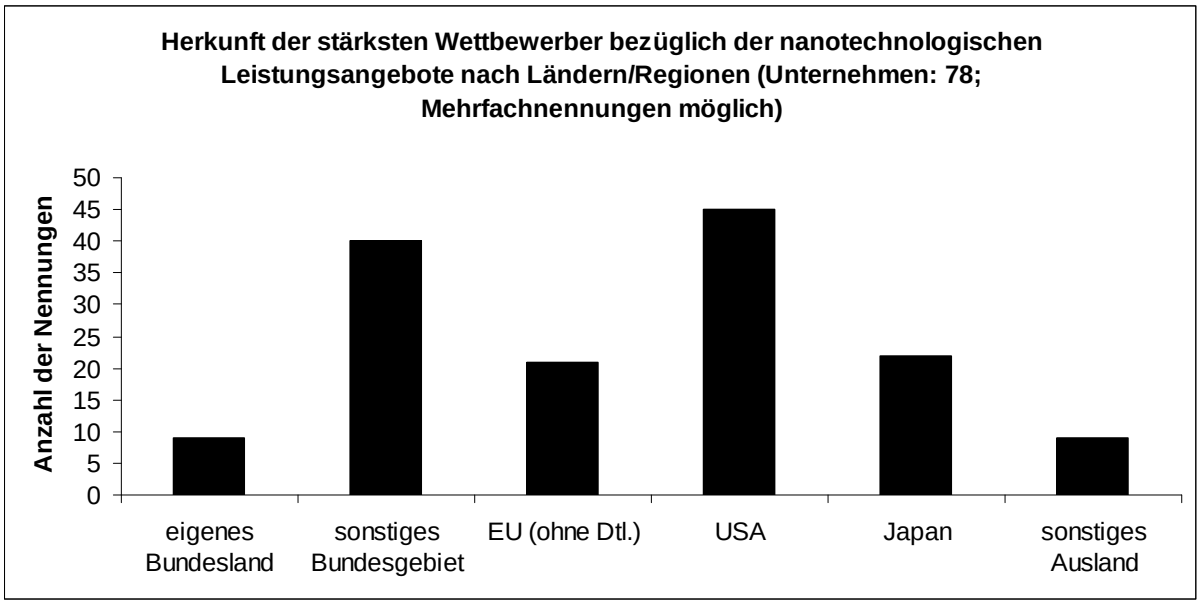
(Quelle: eigene Erhebung)

Die Absatzmärkte der Unternehmen sind demzufolge im Wesentlichen überregional orientiert. Die Unternehmen des Berichtskreises erweisen sich von daher als weitgehend national bzw. international ausgerichtet. Differenziert nach Unternehmensgrößenklassen ist darüber hinaus festzustellen, dass die „typischen" Unterschiede von KMU und größeren Unternehmen folgendermaßen auszuweisen sind: die Absatzradien der KMU sind in der Regel kleiner, das eigene Bundesland und das sonstige Bundesgebiet sowie die Europäische Union werden am häufigsten benannt.

Bezüglich der geografischen *Herkunft der Zulieferer* gaben die Nanotechnologie-Unternehmen des Berichtskreises an, dass diese überwiegend aus dem sonstigen Bundesgebiet stammen, noch vor dem eigenen Bundesland, der USA und der EU. Die NRW-Unternehmen gaben an, dass sie ihre Vorleistungen zwar auch vorrangig aus dem sonstigen Bundesgebiet bezögen, das eigene Bundesland aber an zweiter Stelle rangiere, vor der EU und dem sonstigen Ausland. Dies könnte darauf hinweisen, dass die Zuliefererbeziehungen in NRW etwas stärker ausgeprägt sind als in anderen Bundesländern, wobei die quantitativen Unterschiede als eher gering einzustufen sind.

Die von den befragten Nanotechnologie-Unternehmen gemachten Aussagen zur geografischen *Herkunft der Wettbewerber* sind in der Abbildung 8 dargestellt.

Abbildung 8: Herkunft der stärksten Wettbewerber bezüglich der nanotechnologischen Leistungsangebote nach Ländern/Regionen



(Quelle: eigene Erhebung)

Es ist deutlich erkennbar, dass deren wesentliche Wettbewerber aus den USA stammen, noch vor Unternehmen aus dem sonstigen Bundesgebiet und der EU bzw. fast in gleicher Anzahl

aus Japan. Die Einschätzung der Unternehmen, dass die Wettbewerbsposition der USA so stark ist, erscheint überraschend und verweist darauf, dass die Unternehmen in einem hochtechnologieorientierten Bereich zu verorten sind, in dem die USA mit ihrer ausgeprägten Förderung von Nanotechnologien (sowohl öffentlich als auch privat) offenbar eine gute Wettbewerbsposition geschaffen haben. Nach diesen Angaben ist folglich von einem globalisierten Wettbewerbsumfeld zu sprechen. Bei den KMU ist die Internationalisierung des Wettbewerbs etwas schwächer ausgeprägt, unterscheidet sich aber nicht grundlegend.
Die Einschätzungen der Unternehmen hinssichtlich der *Wettbewerbsvorteile ihrer Konkurrenten* sind in Abbildung 9 dargestellt.

Abbildung 9: Die größten Wettbewerbsvorteile der stärksten Wettbewerber bezüglich nanotechnologischer Leistungsangebote

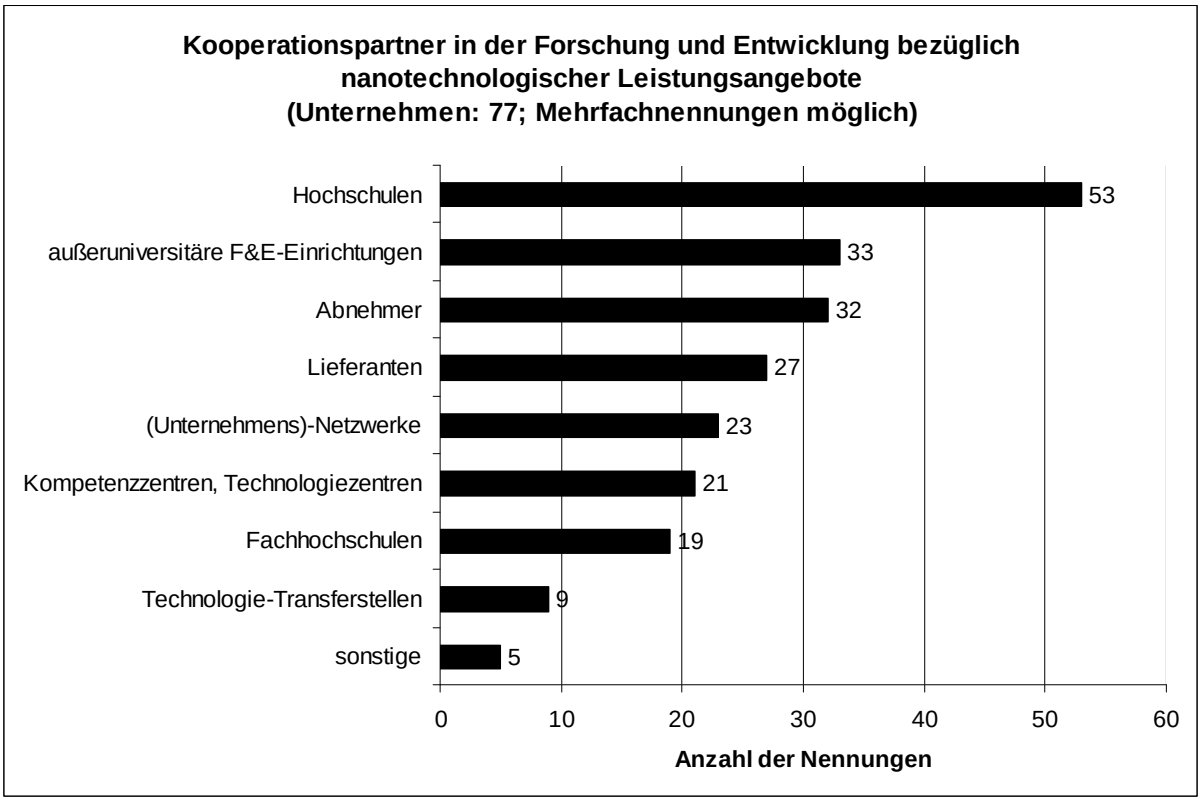
(Quelle: eigene Erhebung)

Als wesentliche Wettbewerbsvorteile der Konkurrenten werden von den Unternehmen des Berichtskreises – neben dem besseren Zugang zur Finanzierung – auch die besseren öffentlichen Förderungsmöglichkeiten angesehen. Nach den Finanzierungsvorteilen sind dies vor allem Vorteile im Preiswettbewerb, besserer Vertrieb sowie bessere Nanotechnologiekompe-

tenz der Wettbewerber. Die NRW-Unternehmen gaben häufiger an, dass sie wesentliche Vorteile in der stärkeren öffentlichen Förderung sehen sowie in den stärkeren internationalen Kompetenzen und in einer höheren Innovationsfähigkeit der Wettbewerber. Allerdings sind auch hier die qantitativen Unterschiede der Nennungen als gering anzusehen.

Was die *Kooperationspartner der Nanotechnologie-Unternehmen* des Berichtskreises anbetrifft, so sind diese vorrangig im Bereich Hochschulen und außeruniversitäre FuE-Einrichtungen zu finden. Erst mit einigem Abstand folgen Abnehmer und Zulieferer, Netzwerke, Kompetenz- und Technologiezentren sowie Fachhochschulen und Technologie-Transferstellen (siehe Abbildung 10).

Abbildung 10: Kooperationspartner in der Forschung und Entwicklung bezüglich nanotechnologischer Leistungsangebote



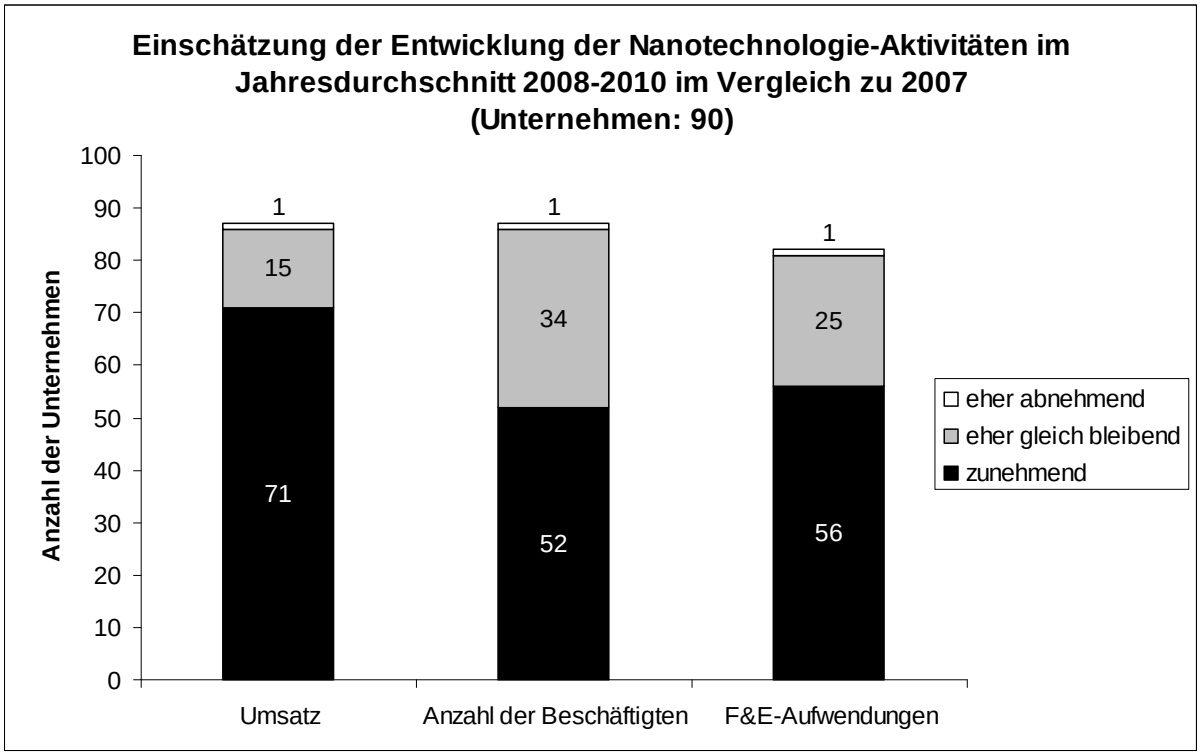
(Quelle: eigene Erhebung)

Dies weist darauf hin, dass die Nanotechnologieunternehmen (noch) stark forschungsorientiert sind. Die Zusammenarbeit mit Hochschulen und außeruniversitären FuE-Einrichtungen erfordert, dass generell FuE-Kapazitäten in den Unternehmen vorhanden sind, um diese Kooperationen überhaupt eingehen zu können. Des Weiteren zeigt sich, dass diese Kooperationen einen hohen Stellenwert haben, um im Wettbewerb konkurrenzfähig zu sein. Die NRW-Unternehmen geben diesbezüglich an, dass sie hauptsächlich mit außeruniversitären FuE-Einrichtungen kooperierten, noch vor der Zusammenarbeit mit Lieferanten und Hoch-

schulen. Dies wiederum deutet an, dass die Kooperationen zwischen universitären Einrichtungen und Unternehmen in NRW gestärkt werden müssten. Differenziert nach Unternehmensgrößen ist schließlich festzustellen, dass sich die Kooperationsstrukturen unterscheiden: KMU kooperieren im Vergleich mit Großunternehmen stärker mit Technologie-Transfereinrichtungen und Unternehmensnetzwerken, gefolgt von Abnehmern und Fachhochschulen.

Abbildung 11 stellt nun abschließend die Einschätzung der befragten Nanotechnologie-Unternehmen hinsichtlich der zu erwartenden weiteren Entwicklung der Nanotechnologie-Aktivitäten dar. Es ist klar erkennbar, dass die Unternehmen ganz überwiegend davon ausgehen, dass sich der Bereich Nanotechnologie positiv entwickeln wird. Es wird angenommen, dass sich insbesondere die Umsätze und die FuE-Aufwendungen erhöhen werden und – wenngleich in geringerem Ausmaß – auch die Beschäftigung in diesem Bereich zunehmen wird.

Abbildung 11: Einschätzung der Entwicklung der Nanotechnologie-Aktivitäten im Jahresdurchschnitt 2008-2010 im Vgl. zu 2007



(Quelle: eigene Erhebung)

Zusammenfassend sei noch einmal auf die wesentlichen Erkenntnisse aus der Analyse und Befragung der Nanotechnologie-Unternehmen hingewiesen: Die Zusammensetzung des Berichtskreises ist hinsichtlich der Unternehmensgrößenklassen heterogen: neben kleineren Unternehmen haben Großunternehmen einen bemerkenswert hohen Anteil. Vergleicht man

dies bspw. mit dem Bereich Biotechnologie, so wird deutlich, dass im Bereich Nanotechnologie Großunternehmen bereits frühzeitig einen bedeutenden Stellenwert erreichen. Die überwiegende Zahl der Unternehmen ist den Bereichen FuE und Dienstleistungen sowie Mess-/Steuer-/Regeltechnik, (Groß-)Handel, chemische Erzeugnisse und Maschinenbau zuzuordnen.

Nanotechnologie-Unternehmen sind forschungsorientiert und sehen in dem Einsatz dieser Technologie einen wesentlichen Aspekt für ihre marktliche Weiterentwicklung. Im Allgemeinen wird davon ausgegangen, dass die Bedeutung der Nanotechnologie bzw. deren Einsatz zunehmen wird, was sich auch in ökonomischen Indikatoren niederschlägt (Umsätze, FuE-Ausgaben, Beschäftigte). Der Einsatz der Nanotechnologien könnte sich daher für diese Unternehmen in Zukunft als wichtiger Faktor für die Wettbewerbsfähigkeit erweisen. Darauf deuten auch die Angaben der Unternehmen im Hinblick auf Patentanmeldungen hin.

Charakteristisch ist dabei auch, dass die Unternehmen eng mit den Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen kooperieren. Zudem sind sie in starkem Maße in internationale Austauschprozesse eingebunden. Die Vorteile der Wettbewerber sehen die Nanotechnologieunternehmen insbesondere in dem besseren Zugang zu Finanzierungsmöglichkeiten sowie in einer stärkeren öffentlichen Förderung.

Hinsichtlich der Umweltschutzpotenziale nanotechnologischer Produkte und Verfahren ist festzustellen, dass diese von den befragten Nanotechnologie-Unternehmen besonders in den Bereichen Material- und Energieeffizienz sowie produkt- und prozessintegrierter Umweltschutz gesehen werden. Hier sehen die Unternehmen durch den Einsatz der Nanotechnologien Möglichkeiten, neben der Erschließung neuer Funktionalitäten auch zur Effizienz von Produkten und Verfahren beizutragen und damit – nicht zuletzt vor dem Hintergrund steigender Ressourcenpreise – auch ökonomische Vorteile zu erzielen.

Umweltwirtschafts-Unternehmen

Von den 937 angeschriebenen Unternehmen der Umweltwirtschaft aus NRW haben 152 (16,2 %) eine Rückmeldung gegeben und 104 (11,1 %) einen ausgefüllten Fragebogen zurückgeschickt. Von den 104 Fragebögen sind jedoch nur 94 (10,0 %) (= „Berichtskreis“) in die weitere Auswertung einbezogen worden, da 10 Unternehmen in den von ihnen ausgefüllten Fragebögen angaben, nicht auf dem Umweltmarkt aktiv zu sein.

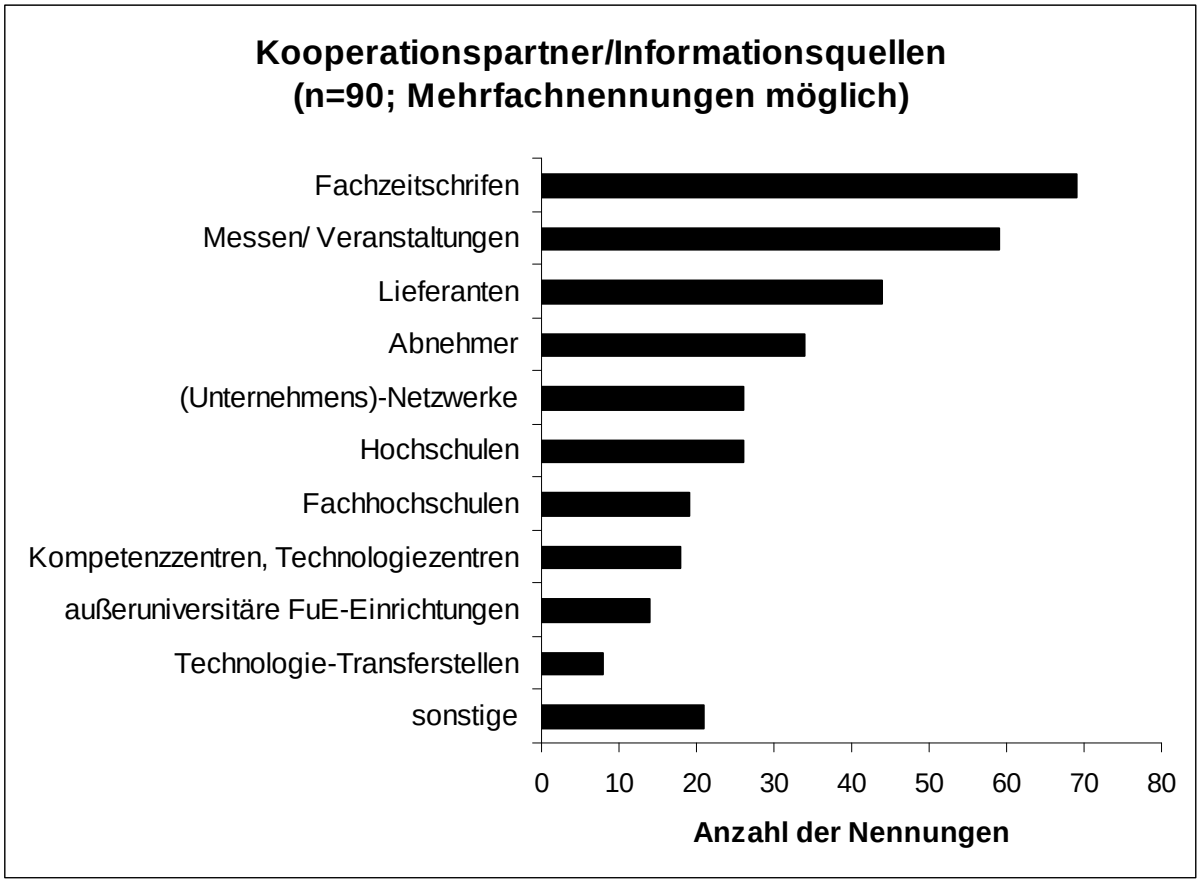
Was die *Größenstruktur der Unternehmen* anbetrifft, so setzt sich der Berichtskreis des Umweltmarktes überwiegend aus KMU zusammen. Dies deckt sich durchaus mit den

Ergebnissen einer Reihe weiterer Untersuchungen zum Umweltmarkt: Umweltunternehmen sind zumeist kleinbetrieblich organisiert.

Laut den gemachten Angaben im Fragebogen ordnen sich die 94 Unternehmen des Berichtskreises wie folgt den vorgegebenen *Segmenten des Umweltschutzmarktes* zu: Der nachsorgende Umweltschutz (Abwasserbehandlung, Abfallwirtschaft, Luftreinhaltung, Bodensanierung, etc.) spielt für die Unternehmen des Berichtskreises eine übergeordnete Rolle, noch vor dem integrierten Umweltschutz (Prozessintegrierter Umweltschutz, Messen/Steuern/Regeln und Umweltanalytik) und dem Ressourcenmanagement (Rationelle Energieverwendung, Erneuerbare Energien und Wasserversorgung).

Die *Kooperationspartner bzw. Informationsquellen* der befragten Umweltwirtschafts-Unternehmen sind in Abbildung 12 dargestellt.

Abbildung 12: Kooperationspartner und Informationsquellen der Umweltwirtschafts-Unternehmen



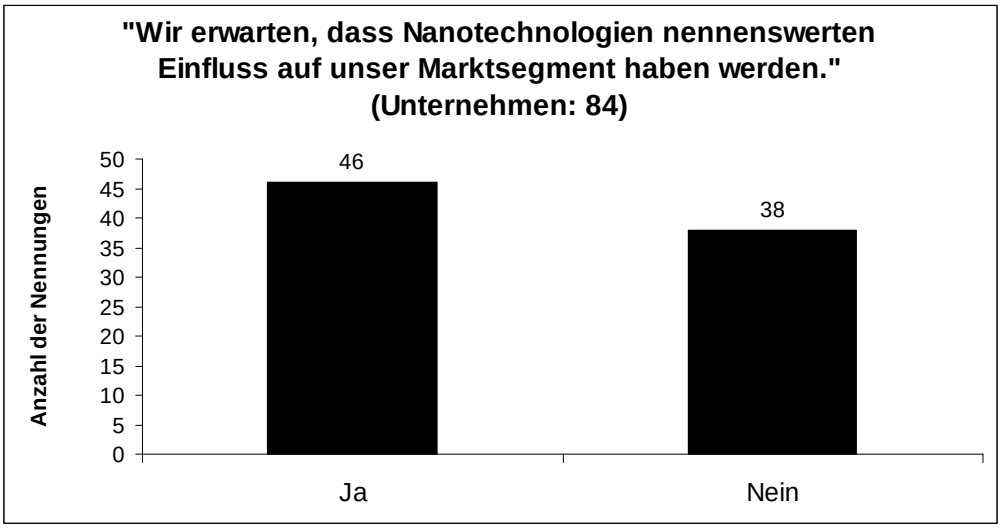
(Quelle: eigene Erhebung)

Demnach stellen Fachzeitschriften und Messen/Veranstaltungen die wichtigsten Kommunikationsmittel für diese Unternehmen dar – ein Faktum, bezüglich dessen sich die Umweltwirtschafts-Unternehmen deutlich von den Nanotechnologie-Unternehmen unterscheiden (s. o.),

da Letztere nämlich in erster Linie mit Hochschulen und außeruniversitären FuE-Einrichtungen im Austausch stehen. Auffällig ist aber auch bei den Umweltwirtschafts-Unternehmen die relativ geringe Bedeutung von Technologie-Transferstellen sowie Kompetenz-/Technologiezentren, die so auch bei den Nanotechnologie-Unternehmen beobachtet werden konnte.

Die Einschätzungen der befragten Umweltunternehmen bzgl. der *Relevanz der Nanotechnologien* sind unterschiedlich. Während 46 Unternehmen (48,9 % von 94) erwarten, dass Nanotechnologien einen nennenswerten Einfluss auf ihr jeweiliges Marktsegment haben werden, wird diese Frage von 38 Unternehmen (40,4 %) verneint (Rest zu 94 Unternehmen bzw. 100 %: keine Angaben) (siehe Abbildung 13). Differenziert nach *Unternehmensgröße* lässt sich diesbezüglich feststellen, dass insbesondere Kleinunternehmen und Großunternehmen (bei insgesamt geringem Anteil am Berichtskreis) davon ausgehen, dass Nanotechnologien Einfluss auf ihr jeweiliges Marktsegment haben werden.

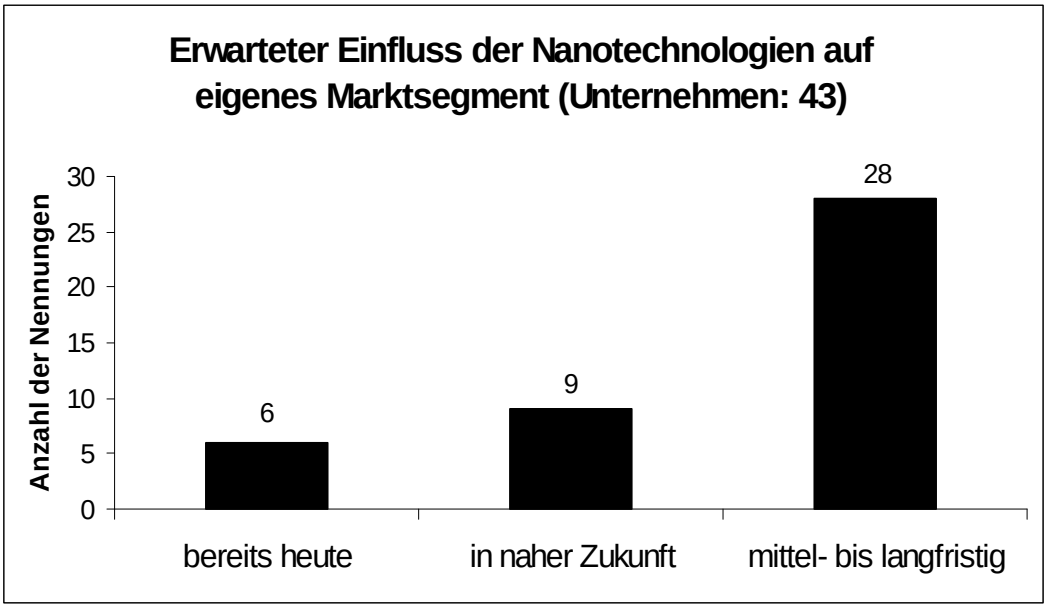
Abbildung 13: Erwartungen des Einflusses der Nanotechnologie auf das jeweilige Marktsegment



(Quelle: eigene Erhebung)

Die Frage nach den *Zeithorizonten*, in denen die genannten 46 Unternehmen mit einem nennenswerten Einfluss der Nanotechnologie rechnen, ergab folgendes Ergebnis (siehe Abbildung 14: 28 Unternehmen (60,9 % von 46) sehen diesen Einfluss erst mittel- bis langfristig, 9 (19,6 %) in naher Zukunft und nur 6 (13,0 %) bereits heute (Rest zu 100 %: keine Angaben).

Abbildung 14: Erwarteter Einfluss der Nanotechnologie auf unser Marktsegment

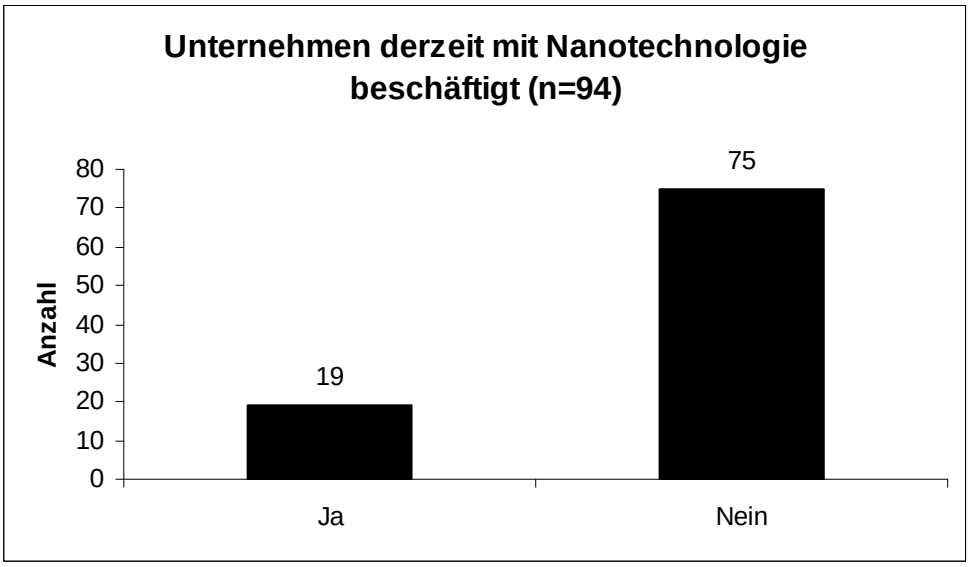


(Quelle: eigene Erhebung)

Schaut man sich nun die *Marktsegmente* an, aus denen die Unternehmen stammen, die einen bzw. keinen Einfluss der Nanotechnologien erwarten, so können folgende Aussagen getroffen werden: Im Bereich nachsorgender Umweltschutz wird vor allem die Abwasserbehandlung als ein Gebiet angesehen, in welchem ein gesteigerter Einfluss der Nanotechnologien zu erwarten wäre, gefolgt von den Gebieten Luftreinhaltung, Abfallwirtschaft (allerdings mit einer hohen Zahl gegenteiliger Angaben) und Bodensanierung. Im Bereich integrierter Umweltschutz wird der Einfluss der Nanotechnologien vor allem auf den Gebieten Umweltanalytik sowie Messen/Steuern/Regeln gesehen. Für den Bereich Ressourcenmanagement (Rationelle Energieverwendung, Erneuerbare Energien und Wasserversorgung) schließlich wird generell ein Einfluss der Nanotechnologien erwartet.

Wie bereits aufgrund der Ergebnisse der Produkt- und Verfahrensrecherche vermutet (s. o.), gehen die Unternehmen der Umweltwirtschaft derzeit kaum *Nanotechnologie-Aktivitäten* nach.

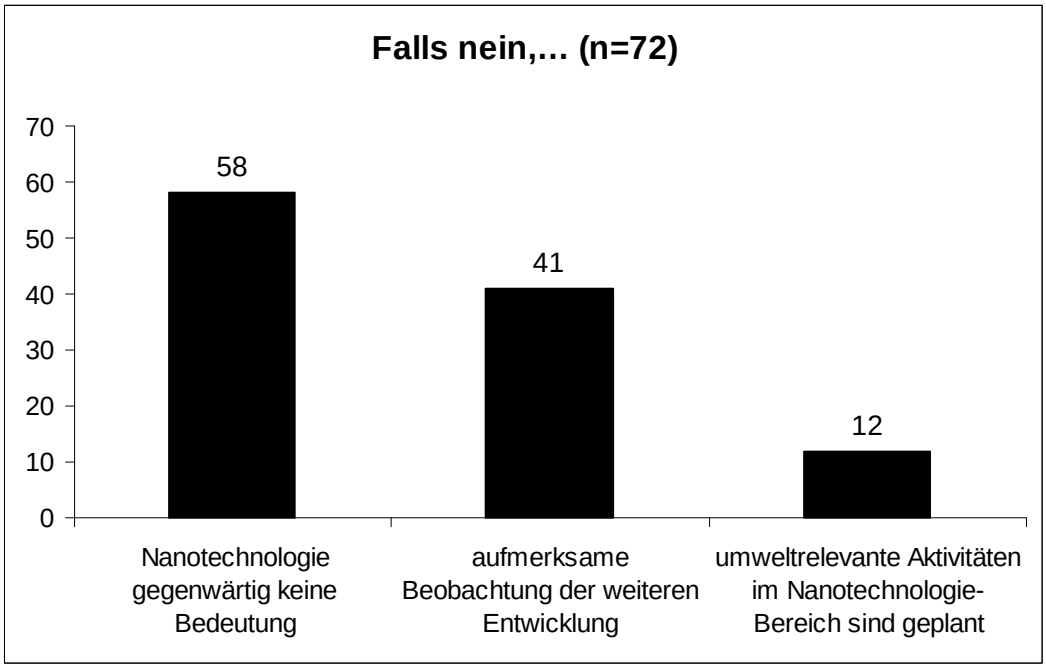
Abbildung 15: Unternehmen derzeit mit Nanotechnologie beschäftigt



(Quelle: eigene Erhebung)

Betrachtet man ausschließlich die Angaben, welche in den auswertbaren 94 Fragebögen zur Frage, ob sich die Unternehmen derzeit mit Nanotechnologie beschäftigen, gemacht worden sind, so fällt das Ergebnis deutlich aus, wie die Abbildung 15 zeigt: Es gaben lediglich 19 Unternehmen (20,2 % von 94) an, derzeit mit Nanotechnologie beschäftigt zu sein, während 75 (79,8 %) dies verneinten.

Abbildung 16: Gründe der Unternehmen des Umweltmarktes, sich derzeit nicht mit Nanotechnologie zu beschäftigen



(Quelle: eigene Erhebung; Mehrfachnennungen möglich)

Immerhin gaben aber von den 75 Unternehmen (= 100 %), die derzeit keinen Nanotechnologie-Aktivitäten nachgehen, 12 (16,0 %) an, dass sie solche Aktivitäten planten, und 41 (54,7 %), dass sie die weitere Entwicklung im Bereich Nanotechnologie aufmerksam beobachteten (siehe Abbildung 16). Zieht man nun noch in Betracht, dass es wahrscheinlich für Umweltwirtschafts-Unternehmen, die derzeit Aktivitäten im Bereich Nanotechnologie verfolgen oder dies vorhaben, einen höheren Anreiz hatten, den Fragebogen auszufüllen und zurückzuschicken, so wird klar, dass Nanotechnologie noch nicht in der Umweltwirtschaft angekommen ist.

Für einen Bias des Berichtskreises in Richtung der ja derzeit noch sehr forschungslastigen Nanotechnologie sprechen auch die Ergebnisse hinsichtlich der *FuE-Aktivitäten der Unternehmen*. Die Mehrzahl der Unternehmen geht zwar selbst keinen FuE-Aktivitäten nach. Gleichwohl ist aber festzustellen, dass immerhin 40 von den 94 Unternehmen des Berichtskreises eigene FuE betreiben, was für Unternehmen des Umweltmarktes einen überaus hohen Anteil darstellt. Allerdings werden auch in diesem Fall größenspezifische Unterschiede deutlich: größere Unternehmen sowie einige der vertretenen Kleinstunternehmen stellen sich forschungsintensiver dar als andere.

Bezüglich der *konkreten nanotechnologischen Produkte und Verfahren* zeigt sich einmal mehr, dass die Unternehmen des Umweltmarktes, die im Feld Nanotechnologien aktiv sind, eine sehr kleine Minderheit darstellen. Allein sieben Unternehmen (7,4 % von 94) gaben an, dass sie mit Nanotechnologie-Aktivitäten bereits am Markt vertreten seien, weitere vier (4,3 %) sind mit Prototypen bzw. Testläufen aktiv und nanorelevante FuE-Aktivitäten werden von fünf Unternehmen (5,3 %) verfolgt.

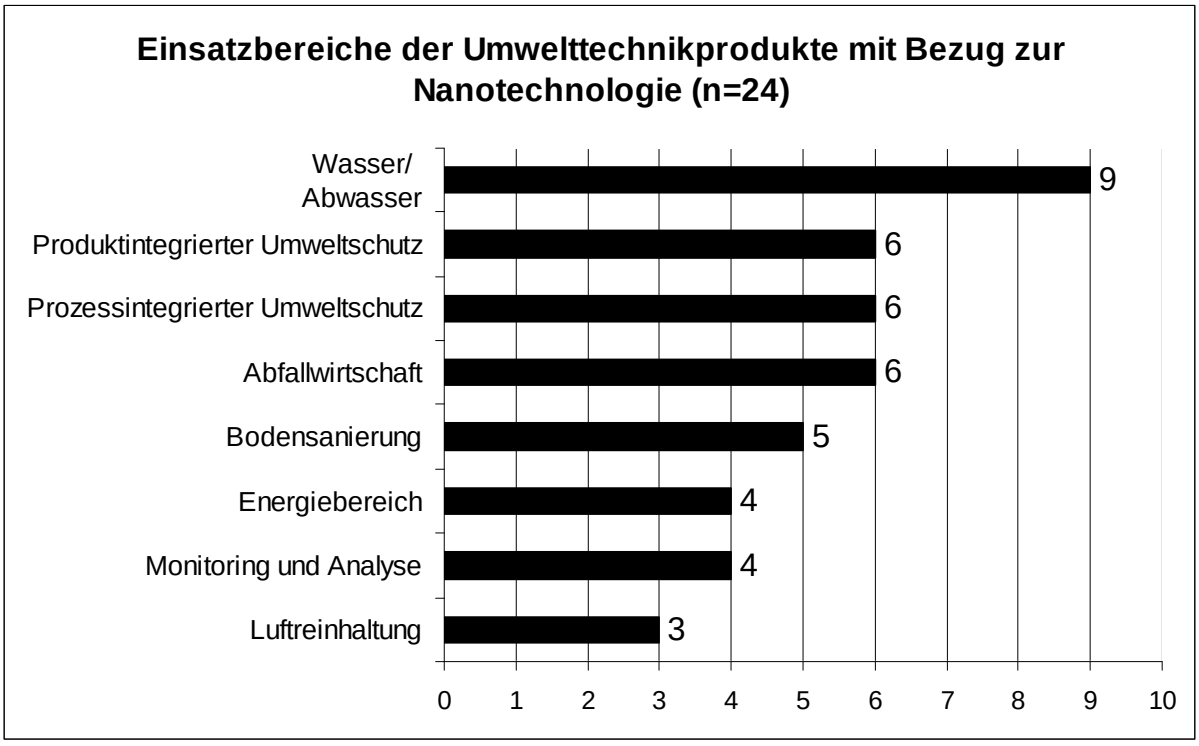
Die *Gründe für eine aktive Beschäftigung mit den Nanotechnologien* werden von den entsprechenden Unternehmen vor allen Dingen in der Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit in den eigenen Kernkompetenzen gesehen. Die Stärkung der Präsenz in einem Rand- bzw. Nischenbereich ist ebenfalls von Bedeutung, wohingegen die Diversifikation in neue Märkte kaum eine Rolle spielt. Darüber hinaus wird den Nanotechnologien nicht der Stellenwert eines interessanten Experimentierfeldes zugewiesen. Die alleinige Verbesserung der Umweltperformance des jeweiligen Leistungsangebotes der Unternehmen schließlich steht eindeutig nicht im Fokus, was einmal mehr deutlich macht, dass erzielbare positive Umwelteffekte von Produkten und Verfahren – sei es durch die Nanotechnologie ermöglicht oder nicht – eher einen Nebennutzen darstellen, der die Wettbewerbsfähigkeit der betreffenden Produkte und Verfahren und damit der Unternehmen nicht sicherzustellen vermag. Vielmehr müssen die

Produkte und Verfahren insgesamt hinsichtlich aller Leistungsparameter überzeugen, nach Möglichkeit auch zu geringeren Preisen.

Was den *Beitrag* der von den entsprechenden Unternehmen der Umweltwirtschaft angebotenen *nanotechnologischen Produkte und Verfahren zum Umweltschutz* anbetrifft, so sind die Verminderung und – in etwas geringerem Maße – die Vermeidung von Emissionen oder Abfall sowie die Materialeinsparung nach Angaben der Unternehmen von zentraler Bedeutung. Hinsichtlich der Substitution toxischer Substanzen sind die Einschätzungen unterschiedlich: eine knappe Mehrheit der Unternehmen geht davon aus, dass eine Substitution nicht die gewünschten Effekte habe, eine ähnlich hohe Zahl sieht dies hingegen als sehr wohl gegeben an. Bezüglich der Interpretation der hierzu gemachten Aussagen muss jedoch angemerkt werden, dass diese auf den Angaben von lediglich 24 Unternehmen beruhen, nämlich den wenigen, die überhaupt schon nanotechnologische Produkte oder Verfahren anbieten bzw. dies kurzfristig planen (s. o.)!

Die Befragung der angeschriebenen Umweltunternehmen nach Einsatzbereichen der Umwelttechnikprodukten, die von der Nanotechnologie profitieren, ergab wie in Abbildung 17 dargestellt, folgende Ergebnisse.

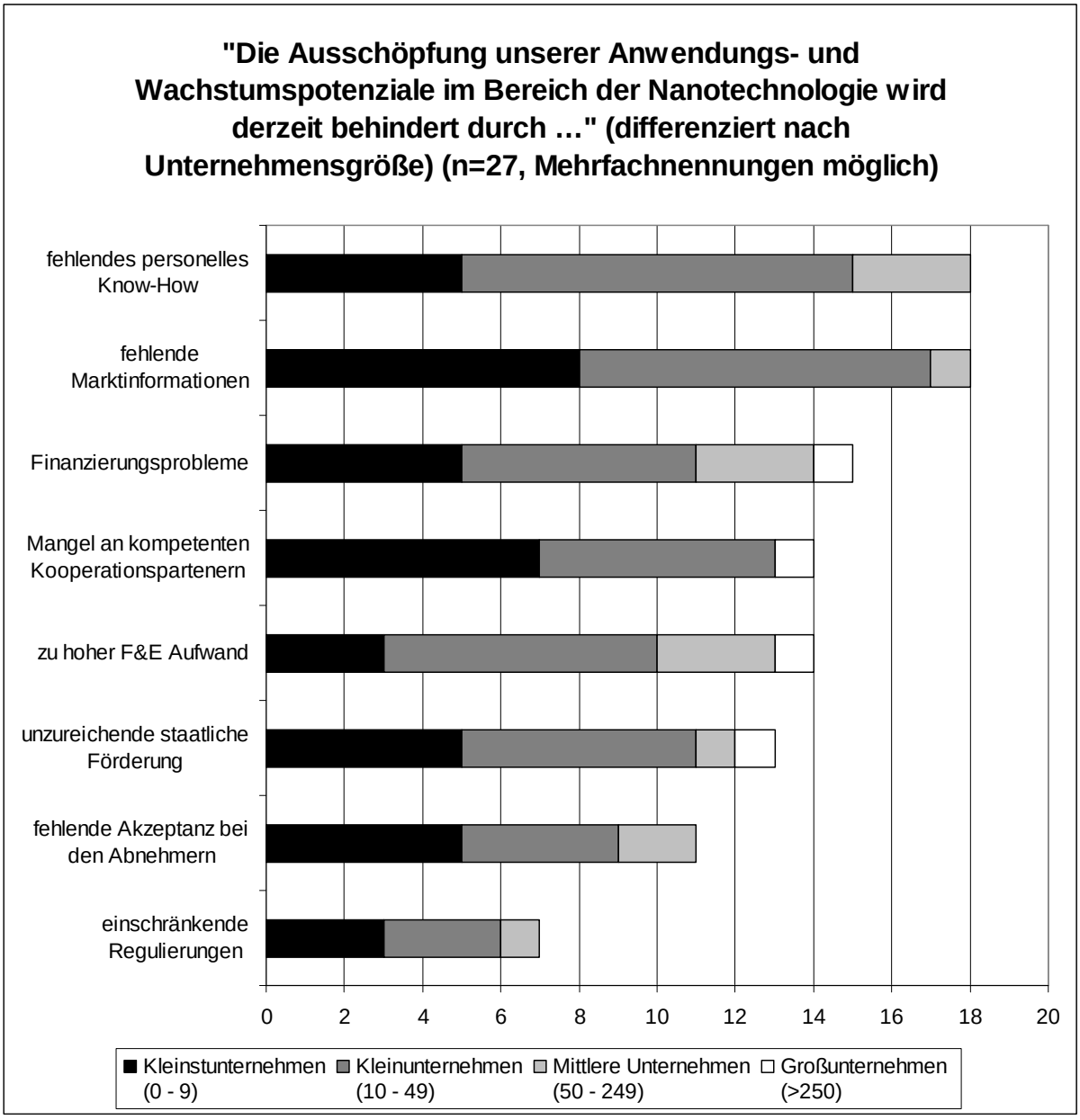
Abbildung 17: Einsatzbereiche der Umwelttechnikprodukte mit Bezug zur Nanotechnologie



(Quelle: eigene Darstellung)

Als wichtigste *Hemmnisse bezüglich der Ausschöpfung der Nanotechnologie-Potenziale* sehen die Unternehmen vor allem fehlendes personelles Know-How sowie fehlende Marktinformationen (siehe Abbildung 18). Ebenfalls als wichtig eingestuft werden Finanzierungsprobleme sowie der Mangel an kompetenten Kooperationspartnern und zu hoher FuE-Aufwand. Als nur etwas weniger bedeutend werden die unzureichende staatliche Förderung und die fehlende Akzeptanz bei den Abnehmern eingeschätzt, während die derzeitige Regulierung wohl kaum eine Rolle spielt. Die Differenzierung nach der Unternehmensgröße zeigt eigentlich kaum Auffälligkeiten. Auch hierbei muss aber unbedingt berücksichtigt werden, dass es sich um die Angaben von nur insgesamt 27 Unternehmen handelt.

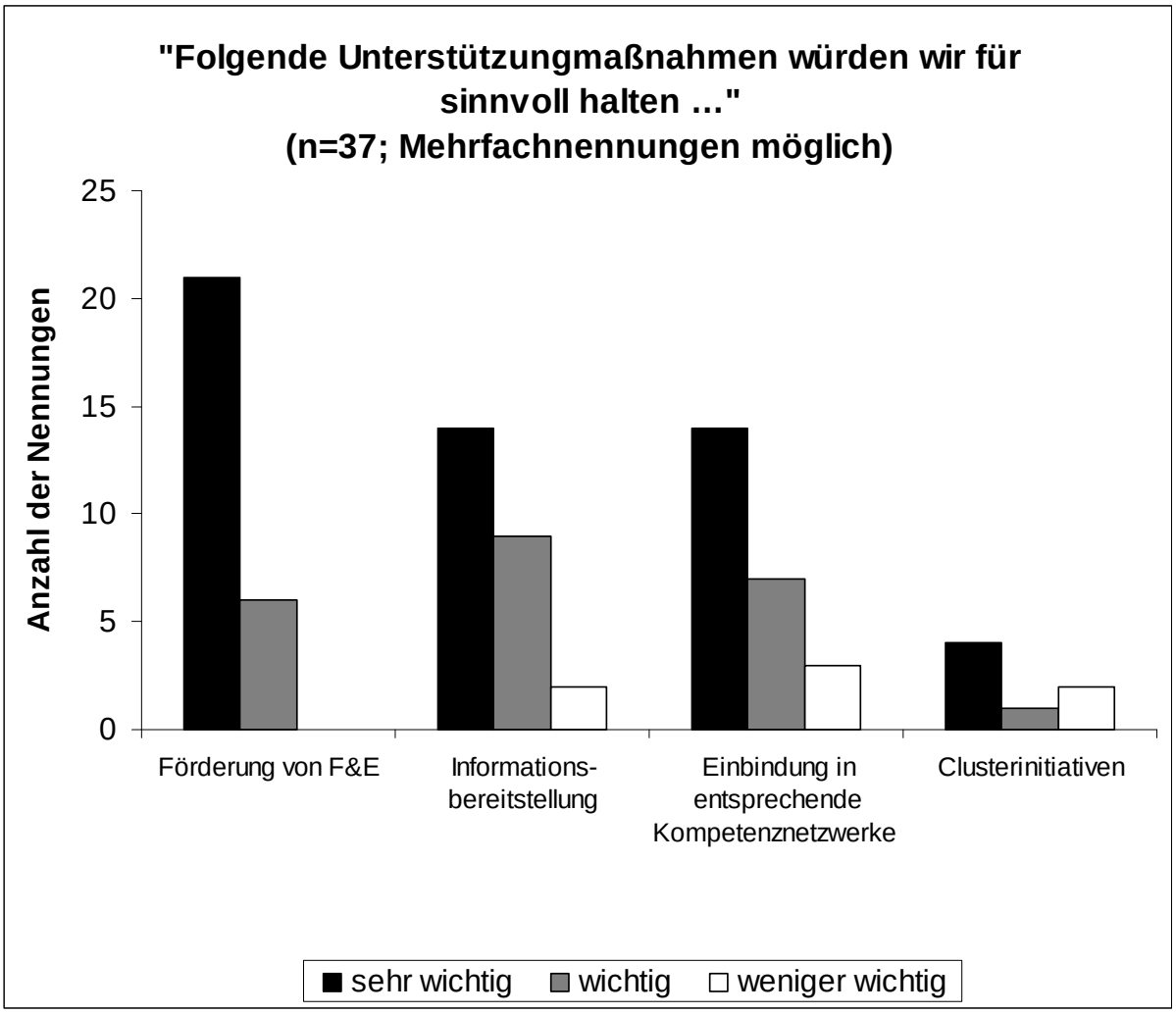
Abbildung 18: Innovationshemmnisse



(Quelle: eigene Erhebung)

Neben den Hemmnissen sind auch die *gewünschten Unterstützungsmaßnahmen* abgefragt worden, die nach Meinung der Umweltwirtschafts-Unternehmen eine bessere Ausschöpfung der Nanotechnologie-Potenziale ermöglichen würden. In Abbildung 19 sind die diesbezüglichen Ergebnisse dargestellt. Demnach wird die Förderung von FuE mit einigem Abstand als vorrangig angesehen, vor der Informationsbereitstellung und der gleichauf liegenden Einbindung in entsprechende Kompetenznetzwerke. Als wenig sinnvoll werden hingegen Cluster-Initiativen eingestuft. Auch wenn hier etwas mehr Unternehmen Angaben gemacht haben, so muss dennoch betont werden, dass die Zahl eher gering ist und die Ergebnisse höchstens als Hinweise interpretiert werden dürfen!

Abbildung 19: Gewünschte Unterstützungsmaßnahmen



(Quelle: eigene Erhebung)

Zusammenfassend sei auch bezüglich der Umweltwirtschafts-Unternehmen an dieser Stelle noch einmal auf die wichtigsten Ergebnisse hingewiesen: Bei den Unternehmen des Umweltmarktes handelt es sich überwiegend um Klein- und Kleinstunternehmen. Relativ viele Unternehmen sind im Bereich FuE engagiert, was auf einen Bias der antwortenden Unternehmen im Hinblick auf eine gewisse Nanotechnologie-Affinität hindeutet. Dennoch befasst sich auch die überwiegende Anzahl der befragten Unternehmen bislang (noch) nicht mit Nanotechnologien. Als Hauptgrund hierfür wird angegeben, dass die Nanotechnologien für das jeweilige Marktsegment der betreffenden Unternehmen bislang noch nicht von Bedeutung seien. Es existieren allerdings bei einigen Unternehmen Erwartungen, dass dies mittel- bis langfristig der Fall sein wird. Viele Unternehmen beobachten zudem die weitere Entwicklung der Nanotechnologien.

Ein deutlicher Unterschied zu den Unternehmen des Berichtskreises der Nanotechnologie-Unternehmen ist im Hinblick auf die Kooperationspartner bzw. die Informationsquellen zu

sehen. Haben für die Nanotechnologie-Unternehmen Hochschulen und außeruniversitäre FuE-Einrichtungen eine wesentliche Bedeutung, so sind die Informationsquellen der Umweltmarktunternehmen im Wesentlichen Fachzeitschriften und Messen/Veranstaltungen, sowie die Lieferanten und Abnehmer. Dies entspricht in etwa dem Verhalten von weniger forschungsintensiven Unternehmen.

Nach Ansicht der Unternehmen des Umweltmarktes sind hemmende Faktoren der Entwicklung vor allem fehlendes personelles Know-How und fehlende Marktinformationen sowie Finanzierungsprobleme und der Mangel an kompetenten Kooperationspartnern (vgl. Abbildung 95 auf Seite 245). Als Konsequenz werden von den Unternehmen des Umweltmarktes insbesondere folgende Unterstützungsmaßnahmen als sinnvoll erachtet: die FuE-Förderung, die Verbesserung der Informationsbereitstellung und die Einbindung in entsprechende Kompetenznetzwerke (vgl. Abbildung 96 auf Seite 246).

Die Beiträge der Nanotechnologien zum Umweltschutz werden gegenwärtig noch eher verhalten angesehen, allerdings wird angemerkt, dass in der Perspektive die Bedeutung für den Umweltschutz zunehmen wird. Für die Unternehmen des Umweltmarktes, also bspw. Membran- und Filtertechnikhersteller oder Analytikanbieter, ist allerdings charakteristisch, dass diese hinsichtlich der Abnahme ihrer Produkte und Verfahren z. T. von staatlich „geschaffenen“ Märkten abhängen und insofern die Umweltregulierung eine wichtige Rolle als Inovationsmotor darstellt. Gelänge es einerseits, Nanotechnologien für den Umweltschutz bzw. die Umwelttechnik weiter zu entwickeln, und andererseits, die Nutzung entsprechender verbesserter Produkte und Verfahren auch marktseitig zu erschließen, dann könnte dies für den Umweltschutz einen wichtigen Beitrag darstellen und überdies den betreffenden Unternehmen wirtschaftlich helfen.

Unternehmensinterviews

Flankierend zu den groß angelegten Unternehmensbefragungen sind im Rahmen der vorliegenden Studie auch eine Reihe von Unternehmensinterviews geführt worden. Die Auswahl der Unternehmen beschränkte sich geografisch auf NRW, was dem Fokus der Studie und praktischen Gründen geschuldet ist. Des Weiteren sei angemerkt, dass es sich bei der Auswahl der Unternehmen für die Interviews vorrangig um eine „Positivauswahl“ gehandelt hat, und zwar in dem Sinne, als dass einerseits ein bestehender Bezug zur Nanotechnologie eindeutig war, und andererseits stark innovationsorientierte Unternehmen ausgewählt wurden.

Darüber hinaus wurden in die Interviews sowohl Nanotechnologie-Unternehmen als auch Unternehmen der Umweltwirtschaft einbezogen.

Die Unternehmensinterviews haben im Ergebnis viele der im Rahmen der Produkt- und Verfahrensrecherche sowie der schriftlichen Unternehmensbefragungen gewonnenen Erkenntnisse (s. o.) bestätigt und darüber hinaus noch einmal verdeutlicht, dass hinsichtlich des Einsatzes der Nanotechnologien stark differenziert werden muss. So sind Anwendungsfelder wie Materialien und Oberflächen sowie Katalyse bereits seit langem etabliert und erhalten durch die Nanotechnologie-Forschung zusätzliche Impulse, während ihr Einsatz in anderen Produkten und Verfahren erst am Anfang steht. Dementsprechend müssen die Aussagen zum Einsatz von Nanotechnologien bereichsspezifisch getätigt werden. Stellt der Einsatz von Nanotechnologien (bspw. von Nanopartikeln) in einigen Bereichen nur kleinere Herausforderungen dar, so gibt es in anderen Bereichen erhebliche Schwierigkeiten, die es zu bewältigen gilt. Die Integration der Nanotechnologien in Produkte und Verfahren erweist sich demnach als keineswegs trivial. So ist der Schritt von der Forschung zu marktfähigen Produkten mit erheblichen Problemen behaftet (bspw. Up-scaling, Integration in existierende Produkte etc.). Zum einen müssen technologische Hemmnisse überwunden werden, zum anderen müssen diese Nanotechnologie unterstützten Produkte und Verfahren wettbewerbsfähig gemacht werden. D. h., die Erschließung der neuen Funktionalitäten, die durch den Einsatz der Nanotechnologien ermöglicht werden, müssen sich letztlich auch „rechnen“. Damit eng verbunden ist die Tatsache, dass der Einsatz der Nanotechnologien immer in Produkten und Verfahren erfolgt – die Nanotechnologie selbst ist noch kein Produkt oder Verfahren. Entscheidend ist dabei die Leistungsfähigkeit des gesamten Produkts oder Verfahrens, nicht nur eines ausgewählten, durch Nanotechnologie verbesserten Leistungsparameters. Nanotechnologien spielen folglich nur insoweit eine Rolle, als sie zu einer Verbesserung des Produkts/Verfahrens beitragen können, die jedoch auch wirtschaftlich darstellbar sein muss (Entwicklungs- und Herstellungskosten bzw. Produktpreise, die am Markt erzielt werden können).

Das Problem der unzureichenden Förderung, welches in den schriftlichen Befragungen bereits zutage getreten war, wurde in den Interviews vor allem im Hinblick auf die öffentlichen Förderprogramme konkretisiert. Demnach sei vor allem die spezifische Ausgestaltung der Programme (erheblicher Aufwand der Antragstellung, zu geringe Förderquoten, zu lange Zeiträume zwischen Antragstellung und Bewilligung, Gefährdung der eigenen Geheimhaltungsinteressen) problematisch. Konkret auf NRW bezogen wurde die Veränderung der

Förderlandschaft auf eine stärkere Wettbewerbsorientierung als nicht zielführend angeführt.[7] Als Beispiele gelungener Förderpolitiken wurden in den Interviews insbesondere die Programme Bayerns erwähnt.

Im Hinblick auf die Umweltrelevanz geben die Nanotechnologie-Unternehmen und die Unternehmen des Umweltmarktes sowohl in den schriftlichen Befragungen als auch in den Interviews an, dass mit dem Einsatz der Nanotechnologien Umweltentlastungspotenziale erschlossen werden könnten. Im Rahmen der Interviews wurde darüber hinaus deutlich, dass Risiken des Einsatzes dieser Technologien im Wesentlichen nicht gesehen werden. Allerdings wird der öffentliche Diskurs um Risiken als problematisch angesehen. Es sei erforderlich, dass einerseits eine offensive Kommunikation der Chancen von Nanotechnologien auf den Weg gebracht werden müsse. Andererseits müsse aber auch sichergestellt werden, dass „echte", also auf wissenschaftlichen Fakten oder begründeten Annahmen beruhende Risiken ernst genommen und entsprechend behandelt würden und „falsche" Risiken, die aus Halbwissen oder Gerüchten herrührten, aber bspw. über das Internet massenhaft verbreitet würden, durch gezielte Informationen auch aus der Politik heraus aus der Welt geschaffen werden. Denn Letztere können für Unternehmen eine ernsthafte Gefahr darstellen und zu einer Zurückhaltung bei nanotechnologischer FuE sowie Produktentwicklung und -vermarktung führen.

Schlussfolgerungen bezüglich der Anbieter und Anwender nanotechnologischer Produkte und Verfahren für die Umwelttechnik und den Umweltschutz

Die Förderung der Nanotechnologien für den Umweltschutz muss letztlich an den unterschiedlichen Unternehmensgruppen (Nanotechnologie-Unternehmen, Branchen, Unternehmen des Umweltmarktes) ansetzen und zusätzlich die unterschiedlichen Unternehmensgrößenklassen berücksichtigen. Etwaige Fördermaßnahmen zur Erschließung und Ausschöpfung der Umweltschutzpotenziale der *Nanotechnologie-Unternehmen* sollten – so die Ergebnisse der Befragung – vor allem auf die Verifizierung der Umwelt- und Ressourceneffekte abzielen und insbesondere gezielt im Bereich der FuE, der Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen ansetzen. Die relativ enge Kooperation der Nanotechnologieunternehmen mit eben diesen Einrichtungen, wie sie sich aus den Befragungen ergibt, kann den Transfer in der Folge sicherstellen und fördern. Da die Umwelteffekte für die Nanotechnologieunternehmen bereits eine relativ große Rolle spielen, könnte die stärkere Fokussierung der

[7] Anzumerken ist diesbezüglich aber, dass die Befragungen in einem Zeitraum erfolgten, in dem die Umgestaltung der NRW-Förderung aktuell anstand.

Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen auf entsprechende Fragestellungen einen wichtigen Hebel darstellen.

Gegenwärtig ist festzustellen, dass teilweise von einer quasi automatischen Beziehung zwischen der Entwicklung der Nanotechnologien und den Umweltschutzeffekten ausgegangen wird. Dies gilt sicher insoweit, als dass mit steigenden Ressourcenkosten (auch im Zuge der erwartbaren klimapolitischen Instrumente) Anreize zur entsprechenden Entwicklungsrichtung der Nanotechnologien gesetzt werden. Der Bereich Energietechnologien spiegelt diesen Einfluss wider: bei der Analyse der nanotechnologischen Produkte und Verfahren, die künftig auf dem Markt erwartet werden, konnten insbesondere Produkte und Verfahren identifiziert werden, die den unterschiedlichen Energietechnologien zugeordnet werden können. Soweit diese Anreize nicht existieren, werden die potenziellen Entlastungswirkungen des Einsatzes von Nanotechnologien auch nicht erschlossen werden können.

Für die KMU sind zudem besondere Fördermaßnahmen erforderlich. Zwar sind die Unternehmen des Berichtskreises generell mit FuE befasst, darunter auch eine Reihe von forschungsintensiven KMU, gleichwohl sind die KMU stärker auf Informationsvermittlung und Netzwerkanbindungen angewiesen.

Für die *Unternehmen des Umweltmarktes* sind hingegen andere Strategien erforderlich. Aus Sicht der Gutachter geht es zunächst vor allem um die Vermittlung bzw. Kommunikation potenzieller Möglichkeiten der Nanotechnologien für die Umweltwirtschafts-Unternehmen. Zum einen sind die Unternehmen offenbar noch wenig mit Nanotechnologien befasst. Zum anderen bestehen deren Kommunikationspartner/Informationsquellen im Wesentlichen aus den „traditionellen“ Bereichen: Fachzeitschriften/Messen aber auch Zulieferer/Abnehmer. Die Kooperation mit Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen ist hingegen wenig entwickelt. Dementsprechend werden von den Unternehmen vorrangig FuE-Förderung und Informationsbereitstellung angesprochen, sowie die Einbindung in entsprechende Kompetenznetzwerke.

Generell lässt sich feststellen, dass laut den geäußerten Erwartungen der befragten Unternehmen der Einsatz von Nanotechnologien und die Bedeutung der Nanotechnologien für die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen – zumindest in bestimmten Bereichen – wahrscheinlich zunehmen werden. Hinsichtlich der zeitlichen Fristen sind allerdings erhebliche Unterschiede feststellbar: die Nanotechnologie-Unternehmen gehen davon aus, dass die Bedeutung der Technologien sowohl hinsichtlich der Indikatoren Umsatz und Beschäftigung bereits in den kommenden drei Jahren zunehmen wird. Die Unternehmen des Umweltmarktes haben sich bislang nur in äußerst geringem Umfang mit Nanotechnologien befasst und

erwarten – allerdings nur zum Teil und wenn dann eher mittel- bis langfristig – eine Bedeutungszunahme dieses Technologiebereichs für ihre jeweiligen Tätigkeitsfelder.

VII. Beschäftigungspotenziale der Nanotechnologien

Als Ergebnis der Untersuchung ist festzustellen, dass die Nanotechnologie-Unternehmen hinsichtlich ihrer Aktivitäten insbesondere beim Umsatz positive Entwicklungserwartungen haben. Die durchgeführte Analyse des Beschäftigtenpotenzials im Bereich der Nanotechnologien zeigt, dass die Bedeutung dieser Technologie nicht zu unterschätzen ist. Es ist in diesem Zusammenhang allerdings darauf zu verweisen, dass Nanotechnologien als „enabling technologies“ angesehen werden und damit ähnlich wie die Materialwissenschaften zwar eine wichtige Rolle für das Innovationsgeschehen und die wirtschaftliche Entwicklung spielen, diese führen aber letztlich nur sehr begrenzt dazu, dass tatsächlich neue „eigenständige“ Nano-Arbeitsplätze entstehen. Vielmehr ist davon auszugehen, dass der Einsatz der Nanotechnologien in den unterschiedlichen Verfahren und Produkten zu einer Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit führen kann, es sich aber dabei in der Regel nicht um neu geschaffene Arbeitsplätze handelt, sondern vielmehr um den Erhalt bestehender Beschäftigungsverhältnisse. Ein Arbeitsplatzaufbau könnte dann erfolgen, wenn es gelingt, Nanotechnologien für Prozesse und Produkte so nutzbar zu machen, dass diese auf den diversen Absatzmärkten wettbewerbsfähiger werden. Nanotechnologien werden in der Perspektive eine Voraussetzung für wettbewerbsfähige Arbeitsplätze sein, wenn es gelingt, die technisch-wirtschaftlichen Potenziale dieser Technologien zu erschließen und in wettbewerbsfähigere Produkte und Verfahren umzusetzen.

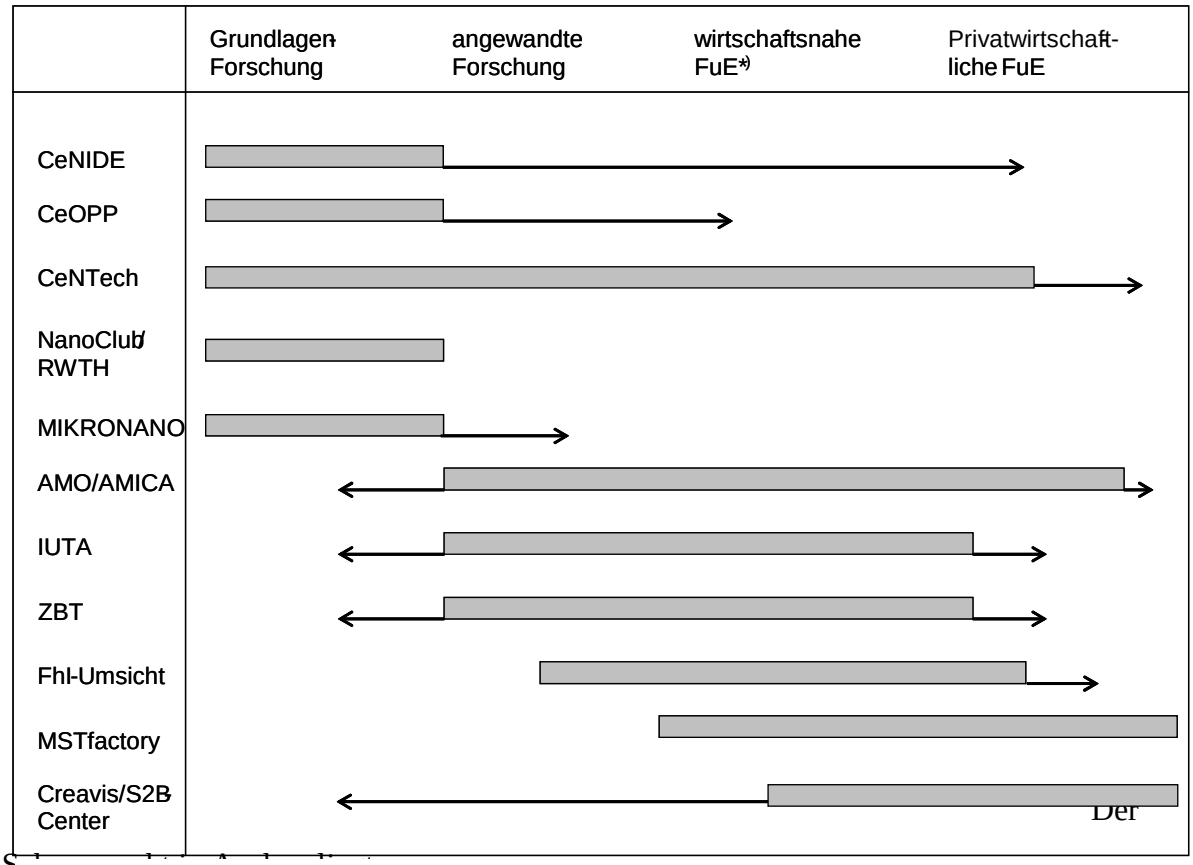
VIII. Forschungs- und Entwicklungs-Infrastruktur in NRW

Neben der Recherche und Systematisierung von nanotechnologischen Produkten und Verfahren für die Umwelttechnik und den Umweltschutz sowie der Identifizierung und Befragung von Anbietern und Anwendern solcher Produkte und Verfahren, war die Analyse und Bewertung der umweltrelevanten Nanotechnologie-FuE-Infrastruktur eine der Aufgaben der vorliegenden Studie. Die Ergebnisse dieses Bausteins sollen nun auch überblicksartig vorgestellt werden.

In den letzten Jahren ist es an mehreren Universitäten in NRW gelungen, die nanowissenschaftliche Forschung fachbereichs- bzw. fakultätsübergreifend zu bündeln und sie als Einrichtung der jeweiligen Universität bzw. universitätsnah zu institutionalisieren (Bsp. AMO/Aachen, CeNTech/Münster, CeNIDE/Duisburg-Essen, CeOPP/Paderborn). Es ist allerdings notwendig, die jeweiligen regionalen Potenziale und Erfolgsfaktoren genau zu betrachten. Es zeigt sich dabei, dass es sich jeweils um regional spezifische Clusterbildungen handelt, je nach dem in welchem Bereich der Nanowissenschaften der Schwerpunkt der Forschung liegt und wie die Ausgangsbedingungen für die Generierung einer „kritischen Masse“ waren.

In Abbildung 20 werden die Profile der Nano-Forschungscluster in NRW im Hinblick auf deren vertikale Integration von der Grundlagenforschung bis zur privatwirtschaftlichen FuE und Vermarktung von technologischen Innovationen im Überblick dargestellt.

Abbildung 20: Profile der Nano-FuE-Cluster in NRW



Der

(Quelle: sfs Darstellung) ***) Kooperationen, Spin-Off Gründungen**

Der Schwerpunkt in Aachen liegt im Bereich Nanoelektronik**,** ein Forschungsfeld, in dem durch kurze Innovationszyklen die nanotechnologische Entwicklung vorangetrieben wird. Mit dem Institut für Halbleitertechnik an der RWTH Aachen, dem anwendungsorientierten Forschungszentrum AMO/AMICA und den kooperierenden Industriepartnern in Deutschland und Europa wird die Wertschöpfungskette bis zur Schwelle der industriellen Anwendung vollständig abgebildet. Es wird eine enge Verzahnung von Grundlagenforschung (z.B. im Bereich alternativer Halbleitermaterialien (Graphen) für Transistoren für die Nach-Silizium-Phase), von anwendungsorientierter Forschung und Entwicklung bis hin zu Prototypentwicklungen und Vermarktung der eigenen Innovationen (foundry services im Bereich UV-Nanoimprint im Rahmen eines Industriekonsortiums) praktiziert. Die Akteure in Aachen

verstehen sich als „Pfadfinder“ für technologische Spitzeninnovationen und haben sich damit als Schlüsselakteur etabliert. In der UV-Nanoimprint-Technologie wird Weltmarktführerschaft beansprucht. Sie sind in der Lage, die finanziellen Ressourcen sowohl auf der Seite der öffentlichen Förderprogramme (BMBF, EU-Rahmenprogramme, Investitionsmittel des Landes) als auch der Industriepartner zu generieren. Die Bündelung der in Deutschland vorhandenen Kompetenzen wurde mit dem Aufbau des ersten nationalen BMBF-Kompetenzzentrums für laterale Nanostrukturen (1999) vorangetrieben. Als Folgeinitiative wurde das NRW-Forschungscluster Nano-IT initiiert. Dieses Muster der vertikalen Clusterbildung von der Grundlagen(spitzen)forschung bis hin zur Vermarktung der technologischen Innovationen ist typisch für den Standort Aachen.

Im Vergleich zu Aachen sind die Clusterbildungen an der Universität Duisburg-Essen (und an der Universität Münster) demgegenüber bemerkenswerte Beispiele von fachbereichsübergreifender Integration von universitären Kompetenzen unter dem Leitbegriff Nano. In Duisburg ist es frühzeitig gelungen, die Bottum-up-Clusterbildung der Ingenieur- und Naturwissenschaften durch Einwerbung eines Sonderforschungsbereichs der DFG (1999) und mit der damit verbundenen langfristigen Finanzierungsperspektive (von 5-10 Jahren) zu stabilisieren. Es konnten damit vor allem auch die Voraussetzungen für das Lernen von disziplinübergreifender Forschungszusammenarbeit geschaffen werden, die die institutionelle Integration in Form des CeNIDE-Zentrums (2005) erst möglich gemacht hat. Weiterhin wurden die zunächst als privatwirtschaftliche Forschungsinstitute gegründeten Institute IUTA und ZBT schrittweise in die Universität integriert und damit die Anwendungsorientierung der universitären Nanotechnologie-Forschung ausgebaut und gestärkt. Im Verbund können Fragen der Grundlagenforschung zu gasförmigen Nanopartikeln, des Up-Scalings von Prozess- und Messtechniken bis hin zur Entwicklung von Prototypanlagen und der Produktion von Nanomaterialien in beliebigen Mengen für Forschungs- und Testverfahren bearbeitet werden. Letzteres wird durch das im Aufbau befindliche neue Zentrum für Nanomaterialien am IUTA noch an Bedeutung gewinnen. Das Kompetenzspektrum des CeNIDE-Zentrums reicht von der Prozesstechnologie von Nanopartikeln in größeren Materialmengen über die Generierung von Anwendungsprodukten auf der Basis von nanostrukturierten Materialien sowie zukünftig im Bereich Nano-Energie. Angestrebt wird, mit den in CeNIDE versammelten Kompetenzen, ein Nano-Energie-Zentrum in Duisburg zu gründen..

Zur Industrie, bspw. Degussa (jetzt Evonik Industries), bestehen langjährige Kooperationsbeziehungen. Ein gutes Beispiel für die hier praktizierte vertikale FuE-Wertschöpfung ist die Entwicklung eines keramischen Separators für Lithium-Ionen-Batterien. Aktuell werden neue

Formen der Kooperation mit diesem Unternehmen im Rahmen des Forschungsaustausches von Nachwuchswissenschaftler/innen im Graduiertenkolleg Nanotronics mit der FuE-Tochterfirma Creavis von Evonik Industries erprobt. Damit sollen aktuelle Erkenntnisse aus der nanotechnologischen Forschung in die Wirtschaft getragen, aber die Nachwuchswissenschaftler/innen auch mit den Fragestellungen und Anforderungen der industriellen Praxis konfrontiert werden. Mit dem umfassenden methodischen Know how und der technischen Infrastruktur können Nanopartikel für Forschung und Test- und Demonstrationsverfahren bereitgestellt werden und diese auch durchgeführt werden. Es wird damit eine Brückenfunktion zwischen Forschung und Anwendungsprodukten ausgefüllt, die von mehreren Interviewpartnern als grundlegender Engpassfaktor für die Überführung von Nanotechnologie in Anwendungsprodukte bezeichnet worden ist.

Ein aus Umweltsicht einzigartiges Merkmal des Nano-Clusters in Duisburg ist die institutionelle Integration von technologischer und umweltbezogener Forschung. Messen und Charakterisieren von Nanopartikeln, die verfahrenstechnische Vermeidung von Emissionen und die Risikobewertung von Nanopartikeln kann „in einer Hand“ durchgeführt werden. Plädiert wird für eine nachhaltige Nanotechnologie-Forschung, bei der frühzeitig eine Abschätzung möglicher Risikopotenziale vorgenommen werden sollte, um spätere Anwendungs- bzw. Akzeptanzprobleme zu vermeiden. Ein weiterer Schwerpunkt der Nanoforschung in Duisburg/Essen stellt das NRW NanoCluster NanoEnergie dar, welches vom Zentrum für BrennstoffzellenTechnik (ZBT) koordiniert wird.

Ein wesentliches Moment der nano-biowissenschaftlichen Forschungsclusterbildung in Münster ist, wie in Duisburg, die Bündelung der Forschungsgruppen aus verschiedenen Fachbereichen in einem Zentrum, dem CeNTech. Die räumliche Nähe der Forschungsgruppen, die zu einem intensiven disziplinenübergreifenden Austausch führen soll, wird in Münster mit der Förderung von Unternehmensgründungen aus der universitären Forschung heraus verbunden. Das CeNTech ist als Forschungs- und Gründungszentrum ein einzigartiges Modell des Wissenstransfers in der Bioanalytik und Nano-Biotechnologie in NRW. Mit diesen thematischen Schwerpunkten hat es ebenfalls ein besonders Profil gegenüber den anderen Nano-Clustern in NRW. Das CeNTech ist ein wesentlicher Baustein der regionalen Entwicklungsstrategie der Technologieinitiative Münster, die auf die Schaffung eines günstigen regionalen Umfeldes für die wirtschaftliche Nutzung von nanoanalytischen Innovationen durch die Förderung von Unternehmensgründungen setzt. Vorreiterunternehmen für erfolgreiche Spin-off-Gründungen aus der Universität heraus ist die Firma ION-TOF. Die

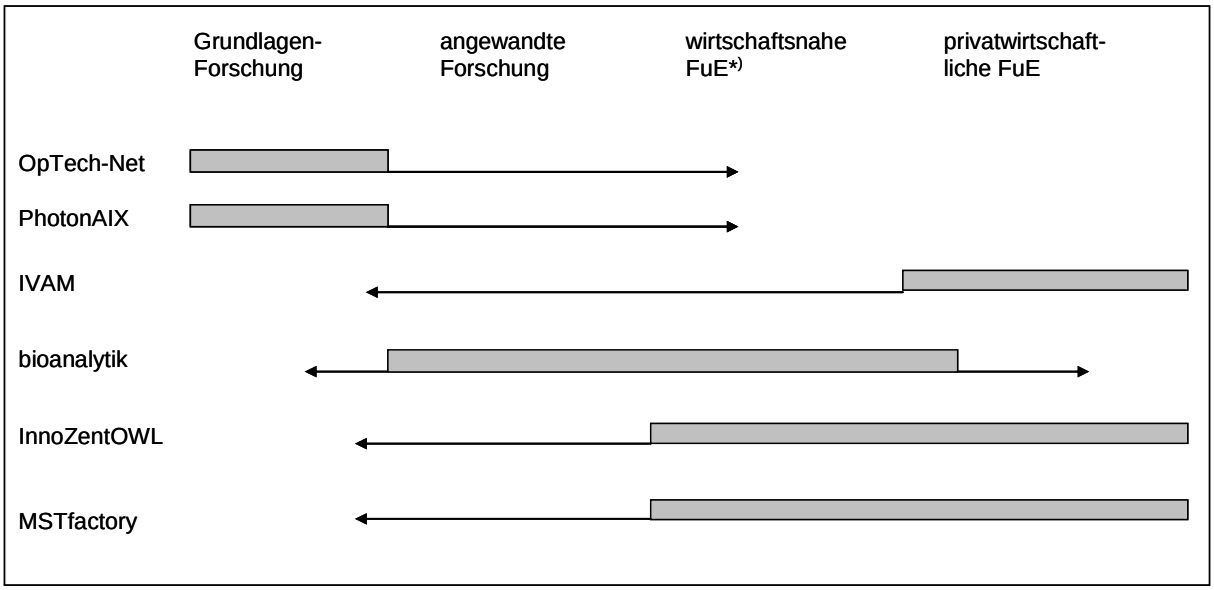
Promotoren dieser regionalen Entwicklungsstrategie sind im Bioanalytik-Netzwerk zusammengeschlossen.

Eine starke Wirtschaftsorientierung zeichnet auch das privatwirtschaftlich geführte Gründungszentrum der MSTfactory in Dortmund aus. Der profilierende Schwerpunkt liegt im Bereich der Mikrostrukturtechnik. Inzwischen sind auch einige im Bereich Nanotechnologien tätige Unternehmen im Zentrum angesiedelt, so dass die Nanotechnologie zunehmend in den Fokus der regionalen Akteure tritt. Mit dem Gründungszentrum ist ein Gründungswettbewerb im Bereich Mikrostruktur „all micro“ verbunden, der seit 2003 jährlich im Rahmen der „start2grow“-Wettbewerbe von der Wirtschaftsförderung Dortmund/dortmundproject und der MSTfactory durchgeführt wird.

Der Verbund MIKRONANO der nanowissenschaftlichen Forschungsgruppen an der TU Dortmund ist nicht in gleichem Maße uni-intern institutionalisiert wie in Duisburg, Münster und Paderborn, sondern ein informelles Netzwerk.

Die Profile der Nanotechnologie-Netzwerke in NRW werden im Hinblick auf deren vertikale Integration zwischen Grundlagenforschung und wirtschaftlicher FuE im Überblick in der folgenden Abbildung 21 dargestellt.

Abbildung 21: Profile der Nano-Netzwerke in NRW



(Quelle: sfs-Darstellung) ***) Kooperationen, Spin-Off-Gründungen**

InnoZentOWL in Paderborn ist im Vergleich zu den anderen befragten Technologie-Cluster und -Netzwerken ein regionales Technologie-Netzwerk, das ausgeprägter als die bisher genannten sich an den Innovationspotenzialen und Handlungsproblemen der Anwenderunter-

nehmen orientiert. Hieran wird zum einen deutlich, dass es vielfach noch ein weiter Weg ist, bis nanotechnologische Innovationen in marktfähige Endprodukte umgesetzt werden. Zum anderen wird sichtbar, dass Austauschforen zwischen Technologieanbietern und -anwendern notwendig sind, um den Wissenstransfer in beiden Richtungen zu fördern. Weiterhin sind Zwischenschritte notwendig, wie sie beispielsweise von den Zentren für Aufbau- und Verbindungstechnik in Bad Lippstadt und Dortmund, den Foundry services der AMO und dem Science-to-Business-Center der Evonik Industries in Marl in Kooperation mit CeNIDE in Duisburg angeboten werden.

Die genannten regionalen Technologie-Netzwerke sind lose im „Technologiemarkt NRW" zusammengeschlossen; er ist derzeit zum einen eine lose Koordinationsform der regionalen Netzwerke und zum anderen eine virtuelle Informationsplattform, die von der IVAM eingerichtet worden ist und koordiniert wird[8]. Eine weitergehende Vernetzung der Netzwerke auf der Landesebene ist derzeit noch nicht entschieden. Das Ausschreibungsverfahren zur Vergabe eines landesweiten Clustermanagements für den Bereich Nanotechnologie ist derzeit (Stand: 30.09.08) noch nicht abgeschlossen.

Im Vergleich zu den oben dargestellten Technologie-Netzwerken nimmt die IVAM eine Sonderrolle ein. Sie hat sich von einem zunächst regionalen bzw. NRW-Netzwerk (1993 gegründet) zu einem bundesweiten und inzwischen internationalen Fachverband für Mikrotechnik weiter entwickelt, in dem inzwischen auch Nanotechnologie-Unternehmen vertreten sind, allerdings erst in einer kleinen Anzahl. Dies ist ein Erfolgsbeispiel dafür, wie in einem neuen Technologiefeld, dessen Branchenzuordnung nur schwer möglich ist, zunächst durch Selbstorganisation in überschaubarem (regionalen) Rahmen sich Interessenvertretungs- und Selbstmarketingstrukturen herausbilden können.

Der Stand der nanowissenschaftlichen Grundlagenforschung in Deutschland wird von den Interviewpartnern auch im weltweiten Vergleich als gut bewertet. Das Verhältnis von Aufwendungen und Resultaten wird sogar als ausgesprochen effizient angesehen. Auch die Nano-Forschung in NRW wird als gut positioniert im Vergleich mit vor allem Universitäten und Instituten in Süddeutschland bewertet. Die Interviewpartner sind sich einig darin, dass das Marketing der NRW-Forschung verbessert werden könnte und müsste.

Nanowissenschaften machen die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen NaturwissenschaftlerInnen, insbesondere aus Physik und Chemie, und Ingenieurwissenschaftler-Innen erforderlich, in bestimmten Themenbereichen auch darüber hinaus mit der medizinischen Forschung bzw. den Life Sciences. Von allen Interviewpartnern wurde bestätigt, dass diese

[8] Die Projektförderung durch das Land ist beendet.

Zusammenarbeit von den beteiligten Forscher/innen als schwierig und langwierig wahrgenommen wird.

Von der Praxisseite aus wird die Kooperation mit der universitären Forschung als eine Kooperation zwischen zwei verschiedenen Welten wahrgenommen. Die universitäre Forschung müsse sich an Exzellenzkriterien orientieren und befasse sich von daher mit Fragestellungen, die in 5 bis 10 Jahren für wirtschaftliche Unternehmenskonzepte interessant werden könnten.

Um aus der universitären Spitzenforschung wirtschaftliche Konzepte in längerer Frist generieren zu können, sei es notwendig, den Prozess der Entwicklung von wirtschaftlich tragfähigen Konzepten, für die in der Regel verschiedene technologische Bausteine und damit möglicherweise auch Kooperationspartner gebraucht würden, mit Geduld und Ausdauer zu moderieren. Insbesondere das Up-scalen nanotechnologischer Innovationen von Labormaßstab zu potenziellen Produkten stellt eine wesentliche Hürde dar.

Sowohl von Seiten der befragten universitären Forscher als auch der wirtschaftsorientierten Clustermanager wird ein Hauptproblem darin gesehen, dass von der Politik und der Öffentlichkeit zu schnell wirtschaftlich zählbare Erfolge von technologischer Spitzenforschung erwartet würden. Von nanowissenschaftlicher Grundlagenforschung könne realistischerweise erst in 10-15 Jahren mit wirtschaftlich interessanten Resultaten bzw. Produkten gerechnet werden.

Die Befragten haben darauf verwiesen, dass für die Transformation der Forschungserkenntnisse in marktfähige Anwendungen eine problemadäquate Förderstrategie fehle, so dass viele gute Ansätze, aufgrund fehlender Anschlussförderung oder unpassender Förderbedingungen wieder verloren gingen. Die Förderstrategien auf Landes-, Bundes- und EU-Ebene werden sowohl von den Forscher/innen als auch von den wirtschaftsnahen Netzwerkmanagern kritisch gesehen. Die Zielsetzung, sowohl Spitzenforschung als auch die Umsetzung in Anwendungsprodukte unter besonderer Berücksichtigung von mittelständischen Unternehmen gleichzeitig mit demselben Förderinstrumentarium (nur anteilige Förderung der (Grundlagen-)Forschung, Kofinanzierung durch industrielle Partner, keine oder zu geringe Förderung von Aufgaben der Cluster- bzw. Netzwerkorganisation) erreichen zu wollen, wird anscheinend weder den Anforderungen der (Grundlagen-)Forschung noch den Innovationsbedingungen in mittelständischen Unternehmen gerecht. Des Weiteren wird die Nachhaltigkeit der Förderpolitik als großes Problem angesehen, da – gemessen an den zu lösenden Grundlagenfragen und Up-Skaling-Problemen in der Nanotechnologie – die Förderpolitik auf allen Politikebenen (Ausnahme: DFG-Förderung mit Sonderforschungsbereichen und Schwer-

punktprogrammen) vielfach zu kurzfristig und zu sehr auf Einzelprojekte ausgerichtet angelegt sei.

Im Grundsatz wird von den Interviewpartnern auch eine stärkere Koordination der nanotechnologischen Forschung in NRW befürwortet. Dabei wird empfohlen mit Bezug auf die bereits erfolgten Cluster- und Netzwerkbildungen mit entsprechenden Anreizen die Selbstorganisation der Akteure „vor Ort“ zu fördern. Eine stärkere Koordination auf der Landesebene scheint erforderlich zu sein, um insbesondere auch die Zusammenarbeit zwischen der nanowissenschaftlichen Forschung und technologischen Anwendern zu intensivieren.

Die befragten Forschungscluster umfassen 10 bis über 20 Forschungsgruppen, die regionalen Netzwerke haben 40-50 Mitglieder. Die befragten Cluster- und Netzwerkmanager halten ein hauptamtliches Clustermanagement für erforderlich, wie es bei den institutionalisierten Forschungsclustern zumeist auch der Fall ist. Allerdings wird auf die sehr knappen Ressourcen verwiesen.

Die Ressourcen für das Netzwerkmanagement der regionalen Technologie-Netzwerke sind vergleichsweise begrenzt und werden zum überwiegenden Teil über Drittmittelprojekte eingeworben. Nur ein kleiner Teil der Ressourcen kann durch Mitgliedsbeiträge aufgebracht werden. Von mehreren Interviewpartnern wurde beklagt, dass sich die Förderbedingungen für die Netzwerkarbeit in den letzten Jahren zunehmend verschlechtert hätten. Insbesondere wurde kritisch bewertet, dass in der Förderstrategie des Landes seit 2005 die Arbeit der regionalen Netzwerke nicht mehr gefördert werde. Durch Wettbewerbsverfahren würden einerseits durchaus wirksam die Aktivitäten regionaler Akteure bzw. Netzwerke in Gang gesetzt, andererseits stelle das damit verbundene Scheiternsrisiko und generell die „Konjunktur“ von Förderprogrammen die Nachhaltigkeit der Netzwerkarbeit immer wieder infrage.

Gründungszentren für neu gegründete Unternehmen im Bereich Nanotechnologie und Mikrostrukturtechnik sind zum Teil das CeNTech in Münster und zur Gänze die MSTfactory in Dortmund. Sie bieten Nano-Unternehmen die entsprechenden Infrastrukturen und Serviceleistungen sowie die Einbindung in relevante Netzwerke.

Hinsichtlich der Existenzgründungen wurde von den Befragten berichtet, dass sich die Qualität der Gründungsideen verbessert habe. Gründer kommen überwiegend aus der (Nano-)Technologie und haben von daher mit den üblicherweise betriebswirtschaftlichen Kenntnisdefiziten Probleme. Generell schwierig sei für die Gründer im Nanotechnologiebereich, den notwendigen Perspektivwechsel zu vollziehen und aus einer technischen Idee eine wirtschaftlich tragfähige Geschäftsidee zu machen.

Die Interviews, sowohl mit den Unternehmen, als auch mit Vertretern der sog. FuE-Infrastruktur, haben deutlich gemacht, dass die Förderprogramme KMU-freundlicher ausgestaltet werden sollten, sodass diese Angebote von den Unternehmen genutzt werden (können). So wurde in den Interviews auf KMU-freundliche Förderbedingungen verwiesen, wie sie bspw. im Rahmen des PRO INNO-Förderprogramms des Bundeswirtschaftsministeriums zur Generierung von innovativen Anwendungsprodukten realisiert worden seien.

Wenn KMU seitens der Landespolitik stärker in die Technologieförderungen einbezogen werden sollen, so die Aussage von Interviewpartnern, benötigen das Zustandekommen und die Koordination von Verbundprojekte eine Verbundkoordination (einen „Kümmerer"), dessen Arbeit ebenfalls gefördert werden muss. Entsprechende Funktionen müssen auch in den Nanotechnologienetzwerken gefördert werden.

Die Interviewpartner haben vielfach auf entsprechende Aktivitäten in den südlichen Bundesländern, insbesondere Bayern, aber auch dem Europäischen Ausland verwiesen. Unter anderem wird dort die Technologieberatung von den Ländern grundfinanziert.

IX. SWOT Analyse für Nanotechnologien in NRW

Der zusammenfassende Überblick über die Stärken/Schwächen/Chancen/Herausforderungen bzgl. der Nanotechnologien erfolgt in der folgenden Tabelle 3**.**

Tabelle 3: Zusammenfassende SWOT Analyse zur Nanotechnologie in NRW

A. Stärken	**C. Chancen**
Starke Hochschulforschung	Marktpotenziale durch Anwendungsvielfalt
Interdisziplinäre Vernetzung der Nanowissenschaften/Nanotechnologien	Marktpotenziale durch positive (Neben-) Effekte für Umwelt- und Ressourcenschutz
Regionale Bündelung und Vernetzung mit Nanotech-Schwerpunktsetzungen	Hohes Nachfragepotenzial in NRW
Neue Formen der Gemeinschaftsforschung von Hochschulen und Unternehmen	Kompetenzzuwachs der NRW Akteure
Nanotechnologie-spezifische Gründungsförderung	Großunternehmen kooperieren verstärkt mit NRW Universitäten
Bedarfsorientierte Modelle für den Wissenstransfer Wissenschaft-Wirtschaft	Einbeziehen der größeren Unternehmen des innovativen Mittelstandes in Kooperation Wissenschaft-Wirtschaft
Relativ konsistente Innovationsstrategie mit landespolitischen Akzentsetzungen in der Beschleunigung des Technologietransfers von der Forschung in die Wirtschaft	Wettbewerbsvorteile durch Lead Markets/ First-Mover Aktivitäten
Schwerpunktsetzung auf Technologiefelder, die mit übergeordneten FuE-Programmen konform geht	Umweltwirtschaft in NRW kann durch den Einsatz von Nanotechnologien gestärkt werden
Landesförderwettbewerb MikroNano+Werkstoffe.NRW 2008	
Nanotechnologie-spezifische technische Ausstattung	
Gute und dynamische industrielle Basis	
Affinität der Nanotechnologien zu der industriellen Basis (Nanotechnologien mit deutlichen Umweltentlastungspotenzialen)	
Umwelttechnologien (Wasser) stark vertreten, Perspektivische nanotechnologische Weiterentwicklungen	
B. Schwächen	**C. Herausforderungen**
Wahrnehmung der nanotechnologischen Kompetenz des Landes begrenzt	Schnellere Umsetzung von Forschungsergebnissen in wirtschaftliche

Unterdurchschnittliche Akquisition von Fördermitteln des Bundes	Erhöhung der Akzeptanz durch Wissensverbreiterung und Risikokommuni-
Unterdurchschnittliche Patentanmeldungen	Bessere Nachwuchsgewinnung und -ausbildung
Vergleichsweise geringes Forschungspersonal	Stabilisierung und Ausbau der Netzwerkförderung
Unterdurchschnittliche Anzahl von Unternehmensgründungen	Intensivierung der FuE Kooperationen
Umsetzungsprobleme von Forschungsaktivitäten in wirtschaftliche Anwendungen und für umweltrelevante	Stärkere Einbindung der in NRW ansässigen Großunternehmen
Zeitweilige Probleme bei der tung der Förderpolitik auf Landesebene (operative Umsetzung)	Verstärkte Unterstützung der KMU bei der Produktentwicklung
Kommunikationsdefizite in Bezug auf Risiken sowie der Potenziale für den Umwelt- und Ressourcenschutz	Förderung von Start-ups
Umwelttechnologieförderung nur begrenzt vorhanden (vorrangig Diffusion)	Strategiebildung unter Umweltakteuren
Begrenzte Vernetzungsaktivitäten im Feld Nanotechnologien / Umwelt	Fokussierung auf Potenziale in NRW (Materialien/Oberflächen, Katalyse)
Informationsdefizite bei den Umwelttechnikunternehmen	Integration der unterschiedlichen zeitlichen Perspektiven der Nanotechnologieentwicklung in
Grundlagenorientierte Nanoforschung mit einem geringen direkten Fokus auf Umwelttechnologien	Kommunikation zu Nano-Umwelt-FuE und Bedarf auf Landesebene
Keine Koordination an der Schnittstelle Nanotechnologien/ Umweltechnik/ Umweltwirtschaft	

(Quelle: eigene Zusammenstellung)

X. Handlungsempfehlungen

Vorbemerkung zur Förderung der Nanotechnologien: Nanotechnologie als Querschnittstechnologie (enabling technology)

Nanotechnologien stellen "enabling technologies" dar. Dies bedeutet, dass Nanotechnologien in den unterschiedlichsten wissenschaftlichen Bereichen und auch in den unterschiedlichsten Anwendungsbereichen relevant sind. Sowohl zwischen den einzelnen wissenschaftlichen Bereichen als auch zwischen den einzelnen Anwendungsbereichen bestehen nur begrenzte Verbindungen. Die Förderung von Nanotechnologien allgemein ist somit weder auf der Ebene der Wissenschaft noch auf der Ebene der Unternehmen sinnhaft. Im Bereich der Forschung werden unterschiedlichste Ansätze verfolgt (von der Nanochemie bis zur Nano- IT), die außer der Befassung mit der Nanodimension nur wenig Gemeinsamkeiten haben.

Dementsprechend haben sich mehr oder weniger alle Bereiche von IT, Optik, Chemie etc. auf Nanotechnologie orientiert, um die neuen Möglichkeiten in ihren Bereichen auszuloten.

Damit ist nicht generell Nano der Ansatzpunkt für Förderstrategien, sondern die jeweiligen Fachgebiete in denen Nano nunmehr eine Rolle spielt bzw. spielen werden.

Netzwerk- und Clusterförderung

Die Vernetzung der Nanotechnologie- und Umweltwirtschaftsakteure sollte verstärkt betrieben werden. Dabei sollte „bottom-up" Ansätze verfolgt werden. Zentral ist es dabei, dass die Interessen der Akteure einbezogen werden.

Maßnahmen: Netwerk- bzw. Clustermanagement

Organisatorisch: Ausschreibung von entsprechenden Wettbewerben von Cluster- bzw. Netzwerkinitiativen

Zeitliche Orientierung: mittel- bis langfristige Ausrichtung
Ziele:

- Vernetzung von interessierten Unternehmen
- Verstärkung der Kooperation zwischen Forschung und Unternehmen
- Unterstützung bei der Fördermittelakquisition
- Identifizierung von nanorelevanten Lösungsansätzen (u.a. durch Workshops)
- Integration der Nanotechnologien in bestehende Netzwerke

Branchenansatz

Unternehmen haben in der Regel einen branchen- bzw. marktorientierten Ansatz. Die Ansprache von Unternehmen bzgl. der potenziellen Vorteile der Nanotechnologien wird über diesen Ansatz am ehesten möglich, zugleich können bestehende Verbindungen bzw. Netzwerke genutzt werden (bspw. Automobilzulieferer, Lackhersteller etc.).

Maßnahmen: In bestehende Netzwerke die Potenziale der Nanotechnologien einbringen (u.a. Workshops)

Zeitliche Orientierung: kurzfristig

Ziele:

- Aufzeigen der Potenziale der Nanotechnologien für die entsprechenden Branchen
- Aufzeigen von technischen Problemen in den einzelnen Bereichen zu denen Nanotechnologien Lösungsbeiträge leisten können
- Förderung der Interaktion nanotechnologischen Forschung und unternehmerischen Bedürfnisse
- Ggf. Verstetigung und Intensivierung der Interaktionen

Technologieorientierter Ansatz

Im Rahmen der Studie konnten Bereiche identifiziert werden, in denen Nanotechnologien bereits in der Anwendung sind bzw. nahe der Anwendung sind. Dies wurde im Rahmen der Vertiefungsfälle herausgearbeitet.

Maßnahmen: Förderung der entsprechenden Technologielinien

Zeitliche Orientierung: kurz- bis mittelfristig

Ziele:

- Maßnahmen der zur Unterstützung der anwendungsorientierten Nanotechnologieentwicklung
- Vertiefte Analyse der Technologieentwicklung und der potenzielle Beitrag der Nanotechnologien (bspw. Brennstoffzelle, Membrantechnologien –Wasser-)

Umweltmarkt und Nanotechnologien

Die Unternehmen des Umweltmarktes sind gegenwärtig wenig mit Nanotechnologien befasst. Es besteht die Erwartung, dass Nanotechnologien mittelfristig einen Einfluss auf die jeweiligen Geschäftsfelder haben werden.

Maßnahmen: Dialogorientierte Verfahren, die die Potenziale der Nanotechnologien in den jeweiligen Geschäftsfeldern aufzeigen, sowie die Bedarfe der Unternehmen

Zeitliche Orientierung: kurz- bis mittelfristig

Ziele:

- Identifizierung der konkreten potenziellen Beiträge der Nanotechnologien in den jeweiligen Sektoren
- Aufzeigen der forschungsseitigen Potenziale und der Möglichkeiten der Anwendungsorientierung
- Identifizierung der konkreter Kooperationen zwischen FuE Einrichtungen und den Unternehmen

Kommunikation

Kommunikation der NRW-Stärken

Die *Nanotechnologie-Kompetenzen* in NRW werden nicht hinreichend kommuniziert.

Maßnahmen: Verstärkung der Kommunikation der Nanotechnologiekompetenzen des Landes durch Bündelung der Kommunikation durch eine Plattform zu den Nanotechnologien

Zeitliche Orientierung: kurzfristig

Ziel: die nanotechnologischen Kompetenzen des Landes nach außen und nach innen zu kommunizieren

Risikokommunikation

Die potenziellen Risiken bzw. die Wahrnehmung der potenziellen Risiken der Nanotechnologie müssen kommuniziert werden, nicht zuletzt auf Grund der Einschätzung der Unternehmen, dass von dem öffentlichen Diskurs entscheidende Einflüsse auf die Entwicklung der Nanotechnologien ausgehen können.

Maßnahmen: Durchführung von öffentlichen Diskursen zu den Chancen/Risiken der Nanotechnologien (insbes. bezogen auf Konsumgüter) (Abgleich mit den bereits laufenden Ansätzen auf Bundesebene)

Zeitliche Orientierung: kurzfristig

Ziel: durch die Einbeziehung der interessierten Öffentlichkeit, die Einstellungen zu den Nanotechnologien zu erfassen

Risikoforschung

Es existiert noch eine Reihe von offenen Fragen bzgl. der potenziell negativen Effekte der Nanotechnologien.

Maßnahmen: Förderung der Risikoforschung bzgl. der Nanotechnologien (Abgleich mit bereits laufenden Forschungen)

Zeitliche Orientierung: kurz- und mittelfristig

Ziel: Absicherung der Entwicklung der Nanotechnologien und Identifizierung von Entwicklungsrichtungen der Nanotechnologien.

Förderung

Forschung und Entwicklung

Die FuE Einrichtungen sehen Probleme der Förderung der FuE der Nanotechnologien.

Maßnahmen: Überprüfung der Förderprogramme im Hinblick auf potenzielle Defizite bzgl. der Forschung (Universitäten und Forschungseinrichtungen)

Maßnahmen: detaillierte Analyse der hemmenden Faktoren der Förderung

Zeitliche Orientierung: kurzfristig

Ziel: Beseitigung bzw. Minderung der Hemmnisse der forschungsorientierten Förderung

Unternehmen

Förderbedingungen werden von Unternehmen z.T. als hinderlich angesehen

Maßnahmen: konkrete Überprüfung der hemmenden Faktoren

Zeitliche Orientierung: kurzfristig

Ziel: Analyse der konkreten hemmenden Faktoren und Überprüfung, inwieweit Anpassungen möglich sind

1 Einleitung

Die Nanotechnologie – korrekterweise sollte man besser von Nanotechnologien[9] sprechen – wird vielfach als Basisinnovation bzw. Schlüsseltechnologie bezeichnet, d. h., es wird erwartet, dass von ihr zahlreiche innovative Entwicklungen in den verschiedensten technologischen Bereichen und in den verschiedensten gesellschaftlichen Anwendungsfeldern und ökonomischen Branchen ausgehen werden.[10] Der Technologie wird das Potenzial zu weit reichenden Veränderungen zugeschrieben, die letztlich fast alle gesellschaftlichen Bereiche erfassen können. Bei derartig weit reichenden Veränderungen sind ohne Zweifel auch starke Rückwirkungen auf die Gesellschaft und die Umwelt zu erwarten. Dabei dürften nicht nur die gewünschten und beabsichtigten Effekte auftreten, also Innovationen zur Verbesserung von Produkten, Prozessen und Materialien, Wirtschaftswachstum, qualifizierte Arbeitsplätze, Umweltentlastung und weitere Schritte in Richtung auf ein nachhaltigeres Wirtschaften, sondern auch unerwartete und unerwünschte Neben- und Folgewirkungen.

Mit Blick auf die Zeiträume, in denen sich das Potenzial der Nanotechnologien voraussichtlich entfalten wird, wurden von M. C. Roco (2002, S. 5)[11] folgende Fristen bzw. Generationen für industrielle Prototypen und deren Vermarktung formuliert:

- *Vergangenheit und Gegenwart:* „zufällige" Nutzung von Nanotechnologie. Bspw. „carbon black" wird seit Jahrhunderten eingesetzt, speziellere isolierte Anwendungen (Katalysatoren, Komposite etc.) seit Anfang der 90er Jahre.
- *Erste Generation:* Passive Nanostrukturen (ca. 2001). Anwendungsbereiche: insbesondere bei „coatings", Nanopartikeln, „bulk materials" (nanostrukturierte Metalle, Polymere und Keramiken).
- *Zweite Generation:* Aktive Nanostrukturen (ca. 2005). Anwendungsbereiche: insbesondere bei Transistoren, Verstärkern, adaptiven Strukturen etc.
- *Dritte Generation:* 3D-Nanosysteme (ca. 2010) mit heterogenen Nanokomponenten und unterschiedlichen „assembling"-Techniken.

[9] Gegenwärtig gibt es noch keine einheitlich verwendete Definition von Nanotechnologie. Im Rahmen des vorliegenden Projekts findet grundsätzlich die vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) verwendete Definition Anwendung: „Nanotechnologie beschreibt die Untersuchung, Anwendung und Herstellung von Strukturen, molekularen Materialien und Systemen mit einer Dimension oder Fertigungstoleranz typischerweise unterhalb von 100 Nanometern. Allein aus der Nanoskaligkeit der Systemkomponenten resultieren dabei neue Funktionalitäten und Eigenschaften zur Verbesserung bestehender oder Entwicklung neuer Produkte und Anwendungsoptionen." (BMBF 2006)

[10] Eine umfassende und detaillierte Übersicht zum aktuellen Stand der Nanotechnologie in Forschung und Entwicklung sowie zu den Anwendungsperspektiven findet sich in Bhushan (2006).

[11] Anstelle von Roco (2002) hätten auch andere Autoren und Studien benannt werden können, die jeweils andere Zeitskalen zur Grundlage nehmen. Es ist für die Zwecke hier allerdings nicht entscheidend, da es vorrangig darum geht, die Zeit- und Entwicklungsdynamiken in den Blick zu nehmen.

- *Vierte Generation:* molekulare Nanosysteme (ca. 2020) mit heterogenen Molekülen, basierend auf biomimetischen Verfahren und neuem Design.

Die in Klammern angegebenen Zeitpunkte sind mittlerweile fünf Jahre zurückliegende Schätzungen, und ein Blick auf die aktuelle Lage lässt deutlich werden, dass sie tendenziell zu optimistisch waren. Gegenwärtig dürften wir uns gerade im Übergang von der zweiten zur dritten Generation befinden, da die Anwendung passiver Nanostrukturen/-partikel sowohl in der Forschung und Entwicklung als auch in den (verhältnismäßig wenigen) auf dem Markt befindlichen Produkten und Verfahren deutlich dominieren und sich aktive Nanostrukturen oder gar Nanodevices weitestgehend noch im Stadium der Grundlagenforschung befinden. Dennoch deutet alles daraufhin, dass sich die zukünftige Entwicklung der Nanotechnologie und deren Anwendungen – mit entsprechenden Zeithorizonten – in die von Roco (und anderen) skizzierte Richtung bewegen werden.

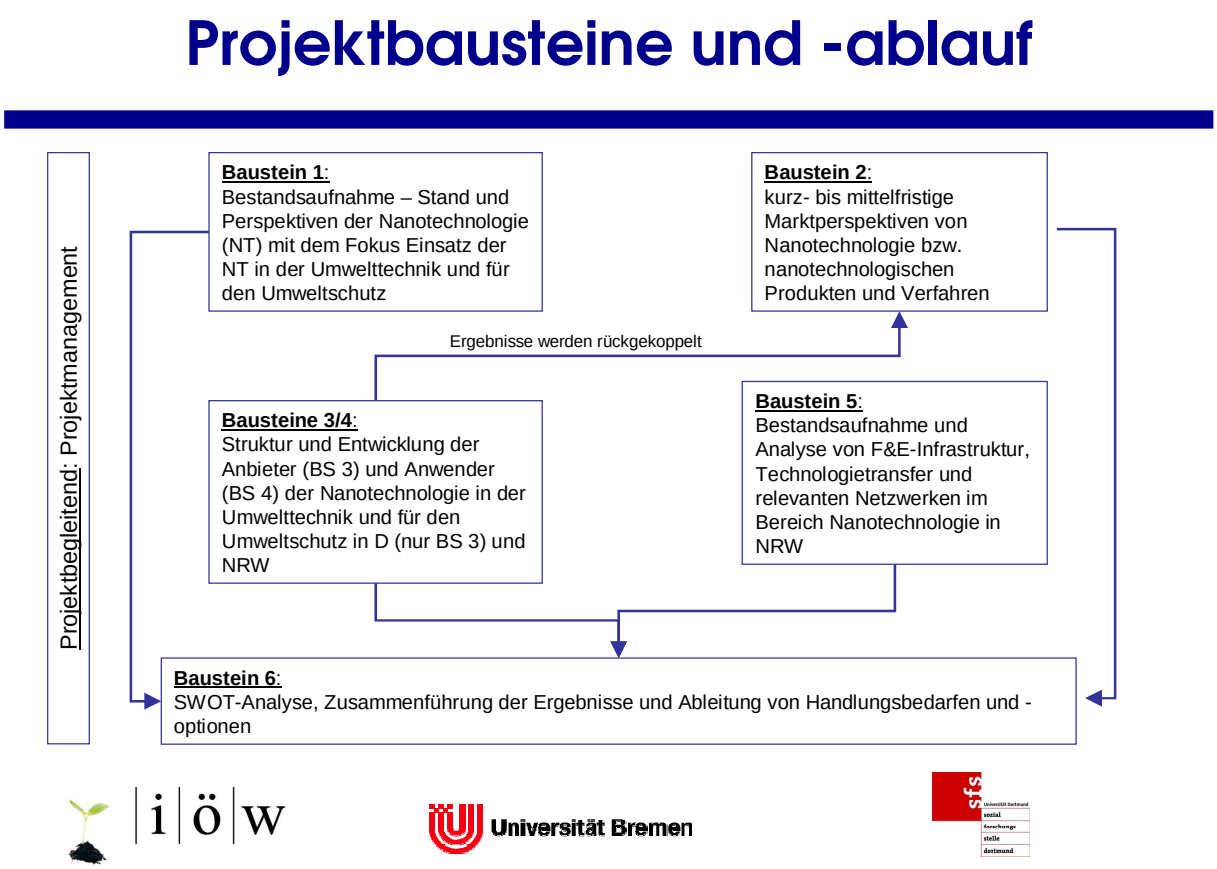
2 Ziele und Vorgehen der Studie

Nanotechnologien wird das Potenzial zugeschrieben, zum einen neue wettbewerbsfähige Verfahren und Produkte zu generieren und zum anderen einen wesentlichen Beitrag zur Umweltentlastung zu leisten. Das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz hat daher das IÖW in Kooperation mit der Universität Bremen und der Universität Dortmund mit der Studie „Chancen der Nanotechnologie für den Umweltschutz und in der Umwelttechnik und Marktpotenziale für NRW“ beauftragt.

Die Ziele der Studie bestanden dabei insbesondere in der Aufbereitung des Sachstandes, der Entwicklung von Handlungsorientierungen zur Nutzung und Verbreitung der Potenziale der Nanotechnologie für die Umwelt und die Umwelttechnik sowie in der Beschaffung und Aufbereitung von Informationen für die relevanten Akteure bezüglich möglicher Ansatzpunkte für fördernde Aktivitäten.

Die Projektnehmer haben sich dem Thema in sechs Analyseschritten bzw. Projektbausteinen genähert (vgl. Abbildung 22).

Abbildung 22: Projektablauf



(Quelle: eigene Darstellung)

Das Ziel des ersten Analyseschritts (Baustein1) war es, einen systematischen Überblick über nanotechnologische Produkte und Verfahren insb. in der Umwelttechnik und für den Umwelt- und Ressourcenschutz zu erhalten. Dazu wurden die bereits auf dem Markt sowie die in Forschung und Entwicklung befindlichen nanotechnologischen Produkte und Verfahren erfasst und analysiert. Nicht einbezogen wurden Produkte/Verfahren, die sich noch im Stadium der Grundlagenforschung befinden und bei denen gegenwärtig noch nicht absehbar ist, in welchen Bereichen sie ggf. zum Einsatz kommen werden.

In der Folge wurde eine Matrix (vgl. Abbildung 23 auf Seite 109) zur Strukturierung und Systematisierung der NT-Produkte/Verfahren nach Umwelttechnik-/ Umweltschutzbereichen nach Marktreife und Innovationshöhe erstellt. Die Informationen zu den Produkten und Verfahren wurden durch die Auswertung der relevanten Literatur, Tagungen, Messen und Konferenzen gewonnen. Des Weiteren wurden die relevanten Anbieter- und Produktverzeichnisse ausgewertet und Interviews mit Experten, Unternehmen und FuE-Einrichtungen (in NRW) durchgeführt.

Das Ziel des zweiten Analyseschrittes (Baustein 2) war es, eine Abschätzung der kurz- bis mittelfristigen Marktpotenziale des Einsatzes der Nanotechnologie und der nanorelevanten Umweltmärkte vorzunehmen. Dabei wurden die relevanten Studien zu den Perspektiven der Nanotechnologie- und Umweltmärkte ausgewertet und erste Hinweise dahingehend identifiziert, in welchen Bereichen eine besondere (Markt-) Dynamik festzustellen ist und welche nanotechnologischen Entwicklungen eine besondere Rolle spielen. Methodisch wurde die relevante Literatur ausgewertet sowie die Beiträge zu Tagungen und Messen gesichtet.

Auf der Basis dieser grundlegenden Analyseschritte (Bausteine 1 und 2) wurden in der Folge zwei schriftliche Unternehmensbefragungen (Bausteine 3 und 4) durchgeführt. Auf diese Weise sollten die (potenziellen) Anbieter und Anwender von Nanotechnologie (für die Umwelttechnik und den Umweltschutz) identifiziert und analysiert werden. Die erste Befragung erfolgte deutschlandweit unter Nanotechnologie-Unternehmen mit dem Ziel der Identifizierung wesentlicher Anwendungsfelder der Nanotechnologien, den hemmenden und fördernden Faktoren des Einsatzes von Nanotechnologien und der Erwartungen der Unternehmen bzgl. der Entwicklung der Nanotechnologien. Eine zweite schriftliche Befragung wurde unter Unternehmen des Umweltmarktes in Nordrhein-Westfalen durchgeführt, welche Auskunft geben sollte über den Stand der Anwendungen von Nanotechnologien auf dem Umweltmarkt, welche hemmenden und fördernden Faktoren existieren und welche Erwartungen die Unternehmen des Umweltmarktes bzgl. der Bedeutung der Nanotechnologien haben.

In einem fünften Arbeitsschritt (Baustein 5) wurde die nanotechnologierelevante FuE-Infrastruktur in NRW analysiert (Wissenschaftseinrichtungen, anwendungsorientierte Forschung und Netzwerke mit dem Ziel der Förderung der Nanotechnologien). Ziel war es, die Stärken und Schwächen der wissenschaftlichen Infrastruktur, der Landesförderung und des Wissenstransfers in NRW zu erfassen. Methodisch wurden im Wesentlichen Interviews mit Wissenschaftseinrichtungen, Netzwerken etc. durchgeführt.

In der Zusammenführung der Ergebnisse der Bausteine 1-5 wurden im Baustein 6 eine Analyse der Stärken, Schwächen, Chancen und Herausforderungen (SWOT, für Englisch: „strengths, weaknesses, opportunities, threats“) durchgeführt und Handlungsorientierungen entwickelt. Die daraus abgeleiteten Handlungsempfehlungen richten sich an die relevanten Akteure, insbesondere die Landesregierung Nordrhein-Westfalens, und zeigen Wege auf, die Nanotechnologien für die Umwelttechnik im Besonderen und den Umweltschutz im Allgemeinen für NRW nutzbar zu machen.

3 Nanotechnologische Verfahren und Produkte

3.1 Ziele, Vorgehen und Methoden

3.1.1 Identifikation von nanotechnologischen Produkten und Verfahren

Ein wesentliches Ziel der vorliegenden Studie bildet die Identifikation und Darstellung nanotechnologischer Produkte und Verfahren der Umwelttechnik sowie für den Umweltschutz. Dabei stehen sowohl bereits am Markt angebotene als auch sich noch in der Forschung und Entwicklung befindliche Produkte und Verfahren im Fokus der Untersuchungen.

Zur Identifikation der nanotechnologischen Produkte und Verfahren sind verschiedene Zugänge gewählt worden. Zunächst einmal wurden bereits vorhandene Veröffentlichungen, die nanotechnologische Produkte und Verfahren mit Bezug zur Umwelttechnik bzw. zum Umweltschutz nennen und beschreiben, ausgewertet. Eine Liste der ausgewerteten Veröffentlichungen findet sich in Anhang I (S. 473). In der Mehrzahl dieser Publikationen zu nanotechnologischen Produkten und Verfahren im Allgemeinen sowie zu nanotechnologischen Produkten und Verfahren für den Umweltschutz im Besonderen werden jedoch überwiegend nur Produkte und Verfahren beschrieben, die nach heutigem Kenntnisstand *denkbar* wären bzw. sich derzeit *in der Entwicklung* befinden (bspw.: HA 2005a, MUV BaWü 2004, ZTC VDI TZ 2007); Angaben zu *konkreten*, bereits *auf dem Markt* befindlichen Produkten und Verfahren sowie vor allem auch zu deren Herstellern, Anbietern oder Anwendern finden sich hingegen seltener (bspw.: TAB 2004, für Hessen: HA 2005b).

Daher wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit in einem weiteren Schritt versucht, nanotechnologische Produkte und Verfahren über Unternehmen zu identifizieren. Dazu sind zunächst Unternehmen in Deutschland recherchiert worden, welche sich selbst als Nanotechnologie-Unternehmen ausgeben oder in entsprechenden Datenbanken gelistet sind bzw. auf Nanotechnologie-Messen und sonstigen Nanotechnologie-Veranstaltungen präsent sind. Insgesamt konnten auf diese Weise 866 (potenzielle) Nanotechnologie-Unternehmen recherchiert werden. Die Quellen, über welche diese Firmen ausfindig gemacht worden sind, und welche Anzahl jeweils darüber identifiziert werden konnte, sind im Folgenden dargestellt (ohne Doppelnennungen von Firmen, die in mehreren der Datenbanken zu finden waren).

- „Nano-Map“ ist eine vom VDI Technologiezentrum auf Initiative und durch Förderung vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geschaffene Datenbank, in der deutschlandweit Unternehmen, Universitäten, außeruniversitäre For-

schungseinrichtungen, Netzwerke, Behörden und andere Institutionen gelistet sind, die sich mit Nanotechnologie befassen. 686 Firmen konnten über diese Datenbank (Stand: 2007) identifiziert werden, womit diese Datenbank für die vorliegende Studie die Hauptquelle nanotechnologischer Unternehmen darstellt. Die Adresse der Datenbank lautet: www.nano-map.de.

- „Nano-Atlas NRW“ von IVAM Research, dem Marktforschungsbereich des internationalen Fachverbandes für Mikrotechnik, Nanotechnologie und Neue Materialien (IVAM), listet Unternehmen der Mikro- und Nanotechnologie in Nordrhein-Westfalen und wurde aufgrund der Fokussierung der Studie auf NRW in die Recherchen einbezogen. 84 Firmen konnten so zusätzlich zu den bereits über „Nano-Map“ identifizierten recherchiert werden. Weitere Informationen zum „Nano-Atlas NRW“ finden sich unter:
  http://www.ivam-research.de/de/index.php?content=studien_details&id=10.
- „www.nanoproducts.de“ und „www.nanofirmen-datenbank.de“ sind zwei kostenlose und öffentlich zugängliche Internetdatenbanken ein und desselben privatwirtschaftlichen Anbieters (Sitz: Heppenheim, Geschäftsführer: Sören Bergmann). Erstere listet und beschreibt kommerzielle und nicht kommerzielle Produkte und Verfahren der Nanotechnologie, welche derzeit (am Markt) verfügbar sind (Stand: Mitte 2008). Letztere listet entsprechende Firmen, die im Bereich Nanotechnologie aktiv sind. 41 weitere Firmen konnten ausschließlich über diese Datenbanken identifiziert werden.
- „www.firmenwissen.de“ ist eine weitere Internetdatenbank. Sie wird vom Verband der Vereine Creditreform e. V. betrieben und beinhaltet einen Großteil der in Deutschland ansässigen und viele europäische Unternehmen. Ein Teil der Daten zu den einzelnen Firmen ist öffentlich und kostenlos zugänglich, wie bspw. Name und Sitz der Unternehmen. In der Annahme, dass Firmen, die „Nano-“ im Namen tragen, auch tatsächlich im Bereich Nanotechnologie aktiv sind, ist die Datenbank der Creditreform nach „Nano-“ durchsucht und die ausgegebene Treffermenge auf Nanotechnologie-Relevanz überprüft worden. Auf diese Weise konnten 21 weitere Firmen dem Bestand der über die vorgenannten Quellen identifizierten Nanotechnologie-Unternehmen hinzugefügt werden.
- 34 weitere Firmen sind schließlich über andere Quellen identifiziert worden. Hierzu zählen Messen und wissenschaftliche Tagungen, aber auch eigene Recherchen im Internet.

Über die in den Datenbanken und durch sonstige Quellen recherchierten Nanotechnologieunternehmen wurde dann versucht, die nanotechnologischen Produkte und Verfahren, welche von den jeweiligen Firmen angeboten oder angewendet werden, zu identifizieren. Dabei wurde zunächst fast ausschließlich auf die Internetpräsenzen der einzelnen Unternehmen zurückgegriffen. Interessanterweise gelang es so aber nur teilweise, ohne größere Probleme den nanotechnologischen Hintergrund der Firmen zu klären. In vielen Fällen war es hingegen schwer und in einigen Fällen gar nicht möglich zu eruieren, ob und welchen Bezug eine Firma zur Nanotechnologie überhaupt hat. Gründe für dieses Phänomen könnten die Aktualität der Nanotechnologie sowie die erwartete Innovationskraft der sich tlw. noch in der Forschung und Entwicklung befindlichen nanotechnologischen Produkte und Verfahren sein. Wie sich in den durchgeführten Interviews mit Unternehmensvertretern andeutete (vgl. Kapitel 5.2), möchten viele Unternehmen zwar gern mit der sehr positiv besetzten Nanotechnologie in Verbindung gebracht werden, scheuen aber aus Wettbewerbsgründen die Offenlegung von Informationen zu ihren konkreten nanotechnologischen Produkten und Verfahren. Dies hat sich auch im Ergebnis der schriftlichen Unternehmensumfrage (vgl. Kapitel 5.1) teilweise bestätigt. In den Fragebögen wurde vereinzelt eine Beschäftigung mit der Nanotechnologie angegeben, jedoch eine konkrete Nennung einzelner Produkte und deren Klassifizierung hinsichtlich ihres Entwicklungsstadiums vermieden oder nur durch eine neutrale Beschreibung wie bspw. „Bauteil XYZ“ auf vorhandene Nanoprodukte hingedeutet. Auf der anderen Seite ergab die Auswertung der Unternehmensbefragung aber auch, dass insbesondere die Datenbank „Nano-Map“ Firmen listet, die nach eigener Aussage (durch telefonische, postalische oder E-Mail-Rückmeldung) nichts mit Nanotechnologie zu tun haben. Weshalb diese Firmen dennoch bei „Nano-Map“ zu finden sind, ist den Autoren dieser Studie nicht bekannt, da keine öffentlich zugänglichen Informationen über die Methoden der Einrichtung und Pflege der Datenbank bekannt sind.

In der erwähnten Unternehmensbefragung, welche unter den recherchierten Nanotechnologieunternehmen im Rahmen der vorliegenden Studie durchgeführt worden ist, wurde auch nach den konkreten am Markt oder in der Forschung und Entwicklung befindlichen nanotechnologischen Produkten und Verfahren und deren Umweltbezug gefragt. Die Ergebnisse aus der Befragung hinsichtlich der Produkte und Verfahren sind ebenfalls in die Analyse der nanotechnologischen Produkte und Verfahren einbezogen worden.

Durch die oben beschriebene Herangehensweise konnten über 300 Nanotechnologie-Produkte und -verfahren (über 180 durch den Fragebogen und ca. 120 durch eigene Recherchen über die identifizierten Unternehmen) in ganz Deutschland gefunden werden. Aus all diesen

Firmen und Produkten wurde eine Prüfung auf Umweltbezüge durchgeführt, was die Gesamtzahl der Produkte und Verfahren auf etwa 200 reduzierte.

3.1.2 Kategorisierung und Bewertung der identifizierten nanotechnologischen Produkte und Verfahren

Um Aussagen zum Stand und zur Entwicklung sowie zur Bedeutung nanotechnologischer Produkte und Verfahren in der Umwelttechnik und für den Umweltschutz ableiten zu können, ist im Rahmen der vorliegenden Studie eine Matrix entwickelt worden, mithilfe derer sich die identifizierten Produkte und Verfahren kategorisieren und bewerten lassen. Wie in der Abbildung 23 zu sehen, weist die Matrix zunächst zwei Hauptdimensionen auf: in der einen sind Umwelttechnik- und -schutzbereiche, in der anderen Nanofunktionalitäten abgebildet. Darüber hinaus wurde noch eine Differenzierung dahingehend vorgenommen, ob die jeweiligen Produkte und Verfahren ausschließlich von Unternehmen aus NRW, sowohl von Unternehmen aus NRW als auch dem übrigen Bundesgebiet oder ausschließlich von nicht aus NRW stammenden Unternehmen hergestellt oder angeboten werden. Die Herleitung der einzelnen Kategorien, der genaue Aufbau sowie die Anwendung der Matrix werden im Folgenden näher erläutert.

Abbildung 23: Matrix nanotechnologischer Produkte und Verfahren in der Umwelttechnik und für den Umweltschutz

		Wasser/Abwasser		Abfall		Luft		Boden		Messen/Steuern/ Regeln	Material	Einsatz toxischer Substanzen		Energie				integrierter Umwelt-schutz		
		Vermeidung	Aufbereitung	Vermeidung	Aufbereitung	Reinhaltung	Reinigung	Verminderung/ Vermeidung von Stoffeinträgen	Altlastensanierung	Analyse/ Monitoring	Einsparung	Reduzierung	Vermeidung/ Substitution	Gewinnung	effiziente Nutzung	Speicherung	Einsparung	produktintegriert	prozessintegriert	Systeminnovationen
funktionalisierte Oberflächen	**easy-to-clean/ anti-haft**																			
	UV-Schutz																			
	nicht reflektierend																			
	nicht korrodierend																			
	Anti-mikrobiell																			
	kratzfest																			
	haftend																			
Werkstoffbeschaffenheitsänderungen/ neue Materialien	**bessere mechanische Beanspruch-barkeit**																			
	Gewichts-reduktion																			
	Volumen-reduktion																			
	bessere thermische Eigenschaften																			
	bessere elektrische Eigenschaften																			
	bessere optische Eigenschaften																			
	nanoporöse Materialien																			
	sonstiges																			
Katalytische Prozesse	**durch Additive**																			
	durch nanoporöse Materialien																			
Filtrations-prozesse	**Membranen**																			
	nanoporöse Materialien																			
Sonstiges																				

(Quelle: eigene Darstellung)

3.1.2.1 Bewertung der identifizierten nanotechnologischen Produkte und Verfahren hinsichtlich ihrer Relevanz für Umwelttechnik und Umweltschutz

Die identifizierten nanotechnologischen Produkte und Verfahren wurden zum einen im Hinblick auf ihre Bedeutung in der und für die Umwelttechnik sowie für den Umwelt- und Ressourcenschutz bewertet. Das zugrunde gelegte Verständnis von Umwelttechnik bzw. integriertem Umweltschutz stellt sich dabei folgendermaßen dar.

Technische Maßnahmen zum Umweltschutz und zur Ressourcenschonung sind äußerst vielfältiger Natur.[12] Es bieten sich verschiedene Systematisierungen an, um die Gesamtheit dieser technischen Schutzmaßnahmen zu strukturieren. Zunächst einmal können (technische) Umweltschutzmaßnahmen in die zwei Teilbereiche vorsorgender oder auch integrierter Umweltschutz sowie nachsorgender oder auch „End-of-pipe"-Umweltschutz eingeteilt werden. Der vorsorgende Umweltschutz lässt sich wiederum in produkt- und produktionsintegrierten Umweltschutz einteilen. Beim integrierten (vorsorgenden) Umweltschutz geht es prinzipiell darum, (technische) Produkte und Verfahren, die primär einem anderen Zweck als dem Umweltschutz dienen, so zu gestalten, dass negative Auswirkungen auf die Umwelt auf ein Mindestmaß reduziert oder gar komplett vermieden werden. Als negative Auswirkungen auf die Umwelt gelten grundsätzlich der Verbrauch von natürlichen Ressourcen (inkl. von Rohstoffen zur Energiegewinnung sowie nicht unmittelbar materielle Verbräuche wie Flächen- und Landschaftsverbrauch) sowie der Eintrag von Ökosystem schädigenden Stoffen aber auch von Energien (bspw. Wärme in Gewässer) in die Umwelt (Boden, Wasser, Luft).

Zum nachsorgenden bzw. „End-of-pipe"-Umweltschutz/Ressourcenschonung zählen hingegen solche (technischen) Schutzmaßahmen, die primär dem Umweltschutz dienen und auf die Verminderung oder Vermeidung von negativen Umweltauswirkungen abzielen, welche von Produkten oder Verfahren ausgehen. Ebenfalls zur Gruppe des nachsorgenden Umweltschutzes gehören Maßnahmen zur Minderung oder Beseitigung von bereits eingetretenen Umweltschäden. „End-of-pipe"-Umweltschutzmaßnahmen bilden die „klassische Umwelttechnik", da sie im Zeitverlauf erst nach und nach durch integrierte Umweltschutzmaßnahmen ergänzt – nicht aber ersetzt – worden sind.

Neben der Unterscheidung vor-/nachsorgender Umweltschutz/Ressourcenschonung kann auch nach den medialen Bereichen unterschieden werden, in denen die (potenziellen) Umweltschädigungen stattfinden und dementsprechend technische Schutzmaßnahmen ergriffen werden. Zu nennen wären hier die Bereiche Wasser, Luft (und Klima) sowie Boden.

[12] Eine umfassende und detaillierte Darstellung des technischen Umweltschutzes findet sich bei Görner/Hübner (1999); folgende Absätze basieren, soweit nicht anders angegeben, hauptsächlich auf dieser Quelle.

Schließlich werden technische Umweltschutz- und Ressourcenschonungsmaßnahmen häufig auch nach den jeweiligen technischen Bereichen unterschieden, die parallel, aber auch quer zu den Kategorien vor-/nachsorgend bzw. zu den medialen Bereichen liegen können: Wasser-/Abwassertechnik, Emissionsschutztechnik, Bodenschutz-/sanierungstechnik, Abfalltechnik, Energietechnik. Die vorgenannten Technikbereiche lassen sich wiederum in kleinere Unterbereiche aufteilen. So unterscheidet man bspw. im Bereich Energietechnik: Technik zur Energieversorgung, zur Energiespeicherung, zur effizienten Energienutzung sowie zur Energieeinsparung.

Während sämtliche der oben genannten Umweltschutztechniken mehr oder weniger direkt dem Umweltschutz zugute kommen, gibt es noch den Bereich Mess-, Steuer- und Regeltechnik (MSR-Technik), welcher im und für den Umweltschutz eine wesentliche, aber eben indirekte Rolle spielt. MSR-Technik meint dabei sämtliche technische Anwendungen, die der Messung und informatorischen Verarbeitung von Umweltgrößen (Sensoren) sowie der Steuerung von technischen (Produktions-)prozessen dienen können.

Einen etwas anderen Ansatz, die im Laufe der vergangenen drei bis vier Jahrzehnte stetig wachsende Zahl unterschiedlicher Produkte, Verfahren und Maßnahmen sowie Wirtschaftsbereiche für den Umwelt- und Ressourcenschutz zu kategorisieren, wurde von der OECD gewählt und findet breite Anwendung. Dabei werden die umwelt- und ressourcenschutzrelevanten Tätigkeiten wie in Tabelle 4 dargestellt unterteilt.

Tabelle 4: Definition von umwelt- und ressourcenschutzrelevanten Tätigkeiten

A. Verringerung von Umweltbelastungen	*Produktion von Anlagen, Technologien und spezifischen Materialien; Bereitstellung von Dienstleistungen und Bauleistungen für:* - Luftreinhaltung - Abwasserbehandlung / Gewässerschutz - Abfallwirtschaft - Schutz des Bodens und des Grundwassers - Lärmbekämpfung - Monitoring - Umweltforschung und –entwicklung - Umweltanalyse und –beratung - Sammeln und Analyse von Umweltdaten - Sammeln und Analyse von Umweltdaten - Erziehung, Training und Information im Umweltbereich - Sonstige
B. Umweltfreundliche Produkte, Dienstleistungen und Technologien	*Produktion von Ausrüstung, Technologien, spezifischen Materialien und Dienstleistungen für:* - Saubere / ressourceneffiziente Technologien und Prozesse - Saubere / ressourceneffiziente Produkte
C. Ressourcenmanagement	*Produktion von Anlagen, Technologien und spezifischen Materialien; Bereitstellung von Dienstleistungen und Bauleistungen für:* - Luftreinhaltung in Gebäuden - Wasserversorgung - Recycelte Materialien (Herstellung neuer Materialien oder Produkte aus Abfall und Reststoffen, die getrennt für „Recycling“ ausgewiesen werden) - Erneuerbare Energien - Energieeinsparung und –management - Nachhaltige Landwirtschaft und Fischerei - Nachhaltige Forstwirtschaft - Umweltorientiertes Risikomanagement - Ökotourismus - Sonstige

(Quelle: OECD/EUROSTAT 1999)

Um die Bandbreite nanotechnologischer Produkte und Verfahren für die Umwelttechnik und vor allem den integrierten Umweltschutz möglichst umfassend darstellen zu können, sind auf Grundlage der oben beschriebenen gängigen Kategorisierungen eigene Kategorien erstellt worden, die als zweckmäßig und praktikabel angesehen werden. Diese finden sich in der Matrix in der Horizontalen, also den Spaltenüberschriften (vgl. Abbildung 23 auf S. 109).

Von links nach rechts gelesen sind zunächst die klassischen Umwelttechnikbereiche nach Umweltmedien („Boden“, „Wasser“, „Luft“) zuzüglich „Abfall“ gelistet. Jede dieser Kategorien ist nochmals unterteilt worden nach vorsorgenden („Vermeidung“/„Verminderung“) und nachsorgenden („Aufbereitung“/„Reinigung“/„Sanierung“) Produkten/Verfahren. Weiter rechts folgen dann die Kategorien Messen/Steuern/Regeln sowie die des indirekten/integrierten Umweltschutzes, nämlich „Materialeinsparung“, „Reduzierung oder Vermeidung/Substitution toxischer Substanzen“, „Energiegewinnung, -nutzung, -einsparung und -speicherung“ sowie „integrierter Umweltschutz“, welcher nochmals unterteilt ist in „produkt-“, „prozess-“ und „systemintegriert“.

Bei der Betrachtung der gewählten Kategorien fällt auf, dass diese keine trennscharfe Gruppierung nanotechnologischer Produkte und Verfahren erlauben, weswegen sich in der ausgefüllten Matrix (vgl. Abbildung 25 und Abbildung 26 auf S. 123ff bzw. S. 130ff) auch viele Mehrfachzuordnungen finden. Hierzu muss jedoch angemerkt werden, dass der Zweck der Matrix nicht primär darin besteht, nanotechnologische Produkte und Verfahren eineindeutig nur einem einzigen Umwelttechnik- bzw. -schutzbereich zuzuordnen. Vielmehr geht es darum aufzuzeigen, wie sich die Bandbreite nanotechnologischer Produkte und Verfahren im Kontext von Umwelttechnik und Umweltschutz darstellt und wo es ggf. Schwerpunkte oder „weiße Flecken“ gibt. Die identifizierten Produkte und Verfahren sollten hinsichtlich ihres Nutzens in der Umwelttechnik bzw. für den Umweltschutz „abgeklopft“ werden, sodass Mehrfachnennungen und Überlappungen als wenig problematisch anzusehen sind, geben doch gerade sie Hinweise auf die vielseitige Umweltrelevanz bestimmter nanotechnologischer Produkte und Verfahren.

3.1.2.2 Kategorisierung der identifizierten nanotechnologischen Produkte und Verfahren hinsichtlich der zugrundeliegenden Nanofunktionalitäten

In der zweiten Dimension der Matrix, welche in der Vertikalen, also als Zeilenüberschriften zu finden ist, wird nach den Nanofunktionalitäten der jeweiligen nanotechnologischen Produkte und Verfahren gefragt (vgl. Abbildung 23 auf S. 109). Die Kategorisierung nach Nanofunktionalitäten verfolgt dabei das Ziel herauszufinden, ob bestimmte Nanofunktionalitäten eine größere Anzahl von Produkten und Verfahren hervorgebracht haben oder hervorbringen werden und ob bestimmte Nanofunktionalitäten in der Summe eine höhere Relevanz für die Umwelttechnik oder den Umweltschutz aufweisen als andere. Dieses Vorgehen ergibt sich aus der großen Bandbreite der tlw. sehr unterschiedlicher Funktionalitäten, die aus ebenfalls tlw. sehr unterschiedlichen Formen oder Arten von „Nanotechnologien“ resultieren. Diese „Nanotechnologien“ wiederum sind jeweils unterschiedlichen Wissenschafts- oder

Anwendungsbereichen (Materialwissenschaften, Oberflächenfunktionaliserung) verhaftet, sodass eine Kategorisierung der identifizierten nanotechnologischen Produkte und Verfahren nach Nanofunktionalitäten Hinweise auf disziplinäre oder Anwendungsschwerpunkte bzw. -lücken geben kann.

Die Nanofunktionalitäten werden zunächst nach vier Hauptkategorien unterschieden, welche sich wiederum in unterschiedliche Subkategorien gliedern.[13] Die Hauptkategorien sind „funktionalisierte Oberflächen", „Werkstoffbeschaffenheitsänderungen/neue Materialien", „katalytische Prozesse" und „Filtrationsprozesse" (sowie eine weitere Kategorie „Sonstiges"). Die Feingliederung findet sich in der zweiten Spalte von links (siehe Matrix in Abbildung 23 auf S. 109) und soll hier nicht noch einmal im Einzelnen aufgeführt werden.

Auch bei der Kategorisierung nach Nanofunktionalitäten wird schnell klar, dass diese keine ein-eindeutige Zuordnung von Produkten und Verfahren erlaubt. Allerdings geht es auch hier nicht primär darum, jedes Produkt nur unter einer einzigen Nanofunktionalität zu fassen. Ziel ist vielmehr, wie im Falle der Umwelttechnik- und -schutzbereiche, die Bandbreite möglichst umfassend abzubilden. Das vorrangige Ziel, tendenzielle Schwerpunkte und „weiße Flecken" aufzudecken, wird auch ohne die Gewährleistung absoluter Trennschärfe erreicht.

3.1.2.3 Differenzierung der identifizierten nanotechnologischen Produkte und Verfahren nach regionaler Herkunft der jeweiligen Anbieter/Anwender

Da die vorliegende Studie vorrangig auch das Ziel verfolgt, Stand und Perspektiven der Nanotechnologie für die Umwelttechnik und den Umweltschutz insbesondere in Nordrhein-Westfalen zu analysieren und darzustellen, ist in die Matrix eine weitere Dimension eingebracht worden. Durch farbliche Hervorhebungen (vgl. die Abbildung 25 und Abbildung 26 auf S. 119ff bzw. S. 130ff) sind die identifizierten Produkte und Verfahren noch einmal differenziert worden nach der regionalen Herkunft der entsprechenden Anbieter bzw. Anwender. Dabei wurden drei Gruppen unterschieden: ein bestimmtes nanotechnologisches Produkt oder Verfahren wird (1) ausschließlich von einem oder mehreren Unternehmen aus NRW, (2) sowohl von NRW- als auch von Unternehmen aus dem sonstigen Bundesgebiet oder (3) ausschließlich von Unternehmen außerhalb NRW entwickelt, hergestellt oder angewendet.

[13] Eine etwas andere Aufschlüsselung der Nanofunktionalitäten als die hier gewählte nimmt bspw. die Hessen-Agentur in ihrer Studie vor (HA 2004, S. 12f): mechanische, geometrische, elektrische, magnetische, optische, chemische und biologische Funktionalitäten. Da eine solche Darstellung mehr die naturwissenschaftlichen Phänomene in den Vordergrund stellt und den Anwendungsbezug nicht so klar erscheinen lässt, haben wir uns hier für eine etwas abweichende Darstellung entschieden.

Diese Zuordnung erlaubt zum einen eine quantitative Einschätzung der Präsenz nordrhein-westfälischer Unternehmen im Bereich nanotechnologischer Produkte und Verfahren. Zum anderen wird, in Kombination mit den anderen beiden Dimensionen der Matrix, deutlich, in welchen Umwelttechnik- bzw. -schutzbereichen und bei welchen Nanofunktionalitäten NRW besonders oder weniger stark vertreten ist.

3.1.2.4 Differenzierung der identifizierten nanotechnologischen Produkte und Verfahren nach ihrem jeweiligen Entwicklungsstand

Schließlich ist bei der Kategorisierung der identifizierten nanotechnologischen Produkte und Verfahren auch noch nach deren Entwicklungsstand unterschieden worden. Allerdings ist hierzu die oben beschriebene Matrix zweimal ausgefüllt worden, anstatt ihr noch eine weitere Dimension hinzuzufügen. Letzteres hätte eher verwirrt, als zu einer größeren Übersichtlichkeit beizutragen. Die Matrix mit den bereits am Markt angebotenen nanotechnologischen Produkten und Verfahren findet sich in Abbildung 25 (S. 123ff). In der Abbildung 26 (S. 130ff) hingegen sind diejenigen Produkte und Verfahren gelistet, die sich derzeit noch in der Forschung und Entwicklung befinden.

Bei der zweiten Matrix (Abbildung 26) handelt es sich hauptsächlich um Produkte und Verfahren, die relativ kurz vor der Markteinführung stehen – erste Entwicklungen der Grundlagenforschung sind hingegen kaum berücksichtigt worden. Dies ist zum einen bedingt durch den gewählten Zugang: es wurden Produkte und Verfahren über *Unternehmen* recherchiert – diese betreiben in der Regel kaum Grundlagenforschung. Zum anderen geht es in der vorliegenden Studie hauptsächlich um konkrete Produkte und Verfahren, weniger um visionäre Technologien, die evtl. erst in einigen Jahrzehnten in marktfähigen Produkten und Verfahren zur Anwendung kommen. Selbst wenn also über andere, im Rahmen dieser Untersuchung ausgewertete Studien und Literatur nanotechnologische Entwicklungen identifiziert wurden, die sich in der Grundlagenforschung befinden und denen eine mögliche, zukünftige Umweltrelevanz nicht abzusprechen ist – wie bspw. „Nanoroboter“ zur Bodensanierung (MUV BaWü 2004: 68) –, so fanden diese aufgrund ihrer geringen Konkretisierung, ihrer sehr unsicheren Realisierung sowie ihrer kurz- bis mittelfristig geringen ökonomischen und ökologischen Bedeutung keinen Eingang in die Matrix.

Schließlich sei noch darauf hingewiesen, dass neben der beschriebenen Matrixdarstellung zusätzlich noch eine tabellarische Übersicht von nanotechnologischen Produkten und -verfahren erstellt worden ist, welche aufgrund der weniger detaillierten Differenzierungen („verwendetes Nanomaterial“, „Umweltbezug“, „potenzielle Anwendungsgebiete“) eine

kompaktere Darstellung erlaubt und leichter zugänglich ist (vgl. hierzu Tabelle 5 und Tabelle 6, beide zu finden in Kapitel 3.5 auf S. 162ff sowie S. 166ff).

3.2 Nanotechnologische Produkte und Verfahren – Übersicht

Eine Übersicht über die derzeit am Markt sowie in der Forschung und Entwicklung befindlichen nanotechnologischen Produkte und Verfahren zu geben, ist keine triviale Aufgabe. Die Gründe dafür sind vielseitiger Natur. Zum einen gibt es derzeit kaum und wenn dann häufig nur unvollständige Informationen zu den jeweiligen Produkten und Verfahren sowie zu deren Bezug zur Nanotechnologie, weil – wie oben bereits erwähnt – die Unternehmen einerseits zurückhaltend sind bei der Herausgabe von Informationen und andererseits viele nanotechnologische Entwicklungen noch in der Grundlagenforschung sind und somit noch nicht in Produkte oder Verfahren überführt werden konnten. Zum anderen ist die Bandbreite (potenzieller) nanotechnologischer Produkte und Verfahren immens – es gibt eigentlich kaum einen Wissenschafts- oder Anwendungsbereich, der nicht in irgendeiner Form nanotechnologische Elemente hervorgebracht hat oder hervorbringen wird: von der Chemie und Physik, über die Materialwissenschaften, Biotechnologie und Medizin, bis hin zur Halbleiterelektronik und Energietechnik, um nur einige zu nennen. Darüber hinaus ist „*die* Nanotechnologie“ selbst nie ein Produkt oder Verfahren. Vielmehr kommen nanotechnologische Materialien und Komponenten wie Nanopartikel, Nanoröhrchen, nanometerdünne Schichten, Nano-Transistoren etc. als Ausgangsstoffe oder Vorprodukte bei der Herstellung der eigentlichen „nanotechnologischen“ Produkte zum Einsatz. All dies erschwert eine systematische Erfassung und Strukturierung nanotechnologischer Produkte und Verfahren erheblich.

Daher sind zunächst einmal sämtliche der im Rahmen dieser Studie identifizierten nanotechnologischen Produkte und Verfahren tabellarisch erfasst.

Neben der oben beschriebenen Erfasung von Nanoprodukten/-verfahren über die Unternehmensseite erfolgte zur Ermittlung und Beschreibung möglicher, erwartbarer, wünschbarer und geplanter zukünftiger Entwicklungen in einzelnen Technikfeldern, das Auswerten von Roadmaps (vgl. Möhrle / Isenmann 2008). Da bisher für das bearbeitete Themengebiet keine Roadmap existiert, wurden vorhandene Nanotechnologieroadmaps und ähnliche strategisch angelegte Publikationen mit überlappenden Schnittmengen gezielt auf Anwendungspotenziale im Umwelt- und Energiebereich hin analysiert und ausgewertet:

- Productive Nanosystems. A Technology Roadmap (Battelle Memorial Institute and Foresight Nanotech Institute 2007)
- A European roadmap for photonics and nanotechnologies (MONA 2007)
- Roadmaps for Science: nanoscience + nanotechnologies (Ministry of Research, Science and Technology 2006)
- Nanotechnology Program Content (Nasa 2005)
- Roadmap for Nanomaterials (Chemical Industry Vision2020 Technology Partnership 2003)
- Roadmaps at 2015 on Nanotechnology – Application in the Sectors of Materials, Health & Medical Systems, Energy (AIRI/Nanotec IT 2006, Willems & van den Wildenberg 2005, VDI/VDE 2005, The Institute of Nanotechnology 2006)
- Nanomaterial Roadmap 2015 (Steinbeiss-Europa-Zentrum 2005, Steinbeiss-Europa-Zentrum and Forschungszentrum Karlsruhe 2006, Steinbeiss-Europa-Zentrum and FFG 2005 und 2006, Steinbeiss-Europa-Zentrum and Comité Richelieu 2005 und 2006)
- Nano-Initiative – Aktionsplan 2010 (BMBF 2006)
- Nanotechnologien für den Umweltschutz (ZTC VDI TZ 2007).

Dabei ist festzustellen, dass die größten analysierten Schnittmengen im Energiebereich liegen. So besitzen die beiden von der EU geförderten Studien „Roadmaps at 2015 on Nanotechnology – Application in the Sectors of Materials, Health & Medical Systems, Energy“ und „Nanomaterial Roadmap 2015“ in diesem Bereich einen expliziten Schwerpunkt. Besonders interessante zukünftige Entwicklungen werden demnach von den Experten in folgenden Bereichen gesehen:

- Stromerzeugung: verschiedene Arten von Solarzellen (Organische Solarzelle, Farbstoffsolarzelle, Quantenpunktsolarzelle), Thermophotovoltaik, Thermoelektrika

- Energiespeicherung: Hocheffiziente Wasserstoffspeicher, Hochleistungsbatterien, Superkondensatoren
- Energieeffizienz: OLED-Beleuchtung, Nanoschaum als Isolationsmaterial

In ähnlicher Weise werden in der Roadmap der amerikanischen chemischen Industrie (vgl. Chemical Industry Vision2020 Technology Partnership 2003) folgende Anwendungsfelder im Energiebereich aufgeführt: Hochleistungsbatterien, Superkondensatoren, effiziente und preiswerte Solarzellen, effiziente und preiswerte Brennstoffzellen /-materialien.

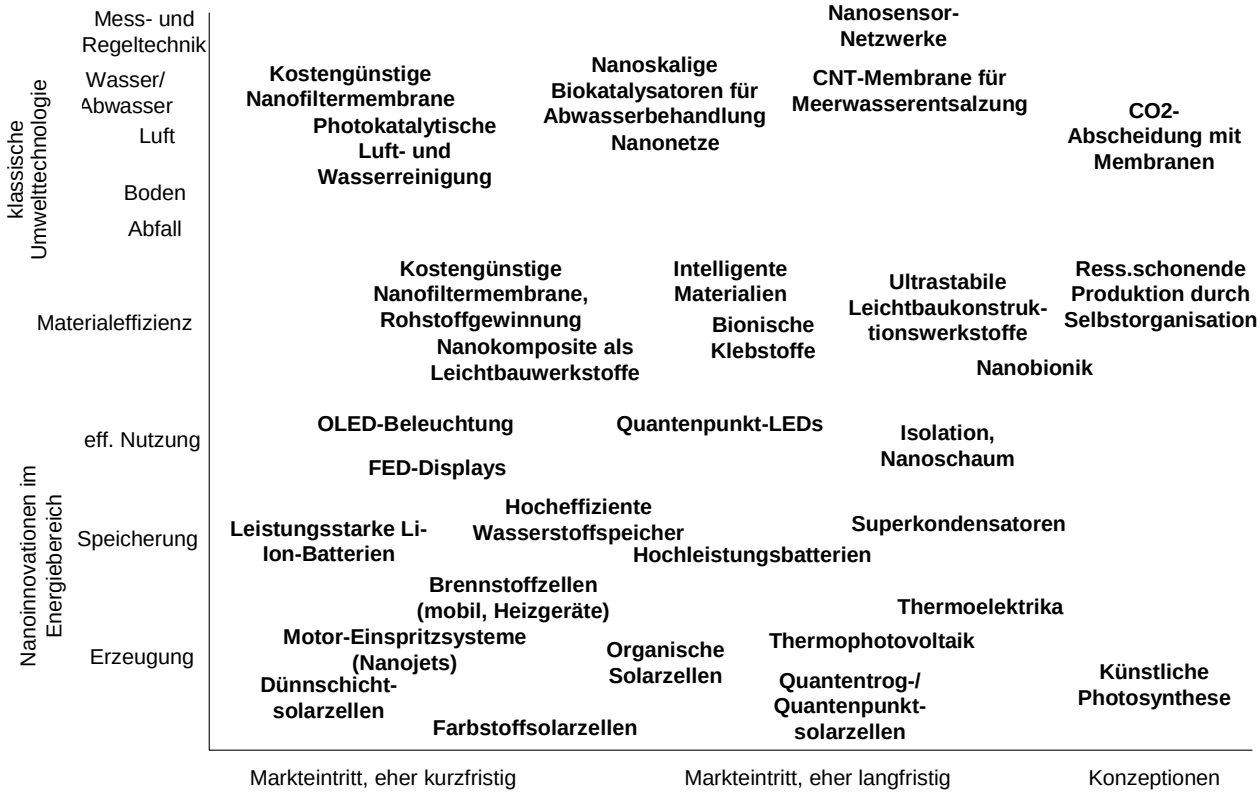
Darüber hinaus werden in dieser Roadmap weitere relevante nanotechnologische Entwicklungen dargestellt, die auch den klassischen Umweltbereich betreffen: Nanosensoren, Photokatalysatoren, hoch selektive Katalysatoren, ultrastabile Leichtbaukonstruktionswerkstoffe. In der Roadmap zu produktiven Nanosystemen (vgl. Battelle Memorial Institute and Foresight Nanotech Institute 2007) werden in etwa die gleichen Anwendungsfelder im Umwelt- und Energiebereich dargestellt. Darüber hinaus werden hier außerdem Chancen bei selektiven permeablen Membranen und „smarten“ Materialien hervorgehoben.

In der europäischen Roadmap zu Photonik und Nanotechnologien (vgl. MONA 2007) werden zukünftige Anwendungen mit nanophotonischen Effekten untersucht. Die größten Schnittmengen zum Umwelt- und Energiebereich liegen dabei in den von den Experten erwarteten Anwendungen in der Photovoltaik, bei Licht- und Displayanwendungen sowie Sensoren.

Speziell mit den klassischen Umweltbereichen und deren zukünftige Entwicklungspfade befasst sich die Studie des VDI „Nanotechnologien für den Umweltschutz“ (vgl. ZTC VDI TZ 2007). Neben der Weiterentwicklung hin zu kostengünstigeren Membranen bei der Abwasserreinigung werden neue Anwendungspotenziale bei der mobilen Trinkwasserreinigung durch Nanonetze (nano-mesh) sowie durch neuartige Filtermembrane für die Meerwasserentsalzung gesehen, die mit Kohlenstoffnanoröhren bestückt sein könnten. Außerdem werden weitere Potenziale in der photokatalytischen Luft- und Wasserreinigung erwartet. Im Bereich der Mess- und Regeltechnik werden zukünftig neben der Weiterentwicklung hin zu kostengünstigeren selektiven Nanosensoren neue Anwendungspotenziale durch die Entwicklung von Nanosensor-Netzwerken zur Überwachung verschiedener Parameter gesehen.

In der folgenden Abbildung sind die in den Roadmaps analysierten erwartbaren nanotechnologischen Anwendungen und Konzepte im Umwelt- und Energiebereich aufgeführt und einem zeitlichen Realisierungshorizont zugeordnet.

Abbildung 24: Erwartbare nanotechnologiebasierte relevante Anwendungen und Konzepte im Umwelt- bzw. Energiebereich



(Quelle: eigene Darstellung)

Die zeitliche Zuordnung der Anwendungsfelder wurde soweit wie möglich den entsprechenden Roadmaps entnommen bzw. auf Grund ihrer technischen Komplexität zugeordnet. Die unterschiedlichen Zeithorizonte sollen außerdem vermitteln, dass zur wirklichen wirtschaftlichen Umsetzung der erwarteten Anwendungsfelder noch unterschiedlich viel Forschungs- und Entwicklungsarbeit geleistet werden muss. Dies gilt besonders bei den dargestellten langfristig angelegten Konzepten wie bspw. die künstliche Photosynthese.

3.3 Konkrete Nanotechnologische Produkte und Verfahren für die Umwelttechnik und den Umwelt- und Ressourcenschutz

Sicherlich nicht zuletzt aufgrund der Tatsache, dass die Nanotechnologie ein noch sehr junges Feld darstellt, befasst sich die einschlägige Umwelttechnikliteratur derzeit noch kaum und wenn, dann nur in einzelnen Teilbereichen mit Anwendungen der Nanotechnologie im technischen Umweltschutz[14] (so auch MUV BaWü 2004, ZTC VDI TZ 2007). Häufiger findet sich jedoch Literatur, die sich mit potenziellen negativen Auswirkungen nanotechnologischer Produkte und Verfahren auf die Umwelt befasst.[15] In der Literatur sowie in aktuellen Studien

[14] Beispiele sind: Joo/Cheng (2006), im Bereich Boden-/Wassersanierung;
[15] bspw. Theodore/Kunz (2005)

zur Nanotechnologie hingegen werden durchaus nanotechnologiebasierte Anwendungen für den Umweltschutz (im weitesten Sinne) (prospektiv) beschrieben (vgl.; TAB 2004, insb. Energietechnik S. 51ff & S. 83ff; ZTC 2004, insb. Umwelt- und Energietechnik S. 124ff). Daneben gibt es auch einige Studien, die sich im Fokus mit den Potenzialen der Nanotechnologie in der Umwelttechnik sowie für den Umweltschutz befassen und dabei fast alle der in Kapitel 3.1.2.1 (S. 110ff) genannten Umweltschutzbereiche abdecken (bspw. ZTC 2007; Heubach/Angerer 2007; Oakdene Hollins 2007; UBA 2006; HA 2005a; MUV BaWü 2004). Vereinzelt werden in jüngerer Zeit auch Nanotechnologie-Potenziale für Teilbereiche der Umwelttechnik thematisiert (bspw. dezentrale Trinkwasseraufbereitung und Nanotechnologie: Meridian Institute 2006). Allerdings werden nur sehr wenige Produkte und Verfahren beschrieben, welche bereits auf dem Markt angeboten werden. Die meisten Anwendungen befinden sich noch in der Entwicklung oder ihre zukünftige Entwicklung wird plausibel begründet prognostiziert.

Um nun eine systematische Untersuchung des Standes und der Perspektiven nanotechnologischer Produkte und Verfahren in der Umwelttechnik und für den Umweltschutz zu ermöglichen, wurden die identifizierten Produkte und Verfahren in die oben erläuterte Matrix (siehe Kapitel 3.1.2 auf S. 108ff) integriert. Dabei wurden die Produkte/Verfahren sowohl nach den im Kapitel 3.1.2.1 genannten Umweltschutz(technik)bereichen als auch nach den im Kapitel 3.1.2.2 aufgeführten nanotechnologischen Funktionalitäten geordnet (vgl. insbesondere Abbildung 23 auf S. 109). Des Weiteren sind – wie ebenfalls oben erläutert – die nanotechnologischen Produkte und Verfahren nach der Herkunft der herstellenden/anbietenden Unternehmen (siehe Kapitel 3.1.2.3) sowie nach ihrem jeweiligen Entwicklungsstand, also am Markt oder in der Forschung und Entwicklung befindlich (siehe Kapitel 3.1.2.4), differenziert worden. Die ausgefüllten Matrizen finden sich in Abbildung 25 auf S. 123ff. (am Markt befindliche) bzw. in Abbildung 26 auf S. 130ff. (in der Forschung und Entwicklung befindliche) und werden im Folgenden zusammengefasst dargestellt und ausgewertet.

Es muss an dieser Stelle noch darauf hingewiesen werden, dass in den Matrizen bereits eine Aggregierung von Produkten/Verfahren vorgenommen worden ist und daher keine einzelnen Produkte/Verfahren einzelner Unternehmen, sondern Produkttypen/-gruppen verschiedener Unternehmen in den Matrizen zu finden sind. So gibt es beispielsweise mehrfach den Eintrag „alternative Solarzellentechnologie“, da diese in vielen verschiedenen Ausprägungen beforscht und entwickelt werden – eine Nennung jeder einzelnen Solarzellentechnologie wäre jedoch weder möglich noch zielführend gewesen. Diese Aggregierung führt jedoch unweigerlich zu weiteren Unschärfen (neben den oben bezüglich der gewählten Matrixkategorien

beschriebenen [siehe Kapitel 3.1.2 auf S. 108ff]). Auch wenn im Folgenden eine quantitative Darstellung des Stands und der Entwicklung nanotechnologischer Produkte und Verfahren versucht wird, muss also berücksichtigt werden, dass die Zahlen bei einer etwas anders gewählten Kategorisierung und bei einer leicht variierten Aggregierung etwas anders hätten ausfallen können. Es handelt sich also nicht um absolut zu interpretierende Werte, aus denen sich Aussagen wie „das Produkt x mit 10 Nennungen ist 25 % stärker verbreitet als das Produkt y mit 8 Nennungen" ableiten ließen. Vielmehr können über diese quasi-quantitative Darstellung Tendenzen sichtbar gemacht werden, deren Interpretation jedoch die Ergebnisse anderer Analysezugänge, wie bspw. Unternehmensinterviews und -umfragen, einbeziehen und zueinander ins Verhältnis setzen muss.

Darüber hinaus gilt es zu berücksichtigen, dass die Gesamtzahl der identifizierten (Typen/Gruppen) von Produkten und Verfahren kleiner ist als die Anzahl der Nennungen in den Matrizen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass einzelne Produkte/Verfahren sowohl verschiedenen Umwelttechnik-/Umweltschutzbereichen als auch verschiedenen nanotechnologischen Effekten/Funktionalitäten zuzuordnen sind. So dienen Dünnschichtsolarzellen zwar in erster Linie der Energiegewinnung, führen jedoch aufgrund ihrer (auf Nanotechnologie basierenden) Bauweise auch zu Materialeinsparungen. Gleichzeitig kommen bei Dünnschichtsolarzellen mehrere nanotechnologische Effekte zum Einsatz, wie bspw. Anti-Reflex-Oberflächen, photokatalytische oder Anti-Diffusions-Schichten sowie Quantum-Dots (nanoskalige Additive).

Die Summe der identifizierten Produkte und Verfahren[16], welche in die Matrizen übernommen worden sind (siehe Abbildung 25 und Abbildung 26), scheint auf den ersten Blick überraschend klein zu sein – zumal, wenn Doppelnennungen gleicher Produkttypen wie Oberflächenbeschichtungen mit „Easy-to-clean"-Eigenschaften, die in mehreren Umwelttechnik- bzw. Umweltschutzbereichen eingesetzt werden können, oder Solarzellen, in welchen mehrere nanotechnologische Effekte/Funktionalitäten zum Einsatz kommen können, berücksichtigt werden. Dies ist im Wesentlichen der Tatsache geschuldet, dass bei der Auswahl recht strenge Kriterien der Umweltrelevanz angelegt worden sind und zunächst nur solche Produkte und Verfahren in beide Matrizen aufgenommen wurden, zu denen deutliche Hinweise darauf zu finden waren, dass das jeweilige Produkt oder Verfahren tatsächlich in der Umwelttechnik zum Einsatz kommt oder dafür bestimmt ist, oder dass von dem Produkt oder Verfahren *nennenswerte positive Beiträge* für den Umwelt- und Ressourcenschutz zu erwarten oder sogar bereits belegt sind. In vielen Fällen identifizierter Produkte und Verfahren blieb

[16] Die quantitative Zusammenfassung der identifizierten (Typen von) nanotechnologischen Produkte und Verfahren findet sich in einer Matrix am Ende des Anhangs III.

hingegen unklar, ob positive Umwelteffekte gegeben oder zu erwarten sind[17]. Insbesondere bei Vorprodukten, wie bspw. den Kohlenstoff-Nanoröhrchen (Carbon-Nano-Tubes, CNT), kann eine Zuordnung zu Umwelttechnik- bzw. Umweltschutzbereichen kaum erfolgen, da in den allermeisten Fällen noch vollkommen unklar ist, in welchen konkreten Anwendungen die CNT überhaupt zum Einsatz kommen werden. Die Tatsache, dass bspw. CNT über Eigenschaften verfügen, die sie grundsätzlich für umweltschonendere Produkte oder Verfahren interessant erscheinen lassen, reicht für eine Aufnahme in eine der Matrizen nicht aus.

Schließlich muss an dieser Stelle noch betont werden, dass die in der Abbildung 25 und Abbildung 26 dargestellten und im Folgenden erläuterten Produkt-/Verfahrensmatrizen nicht den Anspruch der Vollständigkeit erheben können. Die Recherche nach konkreten nanotechnologischen Produkten und Verfahren für die Umwelttechnik und den Umweltschutz gestaltete sich sehr aufwändig. Insbesondere die Feststellung, ob es sich um bereits am Markt eingeführte oder noch in der Forschung und Entwicklung befindliche Produkte und Verfahren handelt, machte relativ umfangreiche Prüfungen notwendig. Wie oben beschrieben, wurden die Produkte und Verfahren primär über die identifizierten Unternehmen der Nanotechnologie erhoben, was bei einer Gesamtheit von über 800 (potenziell) in Deutschland in der Nanotechnologie aktive Unternehmen entsprechend umfangreiche Recherchen erfordert hat. Nicht zuletzt aufgrund der Heterogenität des Feldes und der Selbstzuordnung der Unternehmen muss davon ausgegangen werden, dass weitere Produkte/Verfahren verfügbar oder in der Entwicklung sind.

3.3.1 Am Markt befindliche Produkte und Verfahren

Zunächst fällt bei der Betrachtung der identifizierten bereits am Markt befindlichen Produkte und Verfahren auf, dass sich in allen Umwelttechnik-/Umweltschutzbereichen Anwendungen aus der Nanotechnologie finden. Des Weiteren ist zu erkennen, dass sich viele der durch Nanotechnologie realisierbaren Effekte in mehreren Umwelttechnik-/Umweltschutzbereichen anwenden lassen.

Eine quantitative Auswertung der Matrix mit den bereits am Markt erhältlichen Produkten und Verfahren (siehe Seite 127 der Abbildung 25) offenbart, in welchen Umwelttechnik-/Umweltschutzbereichen derzeit Schwerpunkte der Umsetzung nanotechnologischer Entwicklungen in Produkte und Verfahren existieren. Ebenso wird bei dieser Betrachtung deutlich, welche nanotechnologischen Effekte/Funktionalitäten bereits gut in Produkten/Verfahren zur Anwendung kommen und welche noch nicht.

[17] Die Bewertung der umweltentlastenden Effekte erweist sich gegenwärtig generell als schwierig, da entsprechende Umweltbilanzen kaum vorliegen.

Abbildung 25: Am Markt befindliche nanotechnologische Produkte und Verfahren für die Umwelttechnik und den Umweltschutz

Legende:

= diese Produkte oder Verfahren werden ausschließlich von Firmen in Nordrhein-Westfalen hergestellt oder angeboten

= diese Produkte oder Verfahren werden von Firmen sowohl in Nordrhein-Westfalen als auch in anderen Bundesländern hergestellt oder angeboten

= diese Produkte oder Verfahren werden ausschließlich von deutschen Firmen außerhalb Nordrhein-Westfalens hergestellt oder angeboten

= Firmenzuordnungen noch unklar

		Wasser/Abwasser		Abfall	Luftreinhaltung		Boden/ Grundwasser	
		Vermeidung	Aufbereitung	Vermeidung	Reinhaltung	Reinigung	Vermeidung von Stoffeinträgen	Altlasten-sanierung
funktionalisierte Oberflächen	easy-to-clean/anti-haft (aktiv/passiv)	Oberflächenversiegelung/ Photokatalyse (I.A. 1-46)		Oberflächenversie-gelung/Photokatalyse (I.A. 1-46)	Oberflächenversie-gelung/Photokatalyse (I.A. 1-46)		Oberflächenversie-gelung/Photokatalyse (I.A. 1-46)	
	nicht korrodierend	Metallvorbehandlungs-schichten (I.D. 1)		Metallvorbehandlungs-schichten (I.D. 1)				
		nanokeramische Konversionsbeschichtung (I.D. 2)		nanokeramische Konversions-beschichtung (I.D. 2)				
	anti-mikrobiell (aktiv/passiv)	Oberflächenversiegelung/ Photokatalyse (I.E. 1-15)		Oberflächenversie-gelung/Photokatalyse (I.E. 1-15)	Oberflächenversie-gelung/Photokatalyse (I.E. 1-15)		Oberflächenversie-gelung/Photokatalyse (I.E. 1-15)	
	kratzfest	dünne Nanolacke (I.F. 20, 22)		Oberflächenversiegelung /Photokatalyse (I.F. 1-19, 21, 23, 24)				
	haftend	Metallvorbehandlungs-schichten (I.G. 1)		Metallvorbehandlungs-schichten (I.G. 1)				
Werkstoffbeschaf-fenheitsänderungen/ neue Materialien	verstärkte/bessere mechanische Beanspruchbarkeit			Permaglide-Lager (II.A. 14)	Nanoverschleiß-schutz für Motoren und Getriebe (II.A. 6, 16, 17)			
				Reifen mit Carbon Black (II.A. 9)				
				Kolbenbeschichtung NanofriKS (II.A. 15)				
				Straßenfräsmeißel (II.A. 2)				
				leitfähige Folien (II.A. 4)				
	Gewichtsreduktion			leitfähige Folien (II.B. 4)				
	sonstiges	Sachtoperse (II.G. 4)						
Katalytische Prozesse	durch Additive				Abgaskatalysator (III.A. 1, 2)			EisenNanopar-tikel (III.A.4)
	nanoporöse Materialien				NanoCat (III.B. 1)	NanoCat (III.B. 1)		
Filtrationsprozesse	Membranen	keramische Filter (IV.A. 1, 7 9)	keramische Filter (IV.A. 1, 7-9)		Filterelemente (IV.A. 5, 6, 10, 13, 14)	Filterelemente (IV.A. 5, 6, 10, 13, 14)		
		Ultrafilter (IV.A. 3, 4, 10, 12)	Ultrafilter (IV.A. 3, 4, 10, 12)					
	nanoporöse Materialien				Abgaskatalysator (IV.B. 1)	Abgaskatalysator (IV.B. 1)		

		Messen/ Steuern/ Regeln	Material	Toxische Substanzen	
		Analyse/ Monitoring	Einsparung	Reduzierung	Vermeidung/ Substitution
funktionalisierte Oberflächen	easy-to-clean/anti-haft (aktiv/passiv)		Oberflächenversiegelung/ Photokatalyse (I.A. 1-46)	Oberflächenversie-gelung/Photokatalyse (I.A. 1-46)	
	UV-Schutz		UV-Schutz-Beschichtungen (I.B. 1-8)		
	nicht korrodierend		nanokeramische Konversionsbeschich-tung (I.D. 2)		Metallvorbehandlungs-schichten (I.D. 1)
					nanokeramische Konversionsbe-schichtung (I.D. 2)
	anti-mikrobiell (aktiv/passiv)		Oberflächenversiegelung/ Photokatalyse (I.E. 1-15)	Oberflächenversie-gelung/Photokatalyse (I.E. 1-15)	
	kratzfest		dünne Nanolacke (I.F. 20, 22)	dünne Nanolacke (I.F. 20, 22)	
			Oberflächenversiege-lung/Photokatalyse (I.F. 1-19, 21, 23, 24)		
	haftend				Metallvorbehandlungs-schichten (I.G.1)
Werkstoffbe-schaffenheits-änderungen/ neue Materialien	verstärkte/bessere mechanische Beanspruchbarkeit		Organosilane/Nano-Klebstoff (II.A. 10, 21)		
			Reifen mit Carbon Black (II.A. 9)		
			Spezialzement mit Nano (II.A. 8)		
			Straßenfräsmeißel (II.A. 2)		
			Batterie-Gitter (II.A. 7)		
			leitfähige Folien (II.A. 4)		
	Gewichtsreduktion		leitfähige Folien (II.B. 4)		
	bessere thermische Eigenschaften		LED's (II.D. 6, 8, 12, 13, 18)	Flamm-/Brandschutz (II.D. 2)	
			Organosilane/Nano-Klebstoff (II.D. 5, 17)		
	bessere elektrische Beschaffenheit		LED's (II.E. 2, 4, 7, 8, 13)		
	bessere optische Beschaffenheit		LED's (II.F. 2, 4, 7, 8, 12)		
	sonstiges		leitfähige Polymerschichten (II.G. 3)	leitfähige Polymerschichten (II.G. 3)	Silica-Dispersionen Dispercoll S für Klebstoffe (II.G. 2)
				Sachtoperse (II.G. 4)	
Katalytische Prozesse	durch Additive			Abgaskatalysator (III.A. 1, 2)	
Filtrationspro-zesse	Membranen			keramische Filter (IV.A. 1, 7-9)	keramische Filter (IV.A. 1, 7-9)
				Ultrafilter (IV.A. 3, 4, 10, 12)	Ultrafilter (IV.A. 3, 4, 10, 12)
	nanoporöse Materialien			Abgaskatalysator (IV.B. 1)	
sonstiges		Nanopartikelmess-gerät (V. 1)			

		Energie				Integrierte Produktpolitik (IPP)	
		Gewinnung	effiziente Nutzung	Speicherung	Einsparung	produktintegrier-ter Umweltschutz	prozessintegrier-ter Umweltschutz
funktionalisierte Oberflächen	easy-to-clean/anti-haft (aktiv/passiv)		Oberflächenversiegelung/ Photokatalyse (I.A. 1-46)				
	UV-Schutz					UV-Schutz-Beschich-tungen (I.B.1-8)	
	nicht reflektierend	Antireflexglas z.B. für Solarzellen (I.C.1)	Antireflexglas z.B. für Solarzellen (I.C.1)				Antireflexglas z.B. für Solarzellen (I.C. 1)
	nicht korrodierend				Metallvorbehandlungs-schichten (I.D. 1)		Metallvorbehandlungs-schichten (I.D. 1)
					nanokera. Konversions-beschichtung (I.D. 2)		
	anti-mikrobiell (aktiv/passiv)		Oberflächenversiegelung/ Photokatalyse (I.E. 1-15)				
	kratzfest				dünne Nanolacke (I.F. 20, 22)	dünne Nanolacke (I.F. 20, 22)	dünne Nanolacke (I.F. 20, 22)
	haftend				Metallvorbehandlungs-schichten (I.G. 1)		Metallvorbehandlungs-schichten (I.G. 1)
Werkstoff-beschaffen-heitsänder-ungen/ neue Materialien	verstärkte/bessere mechanische Beanspruchbarkeit				Nanoverschleißschutz für Motoren und Getriebe (II.A. 6,16,17)	Permaglide-Lager (II.A. 14)	Nanoverschleißschutz für Motoren und Getriebe (II.A. 6,16,17)
					Reifen mit Carbon Black (II.A. 9)	Reifen mit Carbon Black (II.A. 9)	
					Organosilane/Nano-Klebstoff (II.A. 10, 21)	Kolbenbeschichtung NanofriKS (II.A. 15)	Organosilane/Nano-Klebstoff (II.A. 10, 21)
				Batterie-Gitter (II.A.7)	Batterie-Gitter (II.A. 7)	Straßenfräsmeißel (II.A.2)	
	Gewichtsreduktion		Nanogelfenster (II.B.10)		Nanogelfenster (II.B. 10)	Nanogelfenster (II.B.10)	
	bessere thermische Eigenschaften		LED's (II.D. 6, 8, 12, 13, 18)		Organosilane/Nano-Klebstoff (II.D. 5, 17)	Flamm-/Brandschutz (II.D. 2)	LED's (II.D. 6, 8, 12, 13, 18)
			Nanogelfenster (II.D.11)		Nanogelfenster (II.D. 11)	Nanogelfenster (II.D.11)	Organosilane/Nano-Klebstoff (II.D. 5, 17)
	bessere elektr. Eig.		LED's (II.E. 2,4,7,8,13)				LED's (II.E. 2,4,7,8,13)
	bessere optische Eig.		LED's (II.F. 2,4,7,8,12)				LED's (II.F. 2,4,7,8,12)
	sonstiges		Ultradur HighSpeed (II.G.1)		leitfähige Polymerschichten (II.G.3)	Silica-Dispersionen Dispercoll S für Klebstoffe (II.G. 2)	
Katalytische Prozesse	durch Additive					Abgaskatalysator (III.A. 1, 2)	
Filtrationspro-zesse	Membranen					kera. Filter (IV.A. 1, 7-9)	
						Ultrafilter (IV.A.3,4,10,12)	
	nanoporöse Materialien					Abgaskatalys. (IV.B.1)	

		Summe	Wasser/Abwasser		Abfall		Luft		Boden/ Grundwasser		Messen/Steuern/ Regeln	Material	Einsatz toxischer Substanzen		Energie				integrierter Umweltschutz		
			Vermeidung	Aufbereitung	Vermeidung	Aufbereitung	Reinhaltung	Reinigung	Verminderung/Vermeidung von	Altlastensanierung	Analyse/Monitoring	Einsparung	Reduzierung	Vermeidung/Substitution	Gewinnung	effiziente Nutzung	Speicherung	Einsparung	produktintegriert	prozessintegriert	Systeminnovationen
	Summe der Unterkategorien:		9	2	12	0	7	3	2	1	1	18	10	6	1	9	1	12	14	10	0
	Summe der Oberkategorien:		**11**		**12**		**10**		**3**		**1**	**18**	**16**		**23**				**24**		
funktionalisierte Oberflächen	**easy-to-clean/ anti-haft**	7	1		1		1		1			1	1			1					
	UV-Schutz	2										1							1		
	nicht reflektierend	3													1	1				1	
	nicht korrodierend	10	2		2							1		2				2		1	
	anti-mikrobiell	7	1		1		1		1			1	1			1					
	kratzfest	8	1		1							2	1					1	1	1	
	haftend	5	1		1									1				1		1	
	Summe „funktionalisierte Oberflächen“:	**42**																			
Werkstoffbeschaffenheitsänderungen/neue Materialien	**bessere mechanische Beanspruchbarkeit**	23			5		1					6					1	4	4	2	
	Gewichtsreduktion	5			1							1				1		1	1		
	Volumenreduktion	0																			
	bessere thermische Eigenschaften	11										2	1			2		2	2	2	
	bessere elektrische Eigenschaften	3										1				1				1	
	bessere optische Eigenschaften	3										1				1				1	
	nanoporöse Materialien	0																			
	sonstiges	8	1									1	2	1		1		1	1		
	Summe „Werkstoffbeschaffenheitsänderungen/neue Materialien“:	**53**																			
Katalytische Prozesse	**durch Additive**	4					1			1			1						1		
	durch nanoporöse Materialien	2					1	1													
	Summe „katalytische Prozesse“:	**6**																			
Filtrationsprozesse	**Membranen**	12	2	2			1	1					2	2					2		
	nanoporöse Materialien	4					1	1					1						1		
	Summe „Filtrationsprozesse“:	**16**																			
Sonstiges		**1**	1																		

(Quelle: eigene Darstellung und Erhebung)

Umwelttechnik-/Umweltschutzbereiche

Bezüglich der Umwelttechnik-/Umweltschutzbereiche wird deutlich, dass der integrierte Umweltschutz bisher die meisten am Markt erhältlichen nanotechnologischen Produkte und Verfahren hervorgebracht hat (24). Der Bereich mit den zweit häufigsten Nennungen von Produkten und Verfahren ist die Einsparung von Material (18) gefolgt von der Vermeidung des Einsatzes (10) sowie die Substitution (6) toxischer Substanzen (insgesamt 16 Nennungen). 23 Produkte und Verfahren konnten für den Bereich Energie identifiziert werden, wobei die Kategorien Energieeinsparung (12) sowie effiziente Energienutzung (9) am stärksten, die Kategorien Energiegewinnung und Energiespeicherung nur jeweils ein Mal vertreten sind.

Betrachtet man die identifizierten Produkte und Verfahren nach den jeweiligen Umweltmedien, auf welche sie sich positiv auswirken, so finden sich die meisten Produkte/Verfahren im Bereich Abfallvermeidung (12). In dem Bereich Wasser/Abwasser konnten 11, im Bereich Luft 10 und im Bereich Boden/Grundwasser nur 3 Produkte/Verfahren identifiziert werden. Auffällig ist bei der medialen Betrachtung, dass sich die überwiegende Zahl der Produkte/Verfahren ebenfalls dem vorsorgenden Umweltschutz zuordnen lässt (Vermeidung von Wasserverbrauch/Abwassergenerierung (9 von 11), Luftreinhaltung (7 von 10), Verminderung/Vermeidung von Stoffeinträgen in den Boden/ Grundwasser (2 von 3)), während die nachsorgenden Kategorien nur wenige Nennungen aufweisen (Wasser-/Abwasseraufbereitung (2), Luftreinigung (3), Bodensanierung (1)[18]). Gleiches lässt sich für den Bereich Abfall beobachten, wo sämtliche Produkte/Verfahren der Kategorie Abfallvermeidung (12) zuzuordnen waren und kein Produkt/Verfahren für die Abfallaufbereitung (oder auch -entsorgung) identifiziert werden konnte. Der Bereich Materialeinsparung, welcher in gewisser Weise quer zu allen anderen Bereichen liegt, weist insgesamt 18 Produkte und Verfahren auf.

Nanotechnologische Effekte/Funktionalitäten

Hinsichtlich der nanotechnologischen Effekte bzw. Funktionalitäten, auf welchen die einzelnen identifizierten Produkte und Verfahren beruhen bzw. welche diese sich zunutze machen, ergibt sich ein weniger ausgeglichenes Bild als bezüglich der Umwelttechnik-/Umweltschutzbereiche (siehe oben). Es dominiert nämlich ganz klar der Bereich Werkstoffbeschaffenheitsänderungen/neue Materialien (53). Innerhalb dieses Bereichs überwiegen wiederum bessere mechanische Beanspruchbarkeit (23) und mit Abstand bessere thermische Eigenschaften (11). Der Bereich

[18] Insbesondere die Nutzung von Nano-Eisenpartikeln, aber auch andere Verfahren für die Bodensanierung werden seit einiger Zeit stark in der Literatur behandelt (bspw.: Joo/Cheng 2006). Allerdings konnte im Rahmen der vorliegenden Studie bisher in Deutschland noch kein Produkt/Verfahren zur Bodensanierung identifiziert werden, das bereits auf dem Markt ist (und sich nicht mehr in der Testphase befindet).

funktionalisierte Oberflächen (42) ist ebenfalls stark vertreten, wobei hier die Kategorien nicht korrodierend (10) die häufigsten Nennungen aufweist gefolgt von kratzfesten Oberflächen (8) sowie Easy-to-clean-/Anti-Haft-Oberflächen und anti-mikrobiell wirkende Oberflächen (jeweils 7). Im Bereich der Filtrationsprozesse konnten insgesamt 16 Produkte und Verfahren identifiziert werden, wobei der größte Teil hier auf den Bereich Membranen (12) entfällt. Am wenigsten verbreitet scheinen derzeit Produkte und Verfahren zu sein, welche auf katalytische Prozesse beruhen (6). In diesem letzten Bereich dominieren die katalytischen Prozesse die unter zu Hilfenahme von Additiven erfolgen (4).

3.3.2 In der Forschung und Entwicklung befindliche Produkte und Verfahren

In die zweite Matrix (vgl. Abbildung 26) sind all jene nanotechnologischen Produkte und Verfahren aufgenommen worden, die sich derzeit noch im Stadium der Forschung oder Entwicklung befinden. Teilweise gibt es unter diesen Produkten/Verfahren bereits Prototypen/Testläufe – in allen Fällen konnte jedoch keine Markteinführung von deutschen Unternehmen nachgewiesen werden. Visionäre Überlegungen zu Produkten und Verfahren, welche sich evtl. mithilfe der Nanotechnologie verwirklichen ließen und dabei für die Umwelttechnik bzw. den Umweltschutz genutzt werden könnten, ohne dass es jedoch für diese Produkte/Verfahren weitgehende Grundlagenforschung gibt, sind nicht in die Matrix übernommen worden. Des Weiteren wurde darauf verzichtet, diejenigen Produkte und Verfahren nochmals aufzuführen, welche bereits in der ersten Matrix (am Markt befindlich) genannt worden sind, da davon ausgegangen wird, dass diese Produkte und Verfahren im Wesentlichen weiterentwickelt und auch in Zukunft angewendet werden.

Analog zur Darstellung der identifizierten bereits am Markt befindlichen Produkte und Verfahren (siehe Kapitel 3.3.1) findet sich in der Abbildung 26 die Darstellung der quantitativen Verteilung der zukünftig erwartbaren Produkte/Verfahren auf die einzelnen Umwelttechnik-/Umweltschutzbereiche bzw. auf die verschiedenen nanotechnologischen Effekte/Funktionalitäten.

Abbildung 26: In der Forschung und Entwicklung befindliche nanotechnologische Produkte und Verfahren für die Umwelttechnik und den Umweltschutz

Legende:

= diese Produkte oder Verfahren werden ausschließlich von Firmen in Nordrhein-Westfalen hergestellt oder angeboten

= diese Produkte oder Verfahren werden von Firmen sowohl in Nordrhein-Westfalen als auch in anderen Bundesländern hergestellt oder angeboten

= diese Produkte oder Verfahren werden ausschließlich von deutschen Firmen außerhalb Nordrhein-Westfalens hergestellt oder angeboten

= Firmenzuordnungen noch unklar

		Luftreinhaltung	Boden/ Grundwasser	Messen/ Steuern/ Regeln	Material	Toxische Substanzen
		Reinhaltung	Altlasten-sanierung	Analyse/Monitoring	Einsparung	Reduzierung
Werkstoff-beschaffenheits-änderungen/ neue Materialien	**verstärkte/bessere mechanische Beanspruchbarkeit**				Carbon-Nano-Tubes als Substitut z.B. für Metalle (II.A. 1, 3, 11) alternative Solarzellentechnologien (II.A. 5, 12, 13, 18, 19, 20) Nanocomposites hochfester Stahl	
	Gewichtsreduktion				Carbon-Nano-Tubes als Substitut z.B. für Metalle (II.B. 1, 3, 7) Nanocomposites Aerogel/Nanoschaum als Isolierung (II.B. 2, 5) alternative Solarzellentechnologien (II.B. 6, 8, 9, 11-13)	
	Volumenreduktion				Carbon-Nano-Tubes als Substitut z.B. für Metalle (II.C. 1, 3, 6) Aerogel/Nanoschaum als Isolierung (II.C. 2, 4) alternative Solarzellentechnologien (II.C. 5, 7-11)	
	bessere thermische Eigenschaften				Aerogel/Nanoschaum als Isolierung (II.D. 1, 3) OLED's (II.D. 8, 10, 12, 13) alternative Solarzellentechnologien (II.D. 4, 7, 9, 14-16) Nanocomposites Nanoelektronik	
	bessere elektrische Beschaffenheit				OLED's (II.E. 4, 6-8) alternative Solarzellentechnologien (II.E. 1, 3, 5, 9, 11, 12) Nanoelektronik	
	bessere optische Beschaffenheit				alternative Solarzellentechnologien (II.F. 1, 3, 5, 9-11) OLED's (II.F. 4, 6-8)	
	sonstiges	Gassensoren auf Basis von CNT		Gassensoren auf Basis von CNT		
Katalytische Prozesse	**durch Additive**	Kraftstoff mit Nanopartikel	Nano Metal Oxide Catalysts			Nano Metal Oxide Catalysts
	nanoporöse Materialien				Farbstoffsolarzelle	
Filtrationsprozesse	**Membranen**	Brennstoffzellen				

		Energie				Integrierte Produktpolitik (IPP)		
		Gewinnung	**effiziente Nutzung**	**Speicherung**	**Einsparung**	**produktintegrierter Umweltschutz**	**prozessintegrierter Umweltschutz**	**systemintegrierter Umweltschutz**
Werkstoff-beschaffenheits-änderungen/ neue Materialien	**verstärkte/bessere mechanische Beanspruchbarkeit**	alt. Solarzellen-technologien (II.A.5, 12,13,18,19,20)	alt. Solarzellen-technologien (II.A. 5,12,13,18,19, 20)		Carbon-Nano-Tubes als Substitut z.B. für Metalle (II.A. 1, 3, 11)	Carbon-Nano-Tubes als Substitut z.B. für Metalle (II.A. 1, 3, 11)		alternative Solar-zellentechn. (II.A. 5,12,13,18,19, 20)
					Nanocomposites	Nanocomposites		
	Gewichtsreduktion	alternative Solarzel-lentechnologien (II.B. 6, 8, 9, 11-13)	alternative Solarzel-lentechnologien (II.B. 6, 8, 9, 11-13)		Carbon-Nano-Tubes als Substitut z.B. für Metalle (II.B.1,3,7)	Carbon-Nano-Tubes als Substitut z.B. für Metalle (II.B.1,3,7)		alternative Solarzellentechn. (II.B. 6, 8, 9, 11-13)
					Nanocomposites	Nanocomposites		
			Aerogel/Nanoschaum als Isolierung (II.B. 2,5)	Aerogel/Nanoschaum als Isolierung (II.B. 2,5)	Aerogel/Nanoschaum als Isolierung (II.B. 2,5)	Aerogel/Nanoschaum als Isolierung (II.B. 2,5)		
	Volumenreduktion	alt. Solarzellentechn. (II.C. 5, 7-11)	alt. Solarzellentechn. (II.C. 5, 7-11)		CNT als Substitut z.B. für Metalle (II.C.1,3,6)	CNT als Substitut z.B. für Metalle (II.C.1,3,6)		alt. Solarzellentechn. (II.C. 5, 7-11)
			Aerogel/Nanoschaum als Isolierung (II.C.2,4)	Aerogel/Nanoschaum als Isolierung (II.C.2,4)	Aerogel/Nanoschaum als Isolierung (II.C.2,4)	Aerogel/Nanoschaum als Isolierung (II.C.2,4)		
	bessere thermische Eigenschaften		Aerogel/Nanoschaum als Isolierung (II.D. 1,	Aerogel/Nanoschaum als Isolierung (II.D. 1,	Aerogel/Nanoschaum als Isolierung (II.D. 1,	Aerogel/Nanoschaum als Isolierung (II.D. 1,		
			OLED's (II.D. 8,10,12,13)		OLED's (II.D. 8,10,12,13)		OLED's (II.D.8,10,12,13)	
		alt. Solarzellentechn. (II.D.4,7,9,14-16)	alt. Solarzellentechn. (II.D. 4, 7, 9, 14-16)		Nanocomposites	Nanocomposites		alt. Solarzellentechn. (II.D. 4, 7, 9, 14-16)
			Nanoelektronik		Nanoelektronik			
			Hitzebeschichtungen					
	bessere elektrische Beschaffenheit	alt. Solarzellen-techn. (II.E.1,3, 5,9, 11,12)	alt. Solarzellentechn. (II.E. 1,3,5,9,11,12)					alt. Solarzellentechn. (II.E. 1,3,5,9,11,12)
			OLED's (II.E. 4, 6-8)	Supercaps (II.E.10)	OLED's (II.E. 4, 6-8)		OLED's (II.E. 4, 6-8)	
			Nanoelektronik		Nanoelektronik			
	bessere optische Beschaffenheit	alt. Solarzellentechn. (II.F. 1, 3, 5, 9-11)	alt. Solarzellentechn. (II.F. 1, 3, 5, 9-11)					alt. Solarzellentechn. (II.F. 1, 3, 5, 9-11)
			OLED's (II.F. 4, 6-8)		OLED's (II.F. 4,6-8)		OLED's (II.F. 4, 6-8)	
	nanoporöse Materialien			H2-Speicherung für Brennstoffzelle				
Katalytische Prozesse	**durch Additive**	photochemische Solarzelle (III.A. 3)			Kraftstoff mit Nanopartikel	Kraftstoff mit Nanopartikel		photochemische Solarzelle (III.A. 3)
Filtrations-prozesse	**Membranen**			Keramikseperator für Li-Ion-Energiespeicher (IV.A.2,11)				
				Brennstoffzellen				Brennstoffzellen

132

		Summe	Wasser/Abwasser		Abfall		Luft		Boden		Messen/Steuern/ Regeln	Material	Einsatz toxischer Substanzen		Energie				integrierter Umweltschutz		
			Vermeidung	Aufbereitung	Vermeidung	Aufbereitung	Reinhaltung	Reinigung	Verminde-rung/Vermeidung von	Altlastensanierung	Analyse/Monitoring	Einsparung	Reduzierung	Vermeidung/Substitution	Gewinnung	effiziente Nutzung	Speicherung	Einsparung	produktintegriert	prozessintegriert	Systeminnovationen
	Summe der Unterkategorien:		0	0	0	0	3	0	0	1	1	22	1	0	7	15	7	15	9	3	8
	Summe der Oberkategorien:		**0**		**0**		**3**		**1**		**1**	**22**	**1**		**44**				**20**		
funktionalisierte Oberflächen	**easy-to-clean/ anti-haft**	0																			
	UV-Schutz	0																			
	nicht reflektierend	0																			
	nicht korrodierend	0																			
	anti-mikrobiell	0																			
	kratzfest	0																			
	haftend	0																			
	Summe „funktionalisierte Oberflächen“:	**0**																			
Werkstoffbeschaffenheitsänderungen/neue Materialien	**bessere mechanische Beanspruchbarkeit**	10										4			1	1		2	1		1
	Gewichtsreduktion	15										4			1	2	1	3	3		1
	Volumenreduktion	12										3			1	2	1	2	2		1
	bessere thermische Eigenschaften	20										5			1	5	1	4	2	1	1
	bessere elektrische Eigenschaften	12										3			1	3	1	2		1	1
	bessere optische Eigenschaften	8										2			1	2		1		1	1
	nanoporöse Materialien	1															1				
	sonstiges	2					1				1										
	Summe „Werkstoffbeschaffenheitsänderungen/neue Materialien“:	**80**																			
Katalytische Prozesse	**durch Additive**	7					1			1			1		1			1	1		1
	durch nanoporöse Materialien	0										1									
	Summe „katalytische Prozesse“:	**7**																			
Filtrationsprozesse	**Membranen**	4					1										2				1
	nanoporöse Materialien	0																			
	Summe „Filtrationsprozesse“:	**4**																			

(Quelle: eigene Darstellung und Erhebung)

Umwelttechnik-/Umweltschutzbereiche

In der zweiten Matrix ist deutlich erkennbar, dass insbesondere in den Bereichen Energie (44), Materialeinsparung (22) sowie integrierter Umweltschutz (20) zukünftig die meisten nanotechnologischen Produkte und Verfahren für den Umweltschutz zu erwarten sind. Innerhalb des Bereichs Energie dominiert zwar, wie bei den derzeitig schon am Markt befindlichen Produkten und Verfahren, die Kategorie effiziente Energienutzung und zusätzlich noch der Bereich Energieeinsparung (jeweils 15), in den Kategorien Energiegewinnung (7) und Speicherung (7) sind jedoch ebenfalls eine Reihe von nanotechnologischen Neuerungen zu erwarten. Beim integrierten Umweltschutz überwiegt der produktintegrierte Umweltschutz (9) sowie die Systeminnovationen (8), während in der Kategorie prozessintegrierter Umweltschutz nur drei Nennungen zu verzeichnen sind.

In den Bereichen Wasser/Abwasser, Luft und Boden sowie Abfall sind in der Matrix derzeit kaum zukünftig erwartbare nanotechnologische Produkte und Verfahren verzeichnet. Dies kann jedoch nicht dahingehend interpretiert werden, dass es auf diesen Gebieten nur wenige oder sogar keine Innovationen geben wird. Vielmehr sind die sehr wenigen Nennungen in diesen Bereichen darauf zurückzuführen, dass zwar mögliche zukünftige Innovationen auch für diese Bereiche beschrieben sind, im Rahmen der hier durchgeführten Recherche jedoch keine Firmen in Deutschland identifiziert werden konnten, die an neuen Produkten und Verfahren forschen und entwickeln. Produkte und Verfahren, die bereits auf dem Markt sind und in Zukunft sehr wahrscheinlich weiterentwickelt werden, sind nicht in die zweite Matrix aufgenommen worden (s. o.).

Nanotechnologische Effekte/Funktionalitäten

Auch hinsichtlich der nanotechnologischen Effekte bzw. Funktionalitäten, welche neue oder verbesserte Produkte und Verfahren für die Umwelttechnik oder den Umweltschutz hervorbringen können, unterscheiden sich die Menge der derzeit bereits am Markt befindlichen Produkte und Verfahren stark von den zukünftig erwartbaren. Der Bereich Werkstoffbeschaffenheitsänderungen/neue Materialien ist mit 80 Nennungen der mit Abstand größte in der zweiten Matrix. Innerhalb dieses Bereichs entfallen die meisten Nennungen auf die Kategorien bessere thermische Eigenschaften (20) sowie Gewichts- (15) und Volumenreduktion (12) sowie der Bereich bessere elektronische Eigenschaften (12). In den Bereichen katalytische Prozesse und Filtration sind jeweils nur sieben bzw. vier Einträge zu verzeichnen, wobei in ersterem Bereich alle Nennungen auf die Kategorie Additive und im zweiten auf Membranen entfallen. Der Bereich funktionalisierte Oberflächen ist in der Matrix mit den in

der Forschung und Entwicklung befindlichen nanotechnologischen Produkten und Verfahren zum jetzigen Zeitpunkt gar nicht vertreten, da hier nur Weiterentwicklungen bereits bestehender Produkte und Verfahren identifiziert werden konnten.

3.3.3 Differenzierung nach Anbietern/Herstellern aus NRW und den anderen Bundesländern

Im Zuge der Identifikation von nanotechnologischen Produkten und Verfahren für die Umwelttechnik und den Umweltschutz ist eine Differenzierung dahingehend vorgenommen worden, ob das jeweilige Produkt oder Verfahren ausschließlich von Firmen in Nordrhein-Westfalen (NRW), von Firmen in NRW und anderen Teilen Deutschlands oder ausschließlich von deutschen Firmen außerhalb NRW hergestellt oder angeboten wird. Auf diese Weise sollte versucht werden, ein Bild darüber zu zeichnen, auf welchen Gebieten NRW eine starke Wettbewerbsposition besitzt bzw. wo NRW starker Konkurrenz ausgesetzt oder sogar überhaupt nicht mit Produkten oder Verfahren vertreten ist. Aus diesen Erkenntnissen sollten dann, vor dem Hintergrund anderer Informationen, wie sie ebenfalls im Rahmen dieser Studie erhoben wurden, Schlussfolgerungen entwickelt wurden, auf welche Gebiete NRW seine Aktivitäten im Bereich Nanotechnologie und Umwelt(schutz)technik konzentrieren sollte und welche Bereiche in Zukunft ein wahrscheinlich weniger großes Potenzial werden entfalten können.

Die Betrachtung der erfassten, bereits am Markt erhältlichen nanotechnologischen Produkte und Verfahren und dessen Hersteller und Anbieter zeigt (siehe Abbildung 25 auf S. 123ff), dass die meisten der identifizierten Produkte und Verfahren sowohl von Firmen aus NRW als auch von deutschen Firmen außerhalb NRW hergestellt oder angeboten werden (58 Nennungen). Allerdings gibt es auch eine nennenswerte Anzahl von Produkten und Verfahren, die ausschließlich von Firmen aus NRW hergestellt oder angeboten werden (23 Nennungen). Demgegenüber gibt es jedoch auch einige Produkte und Verfahren, zu denen zwar deutsche Hersteller oder Anbieter, aber keine aus NRW identifiziert werden konnten (37 Nennungen).

Bei der Betrachtung der zukünftig erwartbaren nanotechnologischen Produkte und Verfahren im Bereich Umwelttechnik und Umweltschutz (siehe Abbildung 26) fällt auf, das bis auf ein Produkt (photoelektrochemische Solarzelle) keine Produkte und Verfahren identifiziert werden konnten, die ausschließlich von NRW-Firmen beforscht und entwickelt werden. Zwar überwiegen auch bei den zukünftigen Produkten und Verfahren diejenigen, die sowohl in NRW als auch in anderen Teilen Deutschlands beforscht und entwickelt werden

(46 Nennungen), allerdings konnten auch solche ausfindig gemacht werden, zu denen kein Anbieter oder Hersteller aus NRW bekannt ist (16 Nennungen).

Leider lassen die gewonnenen Daten keine deutlichen Tendenzen hinsichtlich der Stellung von NRW im Vergleich zu anderen Bundesländern erkennen. Es zeigt sich lediglich, dass NRW im Allgemeinen gut vertreten ist: bei der Mehrzahl der identifizierten Produkte und Verfahren ist NRW mit herstellenden oder anbietenden Unternehmen vertreten, einige Produkte und Verfahren konnten nur für NRW-Unternehmen, andere aber auch nur für nicht aus NRW stammende Unternehmen nachgewiesen werden. Aus den relativ wenigen Produkten und Verfahren, die entweder ausschließlich oder gar nicht von NRW-Unternehmen angeboten oder entwickelt und beforscht werden, lassen sich keine Schlüsse hinsichtlich ausgeprägter Schwächen oder Stärken in bestimmten Anwendungs- oder Wirtschaftsbereichen ziehen. In keinem Umwelttechnik- bzw. Umweltwirtschaftsbereich sind NRW-Unternehmen dominant oder unterrepräsentiert; gleiches gilt für die Nanofunktionalitäten. Diejenigen Produkte und Verfahren, die entweder nur oder gar nicht von NRW-Unternehmen angeboten oder entwickelt werden, sind für sich genommen weder ökonomisch noch ökologisch so bedeutsam, dass sich deswegen nennenswerte Vor- oder Nachteile für NRW konstatieren ließen. Darüber hinaus sei darauf hingewiesen, dass die identifizierten Produkte und Verfahren ungeachtet der jeweiligen Umsätze, die heute oder in Zukunft mit ihnen erzielt werden, unterschiedslos in die Matrix eingegangen sind. Eine Bewertung ausschließlich aufgrund der Anzahl der Produkttypen kann daher keine Bewertung wirtschaftlicher Stärke oder Schwäche sein. Ebenso wenig waren Informationen zu den Erfolgsaussichten der jeweiligen sich derzeit noch in der Entwicklung befindlichen Produkte und Verfahren verfügbar und konnten daher auch nicht in die Bewertung einfließen.

Schließlich muss bei der Interpretation der oben präsentierten Daten unbedingt berücksichtigt werden, dass es sich in den meisten Fällen um Produktgruppen bzw. -typen, wie bspw. „alternative Solarzellentechnologie“, und nur selten um konkrete Produkte, wie bspw. „Straßenfräßmeisel“, handelt. Die Zahlen spiegeln also nicht wider, wie viele Produkte/Verfahren absolut in NRW oder den anderen Bundesländern angeboten bzw. beforscht und entwickelt werden. Vielmehr wird durch die aggregierte Darstellungsform deutlich, in welchen Nanotechnologie-*Bereichen tendenziell* mehr oder weniger starke Aktivitäten seitens der Unternehmen verfolgt werden und in welchen nicht.

3.4 Übersicht der Nanofunktionalitäten und deren aktuelle Bedeutung für den Umwelt- und Ressourcenschutz

Im Folgenden sollen die für die Umwelttechnik bzw. den Umweltschutz wesentlichen nanotechnologischen Produkte und Verfahren beispielhaft genannt und erläutert werden. Die Darstellung erfolgt dabei systematisch, ausgehend von den Nanofunktionalitäten, welche in den jeweiligen Produkten und Verfahren genutzt werden.

3.4.1 Oberflächenfunktionalisierung/Beschichtung

Ein bedeutender Bereich, in welchem die Entwicklung teilweise bereits weit fortgeschritten ist und derzeit die meisten Produkte am Markt etabliert sind, ist der Bereich Oberflächenfunktionalisierung/Beschichtung durch Anwendung der Nanotechnologie. Je nach Art der Oberflächenfunktionalisierung/Beschichtung können sich verschiedene positive Effekte für die Umwelt ergeben, die in den entsprechenden Anwendungen genutzt werden (vgl. insb. Heubach/Angerer 2007). Zu nennen wären hier insbesondere folgende Funktionalisierungen von Oberflächen/Beschichtungen (mit positiven Umwelteffekten).

3.4.1.1 „Easy-to-clean", Anti-Haftung und „Anti-fingerprint"

Viele Flächen von Gebäuden, Gegenständen des privaten Alltags oder auch von industriellen Anlagen werden in irgendeiner Form beschmutzt, was im besten Fall nur schlecht aussieht und im schlimmsten Fall zu einem irreparablen Schaden der Fläche und damit zu einer Beeinträchtigung oder sogar zum Totalverlust ihrer Funktion führen kann. Aus diesem Grund werden diese Flächen meist in regelmäßigen Abständen gereinigt, um das Erscheinungsbild wieder herzustellen und Schaden abzuwenden. Diese Reinigungsvorgänge sind häufig mit personellem und einigem materiellen Aufwand verbunden, der Kosten verursacht und somit ökonomisch unvorteilhaft ist. Darüber hinaus werden durch den Reinigungsprozess häufig Abwässer produziert, die Gewässer schädigende Bestandteile aus den verwendeten chemischen Reinigungsmitteln enthalten. Dies wiederum zieht Abwasserreinigungsprozesse nach sich und kann zur Freisetzung von Schadstoffen in die Umwelt führen.

Aus den genannten Gründen werden viele Anstrengungen unternommen, Beschichtungen zu entwickeln, die solche Verschmutzungen verhindern oder Reinigungsprozesse einfacher werden lassen. Entsprechende Beschichtungen werden häufig unter Begriffen wie „Easy-to-clean"-, „Anti-Haft-" oder „Anti-fingerprint-" zusammengefasst, je nach dem ob die Reinigungs-, Haft- oder andere optische Eigenschaften der jeweiligen Beschichtungen von primärer Bedeutung sind.

Alle der drei genannten Eigenschaften von Beschichtungen können mithilfe von Nanotechnologie realisiert werden. Ein Beispiel aus dem Bereich Industrieanwendungen liefert die Firma ItN Nanovation aus Saarbrücken (Saarland). Sie bietet Beschichtungen für Ofenroste sowie für Wärmetauscher von Kraftwerken an. Wenn Roste zusetzen, müssen sie sehr aufwändig frei geputzt werden, weswegen Anlagen heruntergefahren werden müssen und zeitweise ausfallen. Gleiches gilt für Wärmetauscher, die zudem durch Zusetzen ihre Effektivität verringern. Beides verursacht Kosten und senkt den Wirkungsgrad der jeweiligen Anlagen. Keramische Nanopartikel in der Beschichtung haben starke anti-haftende Wirkung und können so zwar die Anhaftung von Schlacken und Schmutz nicht gänzlich verhindern, verlängern aber Standzeiten von Anlagen deutlich.

Ein Nanoteilchen enthaltendes Spray mit Schmutz abweisender Wirkung wird von der in Essen (NRW) ansässigen, sehr bekannten Schuhfirma Deichmann zur Schuhpflege angeboten – die Nanoteilchen lassen die Schuhoberfläche Wasser abweisend (hydrophob) werden, sodass Wassertropfen abperlen und Staub und Schmutz dabei mitnehmen. Dieser Effekt wird häufig auch Lotus/Lotos[19]-Effekt genannt, denn die Lotos-Blume, eine Wasserpflanze, besitzt auf ihrer Blattoberfläche spezielle Strukturen im Nanometer-Bereich, die dafür sorgen, dass Wasser abperlt und die Blätter nur schwer verschmutzen.

Ein rein ästhetischer Effekt wird mit einer transparenten Beschichtung der Firma Ara-Coatings aus Erlangen erreicht: Diese Beschichtung kann bspw. auf polierte Metallflächen aufgebracht werden und führt zu einer Unsichtbarkeit von Fingerabdrücken. Die Fingerabdrücke, im Wesentlichen aus Fett bestehend, sind zwar auf der Oberfläche existent, werden aber mit dem menschlichen Auge nicht wahrgenommen.

Die Liste von Beispielen würde sich an dieser Stelle noch lange fortsetzen, denn vor allem in diesem Bereich der Oberflächenbeschichtung sind bereits viele Produkte auf dem Markt bzw. in der Entwicklung, wie auch aus der Matrix (vgl. Abbildung 25 S. 123) eindrucksvoll hervorgeht[20]. Abschließend muss jedoch einschränkend bemerkt werden, dass die tatsächliche Wirksamkeit sowie vor allem die Dauerhaftigkeit der jeweiligen Beschichtungen derzeit nur schwer eingeschätzt werden kann, weil entsprechende Tests unabhängiger Institute häufig fehlen und nur wenige glaubwürdige Erfahrungsberichte vorliegen. Insbesondere im Consumer-Bereich (Sprays für Textilien, Wandfarben, Holzanstriche etc.) ist sogar oft unklar, ob und welche Nanopartikel oder -strukturen überhaupt eingesetzt werden. Schließlich gibt es kaum verlässliche Informationen über den tatsächlichen Umwelteffekt solcher leicht zu

[19] Korrekt müsste es eigentlich Lotos-Effekt heißen, da der Effekt nach der Lotos-Pflanze (lateinischer Gattungsname: *Nelumbo*) und nicht nach dem Hornklee (lateinischer Gattungsname: *Lotus*) benannt ist.
[20] siehe hierzu auch den Vertiefungsfall „Oberflächenfunktionalisierung“ ab S. 7ff

reinigenden bzw. Schmutz abweisenden Beschichtungen auf Basis von Nanotechnologie. Zwar leuchtet es ein, dass theoretisch aufgrund von Selbstreinigungs-, Antihaft- oder optischen Effekten weniger Verschleiß oder Reinigung und damit positive Umwelteffekte wie Material- und Energieeinsparungen oder Verringerungen von Schadstoffeinsatz erreicht werden könnten. Ob dies in den realen Anwendungen tatsächlich der Fall ist, müsste jedoch in entsprechenden Untersuchungen erst noch geklärt werden.

3.4.1.2 UV-Schutz

Die Realisierung eines effektiven Schutzes vor ultra-violetter (UV) Strahlung des Sonnenlichts ist eine der in der Öffentlichkeit bekanntesten Anwendungen der Nanotechnologie. Denn vor allem in Sonnencremes werden Nanopartikel (aus Titandioxid) als UV-Schutz-Komponenten vielfach eingesetzt. Bspw. bietet die Duisburger Firma Sachtleben Chemie diverse Titandioxid-Nanopartikel für Sonnencremes an. Doch nicht nur die menschliche Haut nimmt Schaden durch zu hohe Dosen UV-Strahlung, sondern auch viele Materialien, die dem Sonnenlicht viel ausgesetzt sind. UV-Strahlung führt dabei bspw. zum Ausbleichen von Farben sowie bei Kunststoffen zu Brüchigkeit. Wie im Falle der Sonnencremes auch können nanopartikuläre Additive in Beschichtungen die entsprechend beschichteten Materialien vor UV-Strahlung schützen und damit zu einer längeren Haltbarkeit bzw. Lebensdauer der Produkte beitragen.

So bietet bspw. die in Wesel, Nordrhein-Westfalen ansässige Firma BYK-Chemie verschiedene Lackadditive an, welche einen UV-Schutz der lackierten Flächen garantieren. Diese Additive bestehen aus Ceroxid- bzw. Zinkoxidpartikeln mit Durchmessern zwischen 10 und sechzig Nanometern. Sie können sowohl in Möbel- oder Parkettlacken als auch in Bautenlacken Verwendung finden. Die Nanopartikel fangen die energiereiche UV-Strahlung ab und verhindern somit eine Schädigung des Lackes selbst sowie des darunter liegenden Materials.

Die Umweltschutzeffekte, welche sich durch besseren UV-Schutz erreichen lassen, sind ebenfalls eher indirekter Natur. Auf der einen Seite kann der bessere UV-Schutz zu einer längeren Lebensdauer der jeweiligen Produkte beitragen, was eine höhere Material- und Energieeffizienz bedeuten würde. Auf der anderen Seite zeichnet sich gerade der durch Nanopartikel bewirkte UV-Schutz durch hohe Dauerhaftigkeit aus, d. h., dass der jeweilige Lack nicht so häufig ersetzt bzw. erneuert werden muss, was ebenfalls zu Material- und Energieeinsparungen führen kann.

3.4.1.3 Antireflex-Beschichtungen

Eine weitere Form der Oberflächenfunktionalisierung, der unter Anwendung der Nanotechnologie realisiert werden kann, stellen Antireflex-Beschichtungen dar. Wenn Licht auf eine Oberfläche trifft, wird es in der Regel reflektiert – ein Effekt, der es uns überhaupt nur erlaubt, Dinge zu sehen. Bei transparenten Materialien durchdringt die Lichtstrahlung das Material, allerdings wird auch hier ein Teil des Lichts reflektiert, weswegen wir bspw. nicht nur durch eine Glasscheibe hindurch-, sondern auch die Glasscheibe selbst sehen können.

In vielen Anwendungen ist es jedoch erwünscht, dass möglichst keine Reflexion des auftreffenden Lichts stattfindet, jedenfalls nicht an der obersten Schicht. Ein Beispiel hierfür sind Brillengläser. Je mehr Licht unreflektiert durch die Brillengläser dringt, desto höher ist die Sehqualität für den Brillenträger. Des Weiteren können Reflexionen auf Brillengläsern auch als störend empfunden werden, und zwar sowohl von der Brillenträgerin als auch von einem Dritten, der bspw. die Augen hinter den Brillengläsern nicht mehr richtig erkennen kann. Ganz besonders lästig ist das Problem der Reflexion bei Brillengläsern beim Fotografieren, insbesondere mit Blitzlicht. Auf den Aufnahmen erscheinen dann die Brillengläser bei schlecht entspiegelten Gläsern nur als hell-weiße Flächen. Fast alle Brillenglashersteller bieten daher heute entspiegelte Gläser an, bei denen die Reflexion fast unterbunden wird.

Ein weiteres Beispiel, bei dem maximale Transmission (im Gegensatz zu Reflexion) von Licht sehr wichtig ist, sind Gläser von Solaranlagen. Sowohl bei Photovoltaikanlagen, die aus dem einfallenden Sonnenlicht Strom erzeugen, als auch bei thermischen Solaranlagen, die das Licht in Wärmestrahlung umwandeln, mindert buchstäblich jeder Sonnenstrahl, der reflektiert wird, die Strom- bzw. Wärmeausbeute und damit den Wirkungsgrad der Anlage. Wie bei Brillengläsern auch werden bei Gläsern von Solaranlagen die Oberflächen derartig behandelt, dass sie fast kein Licht mehr reflektieren.

Eine Entspiegelung kann durch eine genau definierte Nanostrukturierung der Oberflächen erreicht werden. Bei der Firma CentroSolar aus Fürth, Bayern, wird bspw. nanoporöses[21] Siliziumdioxid auf die Gläser aufgetragen. Das einfallende Licht trifft auf diese poröse Oberfläche und wird dabei so umgelenkt, dass fast keine Strahlung reflektiert, sondern fast alle Strahlung in das Innere des Glases geleitet wird. Die so erreichbare Steigerung der jährlichen Energieausbeute der Solaranlagen beträgt sechs (bei Photovoltaik) bis zehn Prozent

[21] Über die genaue Strukturierung liegen keine Informationen vor. Die Schicht selbst ist ca. 150 nm dick. Die Porösität liegt wahrscheinlich nicht unterhalb von 1 nm, sondern eher bei einigen -zig Nanometern.

(bei Solarthermie). Damit kann mehr erneuerbare Energie gewonnen und ein direkter Beitrag zum Umweltschutz geleistet werden.[22]

3.4.1.4 Korrosionsschutz

Korrosion, das heißt die nicht intendierte chemische Reaktion eines Werkstoffs mit seiner Umwelt, welche zur Schädigung des Werkstoffs führt, ist ein allgegenwärtiges Problem in sehr vielen Anwendungen. Insbesondere Metalle sind korrosionsanfällig: Ein allseits bekanntes Beispiel ist die oxidative Korrosion von Eisen, die zu Rost führt. Aber auch andere Stoffe, wie bspw. Wasser(-stoff) können korrodierend wirken.

Um nun Werkstoffe vor Korrosion zu schützen, werden diese beschichtet, wobei eine große Auswahl unterschiedlicher Beschichtungen zur Verfügung steht. Diese Beschichtungen weisen jedoch oft Eigenschaften auf, die sie insbesondere aus Umweltsicht kritisch erscheinen lassen. So enthalten sie bspw. nicht selten toxische organische Verbindungen oder Schwermetalle. Durch Abrieb oder am Ende des Lebenszyklus' des beschichteten Produktes können diese Substanzen in die Umwelt gelangen und dort Schäden anrichten.

Eine vielversprechende Alternative, welche auf Nanotechnologie basiert, wird von der in Düsseldorf (NRW) ansässigen Firma Henkel angeboten und heißt „Bonderite NT". Bonderite NT stellt eine keramische Vorbehandlung einer Metalloberfläche dar. Die Metallflächen sind zu diesem Zeitpunkt schon durch andere Verfahren vorbehandelt und auch nach dem Auftragen von Beonderite NT erfolgen weitere Behandlungsschritte, wie bspw. das Lackieren. Im Bonderite NT-Verfahren werden Stahl-, Zink- oder Aluminiumoberflächen in einem Tauchbad mit einer Zirkonflourid-Nanopartikel[23] enthaltenden Schicht überzogen. Diese stellen einen besonders hohen Korrosionsschutz sicher und bieten darüber hinaus noch eine Reihe weiterer ökonomischer und ökologischer Vorteile gegenüber herkömmlichen Korrosionsschutzbeschichtungen. Zu den ökonomischen Vorteilen zählen laut Henkel[24]:

- „Beschichtung bei Raumtemperatur (kein Aufheizen erforderlich)
- kurze Kontaktzeit
- keine Passivierung erforderlich
- keine Konditionierung/Aktivierung erforderlich
- deutlich reduzierter Entsorgungsaufwand
- niedrige Investitionskosten für Anlagen-Neuinstallationen".

[22] Das Auftragen der Nano-Antireflex-Beschichtung ist jedoch ein energieintensiver Prozess. Wann sich dieser Energieaufwand durch die erhöhte Energieausbeute amortisiert, ist nicht bekannt, da keine entsprechenden Öko-Bilanzen vorliegen.
[23] Die genaue Struktur und Größe der Partikel ist den Autoren nicht bekannt.
[24] www.bonderitent.com

Ökologische Vorteile sind laut Henkel[25]:

- „komplett phosphatfrei
- CSB[26]- und BSB[27]-frei
- frei von toxischen Schwermetallen
- geringer Chemikalienaufwand
- Schlammentsorgung und aufwändige Anlagenreinigung werden minimiert".

Bonderite NT kommt dabei für eine große Bandbreite an Metallprodukten infrage. Erfahrungen, die sowohl die ökonomischen als auch die ökologischen Vorteile belegen, liegen laut Henkel bereits in einigen Fällen vor. So fand Bonderite NT bereits erfolgreich Anwendung bei Büromöbeln, Hausgeräten und Heizungs-/Lüftungs-/Klimaanlagen.[28]

3.4.1.5 Schutz gegen Mikroben

Anti-mikrobielle Beschichtungen auf Basis von Nanotechnologie sind neben „Easy-to-clean"-Beschichtungen die wohl am meisten schon verbreiteten nanotechnologischen Anwendungen überhaupt. Eine ganze Reihe von Firmen bietet diesbezüglich schon Produkte und Verfahren an.

In fast allen Fällen beruht die anti-mikrobielle Wirkung dabei auf (Nano-)Silberpartikeln. Schon seit langem ist bekannt, dass das Metall Silber eine Keim tötende Wirkung hat. Diese wird durch positiv geladene Silber-Ionen hervorgerufen, die vom Feststoff abgegeben werden und u. a. das Zellwandwachstum von Bakterien und anderen Mikroerregern stört, so dass diese nicht überlebensfähig sind auf Silberoberflächen. Der anti-mikrobielle Effekt geht also von dem Metall aus, selbst wenn dieses nicht in nano-partikulärer Form vorliegt: Auch Silberbesteck oder Silberschmuck kann so gut wie gar nicht von Mikroben besiedelt werden.

Der Vorteil von nanoskaligem Silber liegt aber nun darin, dass Silber als teures Edelmetall überhaupt erst in vielen, vor allem auch Low-cost-Anwendungen eingesetzt werden kann. Denn aufgrund der Nanoskaligkeit kann Silber gleichmäßig und dicht genug auf Oberflächen von Kunststoffen oder anderen Metallen verteilt werden, ohne dass aber eine insgesamt große und damit teure Menge Silbers benötigt würde. Für die anti-mikrobielle Wirkung ist eine solche kleine Menge aber ausreichend, solange genügend Silberpartikel in genügend kleinem Abstand an der Oberfläche zur Verfügung stehen.

[25] ibid.
[26] „Chemischer Sauerstoffbedarf": Sauerstoff, der zum Abbau dieser Substanz im Abwasser benötigt wird. Je geringer dieser Wert ist, desto besser.
[27] „Biologischer Sauerstoffbedarf": ähnlich wie CSB
[28] www.bonderitent.com

Bei Anwendungen, wo es auf die optische Erscheinung einer Oberfläche ankommt, hat nanoskaliges Silber zudem den Vorteil, dass es die Farbeigenschaften bspw. einer silberhaltigen Farbe nicht beeinträchtigt. Bei größeren Partikeln, bspw. im Mikro-Bereich, würde bspw. bei einer weißen Wandfarbe eine Gelbfärbung eintreten.[29]

Wie bereits erwähnt, gibt es derzeit schon eine Vielzahl von Firmen, die Produkte und Verfahren im Bereich anti-mikrobieller Beschichtungen auf Basis von Nano-Silberpartikeln anbieten. Beispielsweise bietet die Firma Bioni CS aus Oberhausen (NRW) verschiedene Wand- und Fassadenfarben mit nanoskaligem Silber als Schutz gegen mikrobiellen Befall an. Deren Farben enthalten Silber-Nanopartikel-Komplexe von ca. 10 nm Größe. Entwickelt wurden die Wirk-Komplexe in den Bioni CS-Farben gemeinsam mit dem Fraunhofer Institut für Chemische Technologie (ICT) in Pfinztal, Baden-Württemberg. Geprüft und getestet hat die Wirksamkeit sowie gesundheitliche und Umwelt-Unbedenklichkeit der Farben u. a. der TÜV Produkte und Umwelt Köln.

Als positiver Umwelteffekt, der aus der Anwendung von Nano-Silber als Schutz gegen Mikroben erwachsen könnte, wäre zunächst die Substituierung anderer, vor allem chemischer Mittel gegen Mikroben zu nennen. Diese enthalten in der Regel toxische organische Verbindungen oder Schwermetalle, die in der natürlichen Umwelt Schaden anrichten können. Ob und inwieweit jedoch eine massenhafte Anwendung von nanoskaligem Silber tatsächlich weniger umwelt- oder gesundheitsgefährlich ist als konventionelle Mittel gegen Mikroben, muss erst noch in entsprechenden Studien geklärt werden. Zumindest aber für die erwähnten Produkte der Firma Bioni CS scheinen Tests aber zu zeigen, dass das Silber in Polymer-Matrizen fest eingebunden ist und somit zunächst nicht in die Umwelt gelangt. Trotzdem kann es seine anti-mikrobielle Wirkung zeitigen.

Ein zweiter möglicher positiver Umwelteffekt ist eher indirekter Natur. So wäre es denkbar, dass anti-mikrobielle Beschichtungen auf Basis von Nano-Silber Reinigungs- oder Erneuerungsprozesse der beschichteten Oberflächen überflüssig machen – ähnlich wie bei den oben genannten „Easy-to-clean"-Beschichtungen. Denn zumindest bei Fassaden stellt der Bewuchs mit Pflanzen, Pilzen und Algen einen Grund dar, Fassadenanstriche zu erneuern, da ansonsten die Schutzfunktion der Fassade (bspw. vor Feuchtigkeit) gefährdet ist. Tritt nun eine Verzögerung oder gar ein Ausbleiben des Bewuchses ein, können Material und Energie zur erneuten Beschichtung der Fassade eingespart und damit ein positiver Umwelteffekt erzielt werden. Ob und in welchem Umfang solche positiven Umwelteffekte mit anti-mikrobiellen Beschichtungen einhergehen, muss jedoch ebenfalls erst noch untersucht werden.

[29] persönliche Kommunikation mit Fa BioniCS am 7. Mai 2007

3.4.1.6 Kratzfestigkeit

In vielen Bereichen werden Produkte beschichtet, bspw. mit Lacken, aus ästhetischen Gründen oder um die darunter liegenden Schichten oder Werkstoffe zu schützen. In beiden Fällen sind Beschädigungen der Beschichtung unerwünscht, so auch Kratzer. Durch Beimischung bestimmter nanopartikulärer[30] Zusätze in Beschichtungen kann die Kratzfestigkeit erhöht werden, was die entsprechenden Werkstoffe/Materialien länger schützt bzw. gut aussehen lässt.

Ein Beispiel hierfür ist ein nanopartikuläres Additiv der nordrhein-westfälischen Firma BYK-Chemie, das in Holzlacken eingesetzt wird. So bleiben Lackierungen bspw. von Holzfußböden länger intakt. Ein weiteres Beispiel sind Kunststoffbeschichtungen der Firma NANO-X aus Saarbrücken, die bspw. auf so beanspruchten Flächen wie Head-up-Displays zum Einsatz kommen. Ein drittes Beispiel kommt von der Firma inocermic mit Sitz in Hermsdorf, Thüringen. Hier werden Beschichtungen für Acrylglas/Plexiglas auf Grundlage von Siliziumdioxid-Nanopartikeln hergestellt.

Mit einer erhöhten Kratzfestigkeit von Beschichtungen kann auch ein Umweltnutzen verbunden sein. Denn zum einen kann die Nutzungsdauer der beschichteten Produkte durch solche kratzfesteren Lacke evtl. erhöht werden, was indirekt Material- und Energieeinsparungen bedeuten würde. Zum anderen müssten die jeweiligen Produkte nicht oder nicht so häufig neu lackiert werden, was ebenfalls zu Material- und Energieeinsparungen führen würde. Außerdem fallen bei Lackierprozessen häufig schadstoffhaltige Abwässer an, die aufwendig gereinigt werden müssen. Durch kratzfestere Lacke könnten also auch über die Abwasservermeidung Schadstoffeinträge in die Umwelt verringert werden.

3.4.2 Werkstoffbeschaffenheitsänderungen/Neue Materialien

Neben dem gezielten Einstellen von Eigenschaften und Funktionen von Oberflächen mithilfe von Nanotechnologie, stellt auch das Gebiet Werkstoffbeschaffenheitsänderungen und Neue Materialien ein Feld dar, auf dem intensiv nach nanotechnologischen Lösungen geforscht wird und auch schon einige Produkte und Verfahren am Markt sind. Einige dieser Ansätze und deren möglicher positiver Umweltbeitrag sollen im Folgenden beispielhaft erläutert werden.

[30] im Bereich von 100 nm oder darunter

3.4.2.1 verstärkte/bessere mechanische Beanspruchbarkeit

In einer großen Zahl von Anwendungen kommt es wesentlich darauf an, dass die verwendeten Werkstoffe großer mechanischer Beanspruchung standhalten. Hierzu zählen Bruchfestigkeit ebenso wie Zug- oder Abriebfestigkeit. Der Einsatz der Nanotechnologie bietet hier Möglichkeiten, diese Eigenschaften von Werkstoffen gezielt zu verbessern.

Eine große Bedeutung soll aller Voraussicht nach in diesem Zusammenhang den so genannten Kohlenstoff-Nanoröhrchen (Englisch: „carbon nano-tubes"; CNT) zukommen. Die CNT selbst verfügen über hervorragende Eigenschaften, welche sie gegenüber vielen anderen Materialien überlegen macht. So sind CNT reißfester als Stahl, aber deutlich leichter. Außerdem besitzen sie eine extrem gute Leitfähigkeit für Strom und Wärme. Sie lassen sich aber sowohl als elektrische Leiter als auch als Halbleiter einsetzen – je nach Konfiguration.

Bindet man nun diese CNT in andere Materialien, wie bspw. Kunststoffe, ein, so übertragen sich die guten Eigenschaften der CNT zumindest tlw. auch auf die Trägermaterialien. Erste Anwendungen finden sich u. a. im Sportgerätebereich. Hier sind bspw. die von der Firma Bayer produzierten CNT („Baytubes") in Tennis-, Baseball- und Hockeyschläger sowie in Skier integriert worden, was diese nicht nur widerstandsfähiger gegen Stöße, sondern auch leichter machte, was in allen genannten Anwendungen ein entscheidender Vorteil ist. Langfristig sollen die CNT aber auch in andere Materialien eingebaut und damit auch für andere Anwendungen verwendet werden. So sollen Baustoffe für Gebäude stabiler und leichter werden und damit neue und höhere Konstruktionen ermöglichen. So wurde bspw. von einem Studierenden-Team der Universität Siegen 2007 erstmals die Verwendung von CNT in Beton am Beispiel eines Beton-Kanus erfolgreich getestet[31]. Auch im Automobilbereich könnten festere und gleichzeitig leichtere Werkstoffe einen erheblichen Umweltvorteil bringen, weil feste Materialien die Sicherheit erhöhen und leichtere zu weniger Kraftstoffverbrauch führen. Wann diese Anwendungen jedoch realisiert werden, kann derzeit nur schwer abgeschätzt werden. Denn sowohl die Herstellung als auch die Integration in andere Materialien von CNT ist nicht trivial und es müssen noch einige technologische Herausforderungen gemeistert werden, bis der großtechnische Einsatz erfolgreich gelingt.

Neben CNT können auch andere Stoffe in nanoskaliger Form als Additive zum Einsatz kommen und dadurch die mechanischen Eigenschaften bestimmter Materialien entscheidend verbessern. So verwendet bspw. die Firma Dyckerhoff (Wiesbaden, Hessen) in ihrem „ultra high performance cement" (UHPC) „Nanodur" Kieselsäurepartikel mit einem Partikeldurchmesser von weniger als 100 nm (nicht aggregiert). Diese Kieselsäurepartikel werden von der

[31] http://www.uni-siegen.de/fb8/bwc/aktuelles/kanu.html

Chemiesparte Degussa der Evonik (Essen, NRW) hergestellt (Markennamen Aerosil und Sipernat) und steigern als Betonzusatzstoff die Festigkeit des Betons.

Auch das so genannte „Carbon Black“ (CB), feinste Kohlenstoffpartikel, kommen in verschiedenen Materialien als Zusatzstoffe zum Einsatz. CB wird aus Ruß gewonnen und wird bspw. Reifengummi zugesetzt, um bspw. dessen Abriebfestigkeit zu erhöhen. CB wird bereits seit über 100 Jahren u. a. von Degussa (Evonik) in Köln (seit 1862) produziert und in der Gummiherstellung verwendet. Damit ist CB deutlich älter als die Nanotechnologie. Allerdings hat sich auch die CB-Herstellung erst über die vielen Jahrzehnte zu dem entwickelt, was sie heute ist: Partikelgrößen und -eigenschaften können heute gezielt eingestellt und damit auf ihre jeweilige Anwendung hin optimiert werden.

Ein weiterer Bereich, in dem durch die Miniaturisierung bis hin zu Nanometer kleinen Strukturen mechanische Eigenschaften von Materialien verbessert werden, sind extrem dünne Solarzellen. Zwar werden hier nur selten Strukturen unterhalb der oft genannten 100-Nanometer-Grenze realisiert. Dennoch führt die Verkleinerung von Schichten bis deutlich unter einem Mikrometer (1.000 Nanometer) zu Vorteilen, die gerade auch auf eben dieser Verkleinerung beruhen. Polymer-Solarzellen können so bspw. von „Rolle zu Rolle“ (Englisch: „roll-to-roll“) produziert werden, d. h., ein hauchdünner, auf einer Trommel aufgerollter Plastikfilm wird abgerollt, durch eine Beschichtungsanlage hindurchgeführt und auf der anderen Seite wieder aufgerollt. Dies spart Material und vor allem werden so der Transport und die Lagerung der Solarfilme deutlich vereinfacht, was letztlich auch indirekt Material (bspw. für Lagerhallen) und Energie (bspw. für Straßen-/Schienentransport) einspart. Schließlich haben solch dünne und flexible Solarzellen den Vorteil, vielseitiger einsetzbar zu sein. So können sie bspw. in Textilien eingearbeitet werden (bspw. Zelte) oder an Fassaden gehängt werden – bei transparenten Polymer-Solarzellen sogar in Fensterscheiben integriert. Herkömmliche Silizium-Solarzellen sind dafür viel zu schwer und in sich auch nicht flexibel.

Wenngleich sich solche extrem dünnen Solarzellen größtenteils noch im Stadium der Forschung und Entwicklung befinden, sind sie doch eine vielversprechende Alternative zu Siliziumsolarzellen. Die Firma Solarcoating aus Dormagen, NRW, bietet bereits heute Beschichtungsanalgen speziell für Polymer- und andere Solarzellen der „Roll-to-roll“-Produktion an. Mit diesen Anlagen können Schichtdicken zwischen 100 und 200 Nanometer erreicht werden. Auch Nanopartikel können mit diesen Anlagen auf entsprechende Substrate aufgebracht werden.

3.4.2.2 Gewichtsreduktion

Häufig einhergehend mit anderen Eigenschaftsverbesserungen mithilfe von Nanotechnologie ist eine Verminderung des spezifischen Gewichts von Materialien und Werkstoffen. So lassen sich viele der im vorangegangenen Unterkapitel dargestellten Beispiele auch unter dem Aspekt Gewichtsreduzierung diskutieren. Wie erwähnt, sind CNT mechanisch deutlich widerstandsfähiger als die meisten anderen bekannten Materialien, gleichzeitig aber auch deutlich leichter. Dieser Vorteil überträgt sich tlw. auch auf die entsprechenden CNT-Produkte, wie bspw. Sportgeräte oder Baumaterialien.

Ein konkretes Beispiel für Gewichtsreduktion ist eine von der Firma Bayer (Leverkusen, NRW) entwickelte Kunststofffolie. Diese kann aufgrund des Einsatzes von CNT ca. 10 % dünner und leichter hergestellt werden. Die sonstigen Eigenschaften werden jedoch beibehalten oder sogar gesteigert.

Besonders interessant aus Sicht des Umwelt- und Ressourcenschutzes wäre der Einsatz von bspw. CNT in Werkstoffen für mobile Anwendungen. Denn bei Autos, aber auch bei Flugzeugen und anderen Transportgeräten hängt der Energieverbrauch direkt vom Fahrzeuggewicht ab. Das Fahrzeuggewicht lässt sich aber nur durch einfache Materialeinsparung (also durch Weglassen) nicht beliebig leichter machen. Denn andere Funktionen, insbesondere die Fahrzeugsicherheit betreffend, müssen ebenfalls voll erfüllt werden. Gelingt es nun, wie geplant, CNT auch in Karosseriebauteile von Autos oder auch Flugzeugen zu integrieren und dabei das Gewicht zu reduzieren, ohne aber die Steifigkeit oder Bruchfestigkeit etc. zu beeinträchtigen, könnten große Potenziale für die Kraftstoffeinsparung gehoben werden.

Auch im Bereich Energiegewinnung ist vorgesehen, CNT in Werkstoffen einzusetzen. So könnten bspw. Rotorblätter von Windkraftanlagen gleichzeitig größer, stabiler und leichter gebaut werden. Die Anlagen würden so noch effizienter erneuerbare Energie produzieren. Diese und die anderen genannten Anwendungen sind in ihrer Entwicklung noch nicht so weite fortgeschritten wie bspw. die Baseball- oder Hockeyschläger mit CNT von Bayer. Dies lag u. a. an der schwierigen und teuren Produktion der CNT, die zudem nur in kleinen Mengen bei ausreichender Qualität möglich war. Nicht nur Bayer sind aber im Begriff, die Produktionsprozesse zu optimieren und die Produktionsanlagen zu vergrößern, sodass durchaus erwartet werden kann, CNT in Automobil- oder Flugzeugbauteilen oder Rotorblättern von Windkraftanlagen zu finden.

3.4.2.3 Volumenreduktion und verbesserte thermische Eigenschaften

Ein Beispiel für die Möglichkeit, mithilfe von Nanotechnologie auch thermische Eigenschaften von Materialien zu verbessern, sind Wärmeisolierungen. Diese werden heute typischerweise über Glaswolle, Styropor oder verwandte Materialien realisiert. Die Dämmeigenschaften dieser Isoliermaterialien sind jedoch immer noch nicht ausreichend und es geht nach wie vor sehr viel Energie über Wärme an die Umwelt verloren.

Des Weiteren sind Glaswolle und Styropor vergleichsweise leichte, dafür aber sehr voluminöse Materialien, was gerade bei der Wärmeisolierung auch deren Wirkprinzip geschuldet ist. Denn eigentlich ist es weniger die Glaswolle oder das Styropor selbst, das isoliert, d. h. den Wärmetransport unterbindet, sondern vielmehr die in den Zwischenräumen eingelagerte Luft. Je dicker die Luftschicht ist und je mehr Luft-/Feststoffschichten es gibt, desto besser wird Wärme am Durchdringen der Isolierung gehindert. Neben den architektonischen und bautechnischen Nachteilen, die eine solche Wand verdickende Isolierung bspw. im Gebäudebereich mit sich bringt, entstehen auch hohe Umweltlasten beim Transport dieser Glaswollmatten bzw. Styroporplatten. Denn aufgrund ihres großen Volumens können nur verhältnismäßig wenige Platten oder Matten, die letztlich nur eine relativ kleine Fläche am Gebäude abdecken können, in einer LKW-, Eisenbahn- oder Schiffsladung transportiert werden. Der Energiebedarf pro Quadratmeter Isolierung ist also relativ hoch.

Eine vielversprechende Alternative, was sowohl den Dämmgrad als auch das Volumen betrifft, zu herkömmlichen Isolierungen bilden sogenannte Aerogele. Sie leiten Wärme noch sehr viel schlechter als alle anderen bekannten Isoliermaterialien und können daher bei gleicher Dämmleistung sehr viel dünner sein. Aerogele sind extrem poröse Strukturen aus Silizium-Dioxid, d. h., auf sehr wenig Feststoff kommt sehr viel Hohlraum. Das Silizium-Dioxid liegt im Aerogel in nur wenige Nanometer dünnen, faserartigen aber festen Strukturen vor, die wie in Sträuchern verästelt sind: in den Zwischenräumen befindet sich Luft. Dadurch sind Aerogele fast transparent, extrem leicht, aber dennoch widerstandsfähig gegen mechanische Stöße sowie gegen chemische Veränderungen durch andere Stoffe. Die Wärmeleitfähigkeit von Aerogelen ist so gering, weil sie fast nur aus Gas (Luft) gefüllten Zwischenräumen bestehen. Diese leiten Wärme sehr schlecht, insbesondere dann, wenn sich viele kleine Kammern ausbilden und die Wärme immer wieder vom Gas in den Feststoff und wieder ins Gas usw. „übergehen“ muss. Dieses Prinzip liegt auch den konventionellen Dämmmaterialien zugrunde, nur das dort die einzelnen Kammern viel größer sind und insgesamt mehr Feststoff vorhanden ist, durch welchen die Wärme leichter und schneller übertragen wird.

Produziert werden Aerogele heute schon, bspw. in Frankfurt am Main von der US-amerikanischen Firma Cabot. Aufgrund der optischen Eigenschaften des Aerogels – ca. 75 % des Lichtes dringen durch das Aerogel hindurch, sodass es aussieht wie Milchglas – sollen die Aerogele von Cabot nicht nur Wände isolieren, sondern auch als energieeffizientere Fenster einsetzbar sein. Der Vorteil wäre, dass großflächig Dächer oder Wände durch Aerogelplatten ersetzt werden könnten, sodass mehr Tageslicht in die jeweiligen Gebäude dringen und weniger künstliche, energieintensive Beleuchtung benötigt würde. Zwar sind schon heute, meist aus ästhetischen Gründen, Fassaden großteils aus Glas, allerdings stellt dieses eine sehr schlechte Isolierung dar und viel Wärme geht über Fenster an die Umwelt verloren. Aerogele hingegen würden die Vorteile von Glas- und Steinfassaden verbinden.

Einen etwas anderen Weg geht die BASF aus Ludwigshafen (Rheinland-Pfalz). Sie entwickeln derzeit einen festen Schaum aus Kunststoff, dessen „Blasen“ nur einige Nanometer groß sind. Das Isolierprinzip ist im Wesentlichen dasselbe wie bei allen anderen Isoliermaterialien auch. Allerdings sind die Blasen in dem Nanoschaum so klein, dass selbst die Bewegungen der darin enthaltenen Gasmoleküle eingeschränkt sind, so dass die Wärmeleitung verhindert wird. Auch dieser Nanoschaum würde sehr viel dünnere Isolierungen mit höherer Dämmleistung ermöglichen und damit einen Beitrag zur Einsparung von Material und Energie leisten.

3.4.2.4 Verbesserte elektrische und optische Eigenschaften

Sogenannte „light emitting diodes“ (LED) und „organic light emitting diodes“ (OLED) produzieren aus elektrischem Strom Licht, ohne jedoch dabei viel Wärme freizusetzen, wie dies bei herkömmlichen Glühlampen der Fall ist. Letztere wandeln mehr als 90 % der zugeführten Energie in meist nutzlose Wärme um anstatt in Licht, sodass deren Wirkungsgrad bei nur etwa 5 % liegt. LED (und OLED) schneiden hier sehr viel besser ab mit Wirkungsgraden von 20 bis 30 %. Mithilfe von LED und OLED könnte also viel Energie gespart werden.

Das „Nanotechnologische“ an LED und OLED sind die sehr dünnen Schichten verschiedener Halbleiter- und anderer Materialien, die in diesen Geräten eingesetzt werden. Zwar liegen die Schichtdicken meist deutlich über 100 Nanometer, bewegen sich aber in der Regel im Sub-Mikron-Bereich und werden daher der Nanotechnologie zugeordnet. Die dünnen Schichten sind erforderlich, damit LED und OLED überhaupt funktionieren, weswegen versucht wird, die Schichtdicken weiter zu verringern.

Viele Firmen beschäftigen sich derzeit mit der Entwicklung von LED und OLED und insbesondere bei den LED gibt es schon eine Reihe von Produkten auf dem Markt. Beispiele sind der große Leuchtmittel-Hersteller Osram mit Sitz in München (Bayern) oder Hella aus

Lippstadt, NRW, der bereits verschiedene LED für Autoscheinwerfer anbietet. Die ebenfalls in NRW (Solingen) ansässige Firma Zweibrüder bietet diverse Taschenlampen mit leuchtstarken LED.

Auch im Bereich der Solarenergietechnik gibt es viele nanotechnologische Ansätze, die Leistungsfähigkeit und Einsatzmöglichkeiten bspw. von Solarzellen zu vergrößern. Bei so genannten Quantum-Dot-Solarzellen werden die Halbleiterschichten, in denen aus der Lichtstrahlung elektrischer Strom gewonnen wird, zur Verbesserung der Umwandlung kleinste „Verunreinigungen" eines anderen (Halbleiter-)Materials eingebracht. Diese Verunreinigungen bestehen meist aus nur jeweils einigen Hundert Atomen und sind in „Punkten" („Quantum-Dots") möglichst gleichmäßig in der photoaktiven Schicht verteilt.

Auch bei der Farbstoff-Solarzelle, die häufig auch nach ihrem vorrangigen Entwickler Prof. Michael Grätzel von der EPF Lausanne (Schweiz) „Grätzel-Zelle" genannt wird, kommen nanoskalige Komponenten zum Einsatz. Der Farbstoff in der Grätzel-Zelle absorbiert das Licht und setzt dabei Elektronen frei, die direkt in eine aus Titandioxid bestehende Elektrode abgegeben werden. Dieser Vorgang funktioniert nur in der Kombination Farbstoff-Titandioxid. Um nun überhaupt nennenswerte Mengen von Elektronen gewinnen zu können, ist das Titandioxid sehr porös, mit Porengrößen unterhalb von 100 nm. So ergibt sich eine möglichst große Oberfläche von Titandioxid, die gleichzeitig Kontaktfläche zum Licht absorbierenden Farbstoff ist. Auf diese Weise können genug Elektronen gewonnen werden, um einen ausreichenden Stromfluss zu generieren.

Des Weiteren gibt es eine Reihe von Polymer basierten und anderen organischen Solarzellen, die sich jedoch meist noch im Stadium der Grundlagenforschung befinden und erst mittel- bis langfristig Marktreife erreichen werden. Es sind aber vielversprechende Konzepte, die einige der Nachteile von Silizium- oder Halbleitermetall-Solarzellen wettmachen. So wären die Grundmaterialien der organischen Solarzellen in großen Mengen und kostengünstig verfügbar, während es bei dem hochreinen Silizium und anderen Stoffen wie Indium, Gallium, Selen etc. der herkömmlichen Solarzellen bereits Knappheiten gibt, welche die Preise nach oben treiben. Darüber hinaus könnten Polymer-Solarzellen auf unterschiedliche Trägermaterialien in einem „roll-to-roll"-Verfahren gedruckt werden, was wiederum kostengünstig ist. Zudem ergeben sich sehr viel leichtere und in sich flexible Solarzellen, die in Anwendungen eingesetzt werden können, für die Silizium basierte nicht infrage kommen, wie bspw. Fassaden oder Textilien.

Gemein ist den genannten alternativen Solarzellenkonzepten, dass in ihnen sehr kleine Strukturen zum Einsatz kommen, wenngleich diese nicht immer unterhalb der 100 nm Grenze

liegen (die Filme der Polymer-Solarzellen sind bspw. zwischen 100 und 200 nm dick). Daher werden diese Ansätze häufig auch der Nanotechnologie zugeschrieben. Neben einer Reihe anderer Vorteile, ermöglicht die Miniaturisierung einen effizienteren Einsatz von Material und trägt damit zum Umweltschutz bei. Außerdem dienen Solarzellen ja der Gewinnung erneuerbarer Energie, was ebenfalls positive Umwelteffekte nach sich zieht.

3.4.3 Katalytische Prozesse

Wie auch im Vertiefungsfall „Katalyse“ (siehe ab S. 284ff) dieser Studie ausführlich dargelegt, stehen katalytische Prozesse im Zentrum der nanotechnologischen Forschung und Entwicklung. Insbesondere die erstaunlichen katalytischen Eigenschaften bestimmter Stoffe wie bspw. Gold, die sich erst dann zeigen, wenn der Stoff in Partikeln von nur einigen Nanometern Durchmesser vorliegt, haben maßgeblich zu dem hohen Interesse, das der Nanotechnologie entgegengebracht wird, beigetragen.

Katalyse meint einen chemischen Reaktionsprozess, bei dem ein dritter Stoff beteiligt ist, der jedoch unverändert aus der Reaktion hervorgeht. Ohne diesen Stoff, der Katalysator genannt wird, würde die Reaktion nur extrem langsam oder unter hoher Energiezufuhr stattfinden. Ein Katalysator hilft also in vielen Fällen, Energie zu sparen.

Da die katalytischen Reaktionen an den Grenzflächen zwischen Katalysator und Reaktand(en) stattfinden, ist es grundsätzlich vorteilhaft, wenn der Katalysator eine möglichst große Oberfläche bereitstellt. Daher ist man seit jeher bestrebt, bei festen Katalysatoren entweder sehr kleine Partikel oder sehr poröse Strukturen einzusetzen. Nicht zuletzt mithilfe nanotechnologischer Herstellungsverfahren gelingt es mehr und mehr, immer kleinere Partikel bzw. Poren zu realisieren, was sich positiv auf die jeweiligen katalytischen Reaktionen auswirkt. Geforscht und entwickelt wird dabei an einer ganzen Reihe von Katalysatormaterialien und Reaktionen, die tlw. im Vertiefungsfall „Katalyse“ aufgelistet sind.

Ein für die Umwelttechnik besonders interessanter Bereich der Katalyse ist die Grundwassersanierung mithilfe von nanopartikulärem Eisen. Insbesondere unter ehemaligen Industriestandorten befinden sich Schadstoffe im Grundwasser, welche die Trinkwasserversorgung gefährden. Wird nun (nanopartikuläres) Eisen in das Grundwasser gepumpt, hilft es als Katalysator, vor allem organische Schadstoffe zu zersetzen. Die Nanoskaligkeit hat auch hier den Vorteil, dass besonders viel katalytisch wirkende Oberfläche zur Verfügung steht. Erste Feldversuche mit Nano-Eisen sind in Nordrhein-Westfalen, wo sich besonders viele Industrie-Altlasten befinden, durchgeführt worden. Die Ergebnisse dieser Feldversuche sind laut Altlastensanierungsverband NRW (AAV) positiv, wenngleich es noch einige Probleme zu

lösen gilt, bevor diese Technik breit angewendet werden kann.[32] Unter anderem ist die Verfügbarkeit des Nanoeisens nicht gewährleistet – die im genannten Feldversuch verwendeten Nanopartikel mussten aus Japan importiert werden, sind sehr teuer und nur wenige Monate lagerfähig. Nicht zuletzt muss hier auch noch geklärt werden, ob die Nanopartikel im Grundwasser nicht neue Gefahren für die Umwelt produzieren, auch wenn es dafür bisher noch keine Anhaltspunkte gibt.

Mittlerweile gibt es auch erste Produkte auf dem Markt, in denen nanoskalige Katalysatoren eingesetzt werden. So bietet bspw. die Firma HJS-Filtertechnik aus Menden (NRW) Sinter-Metall-Filter für Dieselabgassysteme an, die durch eine spezielle Beschichtung des Nanotech-Unternehmens NANO-X (Saarland) vor Hochtemperatur-Korrosion geschützt werden. Gesintertes Metall besteht aus kleinsten Metallpartikeln, die unter Druck und hoher Temperatur zusammen „gebacken“ (gesintert) werden. So ergeben sich zwischen den Metallpartikeln kleinste Zwischenräume, die als Filter wirken. Soll der Filter nun zusätzlich als Katalysator eingesetzt werden, um Luftschadstoffe wie Kohlenmonoxid oder Stickoxide zu ungefährlichen Stoffen umzusetzen, werden katalytische Metalle wie Platin verwendet. Diese sind jedoch extrem teuer und können daher nur in sehr kleinen Mengen eingesetzt werden. Liegen diese Katalysatoren nun als Nanopartikel vor, werden gleich drei Vorteile realisiert: Erstens steht bei der gleichen Masse des Katalysators (bspw. 1 g) sehr viel mehr Oberfläche und damit Reaktionsfläche zur Verfügung. Zweitens können die Partikel dichter auf der riesigen Filteroberfläche verteilt werden, da pro Masseeinheit mehr Partikel vorhanden sind. Drittens schließlich würden größere Partikel die kleinen Zwischenräume des Filters verstopfen, anstatt nur deren Oberfläche zu besetzen, was sich negativ auf die Arbeit des Filters auswirken würde.

Ein Bereich, in den hohe Erwartungen gesetzt werden, ist die Gewinnung von Wasserstoff in katalytischen Reaktionen. Auf diese Weise könnte mit relativ geringem Energieaufwand Wasserstoff gewonnen und der fossile Kraftstoff Öl substituiert werden. Die Firma ODB-Tec aus Neuss (NRW) bspw. arbeitet an einem besonders umweltfreundlichen Konzept: Sie entwickelt eine photochemische Solarzelle, die aus Sonnenlicht mithilfe eines Katalysators aus Wasser Wasserstoff erzeugen soll. Bei dieser Entwicklung kommt Nanotechnologie gleich in mehrerer Hinsicht zum Einsatz. Zum einen ist der Katalysator nanostrukturiert. Aber auch die verwendete Elektrode ist dotiert, das heißt mit kleinsten, nanometergroßen „Verunreinigungen“ versetzt, was deren Funktion überhaupt erst ermöglicht. Sollte die erfolgreiche Umsetzung dieses Konzepts gelingen, würde aus Sonnenenergie und Wasser ein Kraftstoff

[32] Persönliche Kommunikation mit Dr. Hoffmann vom AAV.

gewonnen, der in Brennstoffzellen wieder zu Wasser „verbrennen“ würde und dabei elektrischen Strom produziert. Der wiederum könnte in Elektroautos oder anderen elektrischen Geräten genutzt werden.

Eine weitere, bereits auf dem Markt befindliche Anwendung nanotechnologischer Katalyse wird von der Firma ItN Nanovation (Saarbrücken, Saarland) angeboten. Dabei handelt es sich um eine poröse Keramikbeschichtung mit katalytischer Wirkung, die Öle und Fette zersetzt. Diese wird bspw. in Backöfen eingesetzt und bewirkt somit eine Art Selbstreinigung. Die Ablagerungen an den Backofenwänden werden bei Hitze zusammen mit Sauerstoff an der Katalysatoroberfläche abgebaut. Diese Oberfläche ist sehr porös mit Porendurchmessern im Nanometerbereich und macht damit diese Wirkung überhaupt erst möglich.

3.4.4 Membranen

Auch in der Membrantechnik werden einige nanotechnologische Ansätze verfolgt, wie im entsprechenden Vertiefungsfall dieser Studie detailliert beschrieben wird (s. ab S. 306ff). Allerdings bestehen gerade bei der Membrantechnik einige Schwierigkeiten hinsichtlich der Abgrenzung, welche Bereiche nun der Nanotechnologie zuzuordnen sind und welche nicht. Grundsätzlich funktionieren Membranen wie Filter, d. h., sie stellen eine Struktur dar, durch die bestimmte Stoffe hindurchgehen und andere zurückgehalten werden. Dabei werden poröse Membranen, die also Poren aufweisen, von dichten Membranen unterschieden. Letztere weisen keine Poren auf, durch die bestimmte Stoffe „fließen“ könnten, sondern die Stoffe diffundieren durch das Membranmaterial hindurch. Die Porenmembranen weisen nun Poren in ganz unterschiedlichen Durchmessern auf, je nach dem, welche Stoffe welcher Größe zurückgehalten werden sollen. Die Skala reicht dabei vom Millimeterbereich bis hinunter zu einigen wenigen Nanometern. Die Schwierigkeit besteht nun darin zu entscheiden, ab welchem Porendurchmesser Membranen zur Nanotechnologie gezählt werden sollten und warum. Denn zumindest die große Gruppe der Polymermembranen wird im Wesentlichen auf recht ähnliche Art und Weise hergestellt und eingesetzt, egal ob der Porendurchmesser nun 10, 100 oder 1.000 Nanometer beträgt.[33]

Allerdings lassen sich durchaus auch Beispiele innerhalb der Membrantechnik finden, die deutlichere Bezüge zur Nanotechnologie aufweisen und den bis hierhin in den vorangegangenen Unterkapiteln beschriebenen Ansätzen gleichen. Zu nennen sind hier bspw. Versuche, Kohlenstoff-Nanoröhren (CNT) als Membranwerkstoffe einzusetzen. Denn es ist festgestellt worden, dass CNT eine außerordentlich gute Fähigkeit aufweisen, Wasser zu leiten, gleichzei-

[33] Ausführlichere Darstellungen zu dieser Problematik der Zuordnung von Membrantechnik zur Nanotechnologie finden sich in dem Vertiefungsfall „Membrantechnik“ ab S. 7ff.

tig aber andere Stoffe mit hoher Selektivität zurückzuhalten. Ein weiteres Beispiel bilden Polymermembranen, denen anorganische Nanopartikel zugesetzt werden, was sich sowohl auf die Durchflussrate als auch auf die Selektivität der Membranen positiv auswirkt. Dies ist ein außerordentliches Phänomen, denn normalerweise wirken sich Maßnahmen, die den Fluss durch eine Membran erhöhen (bspw. Vergrößerung der Poren), negativ auf die Selektivität aus. Bei dem genannten Beispiel ist das jedoch nicht der Fall. Ein drittes Beispiel sind Membranen, die in Brennstoffzellen zum Einsatz kommen. Diese Membranen beinhalten Platin als Katalysator. Dieser ist sehr teuer und kann deshalb nur in kleinsten Mengen eingesetzt werden. Wie nun neuere Forschungsergebnisse zeigen, lässt sich die katalytische Wirkung des Platins in diesen Membranen signifikant erhöhen, wenn man sie auf Kohlenstoff-Nanoteilchen wie Röhren, Stäbchen oder Kugeln aufbringt. So kann dieselbe katalytische Leistung mit weniger Platin realisiert werden.

Alle drei der vorgenannten Beispiele befinden sich derzeit noch im Stadium der Forschung und Entwicklung und es bleibt abzuwarten, wann sie sich in marktreife Produkte umsetzen lassen. Es gibt jedoch auch heute schon Membranen auf dem Markt, bei denen in gewisser Weise Nanotechnologie eingesetzt wird. Ein Beispiel hierfür sind keramische Membranen, wie sie bspw. von der Firma Atech Innovations aus Gladbeck (NRW) hergestellt werden. Kleinste keramische Nanopartikel werden hier in mehreren Lagen übereinander gebrannt. Die sich ergebenden Nanometer großen Zwischenräume nehmen die Filterfunktion wahr. Ein weiteres Beispiel kommt von der Firma Degussa (Evonik) aus Essen. Diese hat ebenfalls eine nanostrukturierte Keramik-Membran entwickelt, allerdings für die spezielle Anwendung in Lithium-Ionen-Batterien. In diesen Batterien wandern während des Entladungs- und Beladungsvorganges Ionen von einer Kammer der Batterie in die jeweils andere. Gegenüber herkömmlichen Membranen für solche Batterien hat die Degussa-Variante den Vorteil, dass sie höheren Temperaturen standhält, was ein entscheidender Pluspunkt für die explosiven Energiespeicher ist. Denn so kann die Energiedichte in der Batterie erhöht werden, ohne die Sicherheit zu gefährden, was insbesondere für die avisierten Anwendungen im Automobilbereich von hoher Wichtigkeit ist.

Der Nutzen von Membranen für die Umwelt ist so vielseitig wie die Einsatzbereiche der Membranen selbst. So werden Membranen zur Stofftrennung in den Bereichen Trinkwasser- und Abwasseraufbereitung sowie in vielen industriellen Prozessen, bspw. in der Lebensmittel- oder der Textilindustrie eingesetzt. Immer wird dabei ein bestimmter Stoff aus einem Stoffgemisch (zurück)gewonnen, oder ein Stoff wird durch Entfernen von anderen Stoffen gereinigt. So oder so werden auf diese Weise Wertstoffe generiert, und zwar in verhältnismä-

ßig umweltfreundlicher Art, weil nur wenig Energie eingesetzt wird und keine chemischen Reaktionen stattfinden müssen, die wiederum Emissionen produzieren könnten. Dort, wo Nanotechnologie hilft, Membranen und Membranverfahren zu verbessern, trägt sie also indirekt auch zum Umweltschutz bei.

3.4.5 Analytik

Die Analytik schließlich stellt einen Sonderbereich im Hinblick auf Nanotechnologie dar. Zum einen wird die Analytik selbst benötigt, um Nanotechnologie überhaupt zu ermöglichen. Denn nur mithilfe analytischer Geräte und Methoden, welche die Analyse von Nanostrukturen und -prozessen erlauben, kann Nanotechnologie-Forschung und -Entwicklung stattfinden. Zum anderen aber kommen Nanostrukturen in Analysegeräten zum Einsatz. So sind bspw. die Spitzen eines Rasterkraftmikroskops (AFM[34]), welche die Oberfläche einer Probe abtasten, an ihrer schmalsten Stelle nur etwa 100 oder weniger Nanometer breit. Auch in anderen Messgeräten zur Analyse Nanometer kleiner Strukturen werden Komponenten im Sub-Mikron-Bereich eingesetzt. Ein in der Medizin und Bio-Chemie verbreitetes Verfahren nutzt Quantum-Dots. Dies sind kleinste Partikel von nur wenigen hundert bis tausend Atomen, deren Größe so eingestellt werden kann, dass sie bestimmte Wellenlängen des Lichts absorbieren und andere reflektieren. Daher kann man sie gezielt als Marker in Analyseverfahren einsetzen.

Die „Nano-Analytik“ von der sonstigen Analytik unterscheiden zu wollen, ginge – wenn überhaupt – nur theoretisch. Praktisch werden dieselben Geräte wie bspw. Rasterkraft-, -tunnel- oder -elektronenmikroskope eingesetzt, um Strukturen sowohl oberhalb von 100 als auch unterhalb von 100 Nanometern sichtbar zu machen. Allerdings entsteht mit der weiteren Verbreitung nanotechnologischer Produkte und Verfahren durchaus ein Zweig, der dem Namen Nano-Analytik gerecht werden könnte. Dabei handelt es sich um solche analytischen Forschungen, die gezielt untersuchen, welche Verbreitung künstliche Nanopartikel in der Umwelt haben und welche Gefahren diese für Gesundheit und Umwelt darstellen. Vorreiter in diesem Bereich ist bspw. das Institut für Energie- und Umwelttechnik (IUTA) in Duisburg (NRW). Hier werden bspw. Messsysteme und -verfahren entwickelt, die erlauben sollen, Konzentrationen und Arten von Nanopartikeln bspw. an Produktionsstätten von Nanopartikeln oder -schichten zu messen und zu charakterisieren. Die so gewonnenen Daten können wiederum Toxikologen zur Verfügung gestellt werden, um mögliche Gefährdungen abzuschätzen. Aber auch zur Entwicklung von Maßnahmen zum Schutz vor Nanopartikeln,

[34] Englisch: „atomic force microscope“

sowohl am Arbeitsplatz als auch in der Umwelt, sind (nano)analytische Geräte und Verfahren unerlässlich. Ebenfalls auf dem Gebiet der speziellen Nano-Analytik ist die Firma Grimm Aerosol Technik aus Ainring (Bayern) tätig. Diese bietet sowohl mobile als auch stationäre Nanopartikelmessgeräte an.

3.5 Zusammenfassung

Im Rahmen der vorliegenden Studie sind nanotechnologische Produkte und Verfahren identifiziert sowie hinsichtlich ihrer Umweltrelevanz bewertet und kategorisiert worden. Dabei sind verschiedene Zugänge gewählt worden. Zunächst erfolgte eine breite Analyse der aktuellen Literatur zu nanotechnologischen Produkten und Verfahren, wobei ein besonderer Fokus auf Produkten und Verfahren der Umwelttechnik oder mit positiven Effekten für die Umwelt lag. Da die Literatur zu dem noch recht jungen Feld jedoch noch wenig umfangreich ist und zudem selten genaue Angaben zu konkreten auf dem Markt oder in der angewandten Forschung und Entwicklung befindlichen Produkten und Verfahren beinhaltet, wurde ein weiterer Ansatz zur Identifikation von Produkten und Verfahren verfolgt. Dazu wurden über 800 Unternehmen in Deutschland recherchiert, welche (potenziellen) Aktivitäten im Bereich Nanotechnologie aufweisen. Über die Internetpräsenzen der jeweiligen Unternehmen sowie über eine groß angelegte schriftliche Befragung ist dann untersucht worden, welche nanotechnologischen Produkte und Verfahren die Firmen anbieten bzw. nutzen. Insgesamt konnten auf die beschriebene Art und Weise über 300 nanotechnologische Produkte und Verfahren identifiziert werden.

Im folgenden Schritt sind die identifizierten Produkte und Verfahren hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Umwelttechnik bzw. für den Umwelt- und Ressourcenschutz bewertet und in einer eigens hierfür im Rahmen der vorliegenden Arbeit entwickelten Matrix kategorisiert worden. Mithilfe derselben Matrix fand darüber hinaus eine Differenzierung nach den jeweiligen Nanofunktionalitäten, auf welchen die einzelnen Produkte und Verfahren beruhen, statt. Schließlich ist auch nach der regionalen Herkunft der anbietenden oder anwendenden Unternehmen sowie nach dem Entwicklungsstand der nanotechnologischen Produkte und Verfahren unterschieden worden.

Im Ergebnis der Analyse und Kategorisierung der *am Markt verfügbaren* nanotechnologischen Produkte und Verfahren nach Umwelttechnik-/Umweltschutzbereichen zeigte sich, dass diese überwiegend dem integrierten Umweltschutz zuzuordnen sind. Sehr viele der bereits eingeführten Produkte und Verfahren dienen auch der Vermeidung des Einsatzes sowie der Substitution toxischer Substanzen. Des Weiteren sind derzeit nanotechnologische Produkte

und Verfahren für den Bereich Energie, mit dem Schwerpunkt Energieeffizienz, von großer Bedeutung.

Differenziert nach den Umweltmedien, auf die sich die identifizierten nanotechnologischen Produkte und Verfahren positiv auswirken, zeigte sich, dass der Bereich Wasser/Abwasser eine größere Bedeutung hat als die Bereiche Luft und Boden. Dabei handelt es sich aber überwiegend auch um solche Produkte oder Verfahren, die dem vorsorgenden Umweltschutz zuzurechnen sind. Klassische Umwelttechnik-Technologien sind eher in der Minderzahl.

Hinsichtlich der nanotechnologischen Effekte bzw. Funktionalitäten, auf welchen die einzelnen identifizierten Produkte und Verfahren beruhen bzw. welche diese sich zunutze machen, dominiert klar der Bereich funktionalisierte Oberflächen. Innerhalb dieses Bereichs überwiegen wiederum Easy-to-clean-/Anti-haft-Oberflächen, Korrosionsschutzschichten sowie anti-mikrobiell wirkende Oberflächen. Der Bereich Werkstoffbeschaffenheitsänderungen/neue Materialien ist ebenfalls stark vertreten, wobei hier durch Nanotechnologie meist eine bessere mechanische Beanspruchbarkeit oder bessere thermische Eigenschaften erreicht werden können. Ebenfalls gut vertreten sind Produkte und Verfahren aus dem Bereich Filtration, wobei der größte Teil auf Membranen entfällt. Produkte und Verfahren, welche auf nano-katalytischen Prozessen beruhen, sind noch weniger häufig vorzufinden.

Bei den identifizierten nanotechnologischen Produkten und Verfahren, die sich derzeit noch *im Stadium der Forschung oder Entwicklung* befinden, weist insbesondere der Bereich Energie eine Vielzahl von Produkten und Verfahren auf. Ebenfalls stark vertreten sind nanotechnologische Produkte und Verfahren, die indirekt zum Umweltschutz und vor allem zur Materialeinsparung beitragen (integrierter Umweltschutz). Für die Bereiche Wasser/Abwasser, Luft und Boden sowie Abfall konnten kaum zukünftig erwartbare nanotechnologische Produkte und Verfahren identifiziert werden. Die klassische End-of-pipe-Umwelttechnik wird also wahrscheinlich auch in Zukunft – relativ gesehen – weniger stark von der Nanotechnologie profitieren als der produkt- und prozessintegrierte Umweltschutz.

Hinsichtlich der nanotechnologischen Effekte bzw. Funktionalitäten, welche zukünftig neue oder verbesserte Produkte und Verfahren für die Umwelttechnik oder den Umweltschutz hervorbringen können, ist festzustellen, dass insbesondere Werkstoffbeschaffenheitsänderungen und neue Materialien von großer Bedeutung sein werden, insbesondere in Relation zu den heute bereits am Markt vorhandenen Produkten und Verfahren. Demgegenüber sind nano-katalytische Prozesse und Verfahren bzw. funktionalisierte Oberflächen zukünftig wahrscheinlich von weniger großer Bedeutung.

Insgesamt konnte festgestellt werden, dass bisher nur sehr wenige nanotechnologische Produkte und Verfahren am Markt bzw. in der Forschung und Entwicklung sind, welche der klassischen Umwelttechnik zuzurechnen wären. Ab-/Wasser-, Abfall- und Emissionsschutztechnik ist derzeit noch wenig nanotechnologisch beeinflusst. Anders sieht es hingegen bei der Energietechnik aus, die zwar auch derzeit noch wenige, in Zukunft aber deutlich mehr nanotechnologische Produkte und Verfahren aufweist bzw. aufweisen wird. Im Bereich des integrierten Umweltschutzes gibt es – relativ betrachtet – sowohl am Markt als auch in der Forschung und Entwicklung deutlich mehr Produkte und Verfahren als in der klassischen Umwelttechnik, welche positive (Neben-)Effekte auf die Umwelt erwarten lassen.

Bei der Interpretation der präsentierten Daten muss beachtet werden, dass sich zum gegenwärtigen Zeitpunkt hinsichtlich der konkreten Anwendungen in der Umwelttechnik bzw. der tatsächlichen positiven Umweltschutzeffekte der jeweiligen nanotechnologischen Produkte und Verfahren kaum belastbare Aussagen formulieren lassen. Denn ob sich bspw. Nanoeisen bei der Grundwassersanierung als praktikabel sowie ökologisch und ökonomisch effizienter als herkömmliche Verfahren erweisen wird, muss sich noch zeigen (vgl. Schroers/Odensaß 2007: 19f.). Auch stellt sich hier (und bei anderen nanotechnologischen Anwendungen) die Frage, welche negativen Umweltauswirkungen eintreten könnten und wie diese in Abwägung mit den positiven ökologischen und ökonomischen Leistungen der betreffenden Produkte und Verfahren zu bewerten sind (vgl. auch Kapitel 4). Ökobilanzielle Betrachtungen nanotechnologischer Produkte und Verfahren liegen derzeit kaum vor, werden aber zunehmend Gegenstand von Wissenschaft und Forschung, wie bspw. das parallel zu dieser Studie laufende Projekt im Auftrag des Umweltbundesamtes zeigt[35]. Die hier identifizierten und dargestellten nanotechnologischen Produkte und Verfahren lassen – nach derzeitigem Kenntnisstand – einen Einsatz in der oder für die Umwelttechnik bzw. positive Umwelteffekte *erwarten*. Ob diese positiven Umwelteffekte tatsächlich zum Tragen kommen, hängt nicht nur von den Produkten und Verfahren selbst, sondern auch von den politischen, ökonomischen und rechtlichen Rahmenbedingungen ab.

In der Tabelle 5 sind abschließend noch einmal nanotechnologische Produkte und Verfahren für die Umwelttechnik und den Umweltschutz dargestellt, die schon am Markt sind bzw. unmittelbar vor der Markteinführung stehen[36], während Tabelle 6 die eher visionären bzw. in der Forschung und Entwicklung befindlichen nanotechnologischen Produkte und Verfahren auflistet (siehe S. 162ff bzw. S. 166ff).

[35] „Entlastungseffekte für die Umwelt durch nanotechnische Verfahren und Produkte“, FKZ 206 61 203/02.

[36] Teilweise können verschiedene Nanoprodukte schon käuflich erworben werden, jedoch nicht im industriellen Maßstab, oder die Nanoprodukte sind vorhanden, aber die beschriebenen Einsatzmöglichkeiten haben sich noch nicht durchgesetzt bzw. werden noch erforscht.

Es lässt sich zusammenfassend sagen, dass in der Nanotechnologie und den damit verbundenen Anwendungen eine große Chance für den Umweltschutz besteht. Durch die Breite der Nanotechnologie können vielfältige Anwendungsbereiche vom Einsatz dieser Technologie profitieren. Dabei bleibt festzuhalten, dass nicht in allen Bereichen mit gleichgroßen Potenzialen für den Umweltschutz zu rechnen ist. Vielmehr ist zu konstatieren, dass viele der heutigen am Markt befindlichen Produkte nicht primär dem Ziel des Umweltschutzes dienen. Dies lässt sich beispielhaft an den erhofften Einsparpotenzialen zukünftiger Nanoprodukte oder -verfahren zeigen. Mit der Realisierung der Brennstoffzelle oder der Wasserstoffspeicherung mithilfe der Nanotechnologie, werden in verschiedenen Kreisen gerne die Lösung der Energie- und Mobilitätsprobleme der industriellen Gesellschaften gesehen. Sollte es durch Nanotechnologie möglich sein, eine Energiespeicherung und -versorgung ohne Emission schädlicher Treibhausgase und Nutzung fossiler Brennstoffe zu erreichen, dann sind durch diese Nanotechnologien weitreichende Umweltentlastungseffekte zu erwarten, die im Vergleich zu potenziellen Entlastungen durch den Verbrauch geringerer Wassermengen bzw. Reinigungsmittel ungleich höher zu bewerten ist.

Die nachfolgenden Tabellen (Tabelle 5 und Tabelle 6) stellen noch einmal im Überblick dar, welche nanotechnologischen Produkte und Verfahren für die Umwelttechnik und den Umweltschutz im Rahmen der vorliegenden Studie identifiziert werden konnten. In Tabelle 5 sind die bereits am Markt angebotenen Produkte und Verfahren aufgelistet, wohingegen Tabelle 6 die sich noch in der Forschung und Entwicklung befindlichen Produkte und Verfahren zeigt. Bei Letzteren handelt es sich jedoch ausschließlich um solche der angewandten, nicht aber der Grundlagenforschung.

Die gewählte Darstellung versucht, detaillierte Informationen zu den einzelnen Produkten und Verfahren zu liefern, ohne aber unübersichtlich und allzu umfangreich zu sein. Daher werden die über 200 identifizierten nanotechnologischen Produkte und Verfahren für die Umwelttechnik und den Umweltschutz auch nicht einzeln, sondern in Gruppen zusammengefasst dargestellt. Die erste Spalte (links außen) enthält die (Gruppen-)Bezeichnung des jeweiligen Produkts oder Verfahrens und die zweite Spalte das verwendete nanostrukturierte Material bzw. den eingesetzten nanostrukturierten Stoff (soweit bekannt oder auf einen oder wenige einschränkbar). In der nächsten Spalte folgt eine kurze Beschreibung des jeweiligen auf Nanotechnologie beruhenden Effekts bzw. der Funktion oder Eigenschaft. Die darauffolgende Spalte enthält eine kurze Erläuterung dazu, wie das jeweilige Produkt oder Verfahren zu einer Umweltentlastung beitragen kann oder könnte. Die nächsten beiden Spalten enthalten zum einen den Umwelttechnik- bzw. Umweltschutzbereich und zum anderen den

Anwendungsbereich, in welchem das betreffende Produkt oder Verfahren zum Einsatz kommt.

Tabelle 5: Auswahl der wichtigsten am Markt befindlichen identifizierten nanotechnologischen Produkte/Verfahren für den Umweltschutz

Nr.	Produkt/ Verfahren	Nano-Material	spez. Eigenschaften	Erläuterung	Umweltbereich	Einsatzbereich/ Wirtschaftsbereich
1	Photokataly-satoren zur Luftreinhaltung	TiO_2	Bei der Absorption von Licht (UV-Licht lamda<390nm) werden Photohalbleiter wie zum Beispiel Titandioxid (insbesondere Anatas lamda=388nm, 3,2 eV) in einen angeregten Zustand überführt. Dabei werden Elektronen in Zustände mit höherer Energie angeregt, bei einem Halbleiter wie Titandioxid von Zuständen des Valenzbands in Zustände des Leitungsbandes.	In Verbindung mit Wasser und Sauerstoff werden durch die freien Elektronen oxidative Radikale gebildet, die organische Verbindungen an der Oberfläche zerstören können und so die Oberfläche reinigen.	Luftreinhaltung, Abwasservermeidung, Reduzierung toxischer Substanzen	Wandfarben (mit Nanopartikel) zur Luftreinhaltung in und an Gebäuden
2	Easy-to-clean (selbstreinigende) Beschichtung	nanostrukturierte Oberflächen-beschichtung	Schicht auf Basis kolloidchemischer Nanotechnologie; Bei diesen Beschichtungen geht es darum, die Benetzungseigenschaften der Materialoberflächen zu verschlechtern und die Wassertropfenbildung zu verbessern, damit diese dann leicht von der Materialoberfläche abperlen können und dabei Schmutzpartikel gleich mit wegspülen. Oberflächen mit einem Kontaktwinkel von mehr als 90° gegenüber Wass er werden als hydrophob bezeichnet. Die Blüten der Lotuspflanze erreichen sogar einen Kontaktwinkel von über 160°. Derartige Oberflächen erreicht man entweder d urch nanostrukturierte raue Oberflächen oder durch eine Beschichtung mit niedriger Oberflächenenergie	Verringerung des Einsatzes von Reinigungsmitteln	Abwasservermeidung, Reduzierung toxischer Substanzen	Einsatz der Beschichtung auf Flliesen, Keramik, allg. Oberflächen etc.
3	Catalytic-to-clean-(photokatalytische) Beschichtungen	TiO_2	Bei der Absorption von Licht (UV-Licht lamda<390nm) werden Photohalbleiter wie zum Beispiel Titandioxid (insbesondere Anatas lamda=388nm, 3,2 eV) in einen angeregten Zustand überführt. Dabei werden Elektronen in Zustände mit höherer Energie angeregt, bei einem Halbleiter wie Titandioxid von Zuständen des Valenzbands in Zustände des Leitungsbandes.	In Verbindung mit Wasser und Sauerstoff werden durch die freien Elektronen oxidative Radikale gebildet, die organische Verbindungen an der Oberfläche zerstören können und so die Oberfläche reinigen.	Luftreinhaltung, Abwasservermeidung, Reduzierung toxischer Substanzen	Wandfarbe, Fassadenanstriche
4	UV-Schutz-Beschichtungen	nanopartikuläres TiO_2, ZnO	Nutzung der spezifisch hohen UV-Absorption der Nanopartikel	längerer Schutz des Holzes, Verringerung des Ressoursenverb-rauchs	Materialeinsparung	Holzlacke, sonstige Oberflächen
5	Antireflex-beschichtungen	SiO_2	Nutzung des niedrigen Brechnungsindexs der Partikel; Mittels Sol-Gelverfahren wird die Siliziumdioxidschicht aufgebracht, die antireflektierend wirkt.	Steigerung der Energieausbeute um mehrere Prozent	effizientere Energiegewinnung, Abwasservermeidung, Reduzierung toxischer Substanzen	Antireflexglas für Solarzellen
6	Antimikrobielle Ausstattungen	nanostrukturiertes Nanosilber	Nutzung der antimikrobiellen Eigenschaften; als Additiv verwendbar	in Spezialeanwendungen (bspw. Krankenhaus) Einsparung von Desinfektionsmittel etc. erreichbar	Abwasservermeidung, Reduzierung toxischer Substanzen	Kunststoffoberflächen, Textilien, Beschichtungen im Krankenhaus etc.
		nanostrukturierte Oberflächenbe-schichtung	Schicht auf Basis kolloidchemischer Nanotechnologie, Oberfläche wird durch eine widerstandsfähge hauchdünne Schicht so veredelt, dass sich die frische Druckfarbe nicht mehr so stark auf die Walzenoberfläche ablegt.	Verlängerung der Maschinenlaufzeit, Minimierung des Reinigungsaufwandes	Abwasservermeidung, Reduzierung toxischer Substanzen	Papierwalzen in Druckereien

Nr.	Produkt/ Verfahren	Nano-Material	spez. Eigenschaften	Erläuterung	Umweltbereich	Einsatzbereich/ Wirtschaftsbereich
7	Antihaft-beschichtungen	nanostrukturierte Oberflächenbe-schichtung	Schicht auf Basis kolloidchemischer Nanotechnologie, Oberfläche wird durch eine widerstandsfähge hauchdünne Schicht so veredelt, dass sich die Entformung von Epoxidharzkomponenten verbessert.	Verlängerung der Werkzeugstandzeit (6-fache Standzeit), Reduzierung des Trennmitteleinsatzes um 80%	Abwasservermeidung, Reduzierung toxischer Substanzen, Materialein-sparung	Entformung von Epoxidharzkomponen-ten
8	Kratzfeste Beschichtungen	SiO_2	Einarbeitung von nanoskaligen Partikeln in Lackformulierungen, z.B. anorganische Siliziumoxidpartikel zum Einstellen der Fließeigenschaften und zur Erhöhung der Kratzfestigkeit.	Der Lack enthält Nanopartikel, die beim Aushärten eine sehr dichte Netzstruktur bildeten. Dies führt dann zu einer verbesserten Kratzbeständigkeit z.B. in Autowaschanlagen als bei herkömmli-	Materialeinsparung	z.B. im Automobillackbereich
9	Diffusionssperren	z.B. Kaolinit-Nano-Partikel	Einarbeitung von Kaolinit-Nano-Partikel in Polymer-Nanokomposite. Die verteilten Kaolinit-Nano-Partikel bilden eine Barrierewirkung für Gase durch Kunststoffe.	Bei der Verpackung vieler Lebensmittel wird heute auf Konservierungsstoffe verzichtet und stattdessen unter einer Schutzatmosphäre (z.B. Stickstoff) verpackt. Durch eine Verlängerung der Diffusionswege können die Schutzgase innerhalb der Verpackung länger erhalten und so die Haltbarkeit deutlich erhöht werden.	verbesserte Ressourcen-nutzung, Vermeidung von tox. Substanzen	Diffusionsperren auf Folien, Nahrungsmittelverpackungen; Beschichtungen auf Wasserrohren zur Vermeidung von Schwermetalleinträ-gen im Wasser
10	Korrosions-schutzbeschich-tungen/ Konversions-beschichtung	anorganisch-organische Hybridpolymere auf Basis von Silanverbindungen	Schicht auf Basis kolloidchemischer Nanotechnologie (Sol-Gel-Technologie)	notwendige Korrosionsschutzschicht bedeutend dünner als bisherige Schichten	Materialeinsparung, effizientere Energienutzung	Aluminiumoberflächen
11	Nanolacke	Nanopartikel	dünnere Lackschichten bei gleichen bzw. besseren Oberflächeneigenschaften, keine Chromatierung von Nöten		Energie- und Materialein-sparung, Reduzierung toxischer Substanzen	Automobil, Flugzeugbau
12	Abriebfestere Materialien	Carbon Black, Nanopren (nanostrukturierte Partikel aus polymerisiertem Styrol und Butadien)	Nutzung der verbesserten physikalischen Eigenschaften; als Additiv für die Kautschukmischung der Lauffläche bewirkt es die Verringerung des Rollwiederstandes und führt zu längeren Reifenlaufzeiten.	Verringerung des Rollwiederstandes, Verlängerung der Reifenlaufzeit, Kraftstoffeinsparung	Abfallvermeidung, effizientere Energienutzung	allg. Fahrzeugreifen
13	Motorbeschich-tungen	Schichtsystem mit Nanopartikeln	Kolbenbeschichtung führen zur verbesserten mechanischen Beanspruchung	Verringerung des Verschleiß der Kolben	Abfallvermeidung, verbesserte Ressourcen-nutzung	Motorbereich, Fahrzeugkolben

Nr.	Produkt/ Verfahren	Nano-Material	spez. Eigenschaften	Erläuterung	Umweltbereich	Einsatzbereich/ Wirtschaftsbereich
14	Verschleiß-schutz/-schmiermittel	nanopartikuläes Siliziumdioxid SiO2	Das Additiv im Motorenöl bildet auf den Reibungsoberflächen eine flexible, elastische und permanent haftende Verschleißschutzschicht, die sich durch Druck und Temperatur aufbaut. Hierbei lagert sich das Siliziumoxid dauerhaft ab und das Graphit sorgt für eine zusätzliche Schmiereigenschaft.	Kraftstoffeinsparung (bis 10% möglich), Erhöhung der Lebensdauer des Motors, Steigerung der Motorleistung	effizientere Energienut-zung, Materialeinsparung, Abfallvermeidung	Einsatz im Automotor
15	Leitfähige Folien	Carbon Nano Tubes	Nutzung der elektrischen Eigenschaften; als Additiv in Folienkunstoffen wird die Leitfähigkeit der Folie gewährleis-tet.	Sustitution von Carbon Black sowie Verringerung der Foliendicke (um 20%) möglich	Materialeinsparung	Elektronikteilverpackung
16	Spezialzement	nanostrukturierte synthetische Kieselsäuren, bspw. Aerosil, Sipernat	Nutzung der erhöhten Reaktivität; Die Reaktion dieser SiO_2-Stoffe mit dem aus der Zementreaktion freigesetzten Calciumhydroxid erfolgt deutlich schneller und umfassender als bisher und führt zu einer Optimierung des Zementsteingefüges.	Verringerung des spezifischen Verbrauchs an Zement	Materialeinsparung	Ultra-Hochfeste Betonanwendungen
17	Kunststoff mit besseren Fließeigenschaften (bspw. Ultradur High Speed)	Organische Nanopartikel	Als Additiv in Polybutylenterephthalat (PBT) bewirkt es eine Modifizierung der rheologischen Eigenschaften; Die Schmelzviskosität des Kunststoffes wird abgesenkt und die Fließfähigkeit erhöht.	Die bessere und einfachere Verarbeitbarkeit des Kunstoffs führt beim Spritzgussprozess bis zu 20% Energieeinsparung.	effizientere Energienutzung	thermoplastische Kunststoffe aus PBT (z.B. Lenkwinkelsensor)
18	Leitfähige Polymerschichten (organische Metalle)	nanostrukturiertes Polyanilin	Nutzung der "Metalleigenschaften" des Polyanilins zur Gewährleistung einer lötfähigen Oberfläche von Leiterplatten.	Die Kontaktflächen von Leiterplatten müssen nach ihrer Herstellung bis zu einem Jahr lötfähig sein. Die jetzt nur 55 nm dicke Schicht gewährleistet die gleiche Funktionalität wie bisher Schichten im µm-Bereich.	Materialeinsparung, Reduzierung toxischer Substanzen, geringerer Energieverbrauch	Endoberfläche für Leiterplatten
19	Ferritklebstoffe	gecoatete nanoskalige Eisenoxidpartikel	Nutzung der magnetischen Eigenschaften; Durch die als Additiv in konventionellen Klebstoffen eingearbeiteten Nanopartikel ist eine partielle Erwärmung durch z.B. Mikrowellen und eine Aushärtung des Klebstoffes möglich.	In Anwendungen, bei denen der Anteil der Klebeflächen gering gegenüber den Klebeteilen ist, sind keine Heizöfen wie bisher zur Aushärtung mehr nötig.	effizientere Energienutzung	Kleben von Verbundmaterialien in Fahrzeug- und Luftfahrtbereich
20	Nanogelfenster	Nanogel	Verbesserung der Wärme- und Schalldämmung	Isolierglassystem, Scheibenzwischen-raum wird mit Nanogel gefüllt	effizientere Energienutzung	Fenster
21	LED		Durch LED-Prinzip wird bei der Lichtproduktion keine Wärmeenergie mehr produziert und bei geringerer Energiezufuhr eine hohe Lichtausbeute erreicht	verbesserte thermische und elektrische Eigenschaften	Materialeinsparung, effizientere Energienutzung	Automobil, Unterhaltungselektronik
22	Flamm-/Brand-schutzausrüstung	nanodisperse Schichtsilikate	als Additiv verwendbar; Der Flammschutz der Polymermat-rix wird durch Zugabe eines nanoskaligen Schichtsilikat-Additivs von ca. 5 Gew.-% sowie ggf. konventionellen FSM eingestellt.	Substitution von hologenierten FSM	Substitution toxischer Substanzen	Kunststoffanwendungen, Kabelum-mantelungen etc.

Nr.	Produkt/ Verfahren	Nano-Material	spez. Eigenschaften	Erläuterung	Umweltbereich	Einsatzbereich/ Wirtschaftsbereich
23	Katalysatoren	Edelmetallpartikel (Palladium, Platin)	Nutzung der hohen katalytischen Aktivität durch das große Oberflächen/Volumenverhältnis; immer kleinere nanostrukturierte Edelmetallpartikel an der Katalysatoroberfläche bewirken über ihre Oberfläche eine erhöhte spezifische Katalysatorleistung	geringerer Edelmetalleinsatz gewährleistet die gleiche Funktion	Luftreinigung, Vermeidung toxischer Substanzen	Abgaskatalysator im Automobil
		Katalysator (bspw. NxCat) basierend auf nanoskalige Palladium-Platin-Partikel	Nutzung der hohen katalytischen Aktivität und höheren Reaktivität durch das große Oberflächen/Volumenverhältnis;	einfacherer und effizienterer Produktionsprozess	Luftreinigung	Chemischer Prozess, Direktsynthese von Wasserstoffperoxid
24	Membrane	bspw. nanoporöse Polymere aus Cyclodextrinen	Adsorption von organischen Schadstoffen wie Benzol oder Aceton.		Wasserreinigung, Abwasserbehandlung	Meerwasserentsalzungsanlagen, chem. und pharm. Industrie, Druckereigewerbe
25	Nanofaser-beschichtete Filter	Nanofaser-beschichtete Filter	Verbesserung der Filtereigenschaften durch eine zusätzliche Beschichtung mit Nanofasern, die mittels Elektrospinning hergestellt werden. Dabei wird eine Polymerschmelze bipolar elektrostatisch versponnen und auf einem Trägermaterial abgelegt.	Durch den Einsatz der Nanofasern stehen Filtermedien zur Verfügung, die neben einem geringen Luftwiderstand auch eine hohe Partikelabscheidung aufweisen. Bei einem Kabinenluftfilter bspw. ist dann bei gleicher Funktionalität eine geringere elektrische Gebläseleistung notwendig.	Luftreinigung, Energieeffizienz	Druckluft, technischen Gasen
26	Poröse nanoskalige keramische Membrane	keramische Nanofiltration-membran TiO2	Die aus mehreren Schichten bestehende NF-Membran besitzt eine 50nm dicke trennaktive Membranschicht mit Porendurchmesser von nur 0,9 nm.	verbesserte Wasseraufbereitung und hohe chemische, thermische und mechanische Stabilität ggü. Polymermembrane	Wasserreinigung, Abwasserbehandlung	Kläranlagen, Krankenhäuser, dezentrale Trink- und Wasseraufbereitungsanlagen
27	Keramiksepa-ratoren	Keramik aus Luminium, Zirkonium und Silizium	Der Seperator besteht aus Keramik und Polymeren. Diese Kombination der beiden Materialien, die wegen ihrer unterschiedlichen Temperaturanforderungen eigentlich unverträglich sind, ist durch den Einsatz von nanoskaligen Oxiden möglich geworden.Zirkonoxid ist funktionaler Bestandteil der Separatoren und sorgt unter anderem für seine Stoffintegrität, Nanoporösität und Flexibilität.	diese Keramikmembran ermöglicht die brandsichere Speicherung der Energie und eine effizientere Nutzung der Lithium-Ionen-Batterien	verbesserte Energiespeicherung und -effizienz	Lithium-Ionen-Batterie Energiespeicherung, Elektro- und Hybridfahrzeuge, Brennstoffzelle

(Quelle: eigene Darstellung)

Tabelle 6: Auswahl der wichtigsten in FuE befindlichen identifizierten nanotechnologischen Produkte/Verfahren für den Umweltschutz

Nr.	Produkt/ Verfahren	Nano-Material	spez. Eigenschaften	Erläuterung	Umweltbereich	Einsatzbereich/ Wirtschaftsbereich
1	Leichtbau	PA/PPE Nanocom-posites		Leichtbau unter Einsatz thermoplastischer Nanocomposites	Material- und Energieeinsparung	Maschinenbau, Automobil
		Carbon Nano Tubes	Gewichts- und Volumenreduktion, verbesserte mechanische Beanspruchbarkeit	Leichtbau unter Einsatz Carbon Nano Tubes als Substitut für z.B. Metalle	Material- und Energieeinsparung	Leichtbauweise bei KfZ o.ä.
2	alternative Solarzellen-technologien	Quantum-Dots	Durch den Einsatz von Quantum-Dots erhöht sich die Anzahl der Elektronen-Loch-Paare je Photon, die Absorptionsbanden lassen sich auf die Wellenlängen des einfallenden Lichts anpassen	Effizienzsteigerungen bei der Energieer-zeugung im Vergleich zu herkömmlichen Solarzellen	Energieerzeugung	Photovoltaik
		nanometerdünne aktive Schichten	photoaktive Schichten sind nur noch wenige 100nm dick	Effizienzsteigerungen bei der Energieer-zeugung im Vergleich zu herkömmlichen Solarzellen	Energieerzeugung	Photovoltaik-Anlagen, Wandelemente
		organische photoelektrische Materialien	Polymere als photoaktive Schicht	Effizienzsteigerungen bei der Energieer-zeugung im Vergleich zu herkömmlichen Solarzellen	Energieerzeugung	Photovoltaik
		Farbstoffbasierte Solarzellen	Nanoporöse TiO_2-Schichten ermöglichen eine ausreichend hohe Kontaktfläche zwischen organischen Farbstoffen und TiO2 und somit eine hohe Effiziemz bei der Umwandlung von Licht in elektr. Ladungsträger	Effizienzsteigerungen bei der Energieer-zeugung im Vergleich zu herkömmlichen Solarzellen	Energieerzeugung	Photovoltaik
3	SuperCaps	nanostrukturierte Oberflächen (z.B. mit Carbon-Aerogelen)	Vergrößerte Oberflächen der Elektroden sollen die pazität der Kondensatoren erhöhen.		Energiespeicherung	Automobil-, Batterienbereich
4	hochfester Stahl	metallische Carbonnitride	durch das Einlagern von Nanopartikeln in den Stahl kann es gelingen die Dauerbelastbarkeit zu erhöhen	ermüdungsfreier Stahl	Materialeinsparung	Fahrzeugtechnik, Maschinenbau, Hochbau
5	Hitze-beschichtungen	Titanaluminid	Die in einem Plasmaofen erzeugte bis zu 1000℃ hitzebeständige Nanoschutzschicht aus Titanaluminid besitzt eine extrem hohe Härte - etwa die des Diamanten in Kombination mit einer sehr hohen Zähigkeit.	Die optimierte thermische Schutzschicht auf Nanotechnologiebasis könnte die Nutzung von Turbinenschaufelrädern bei höheren Temperaturen zulassen und somit den Wirkungsgrad erhöhen sowie den Verschleiß senken.	Energieerzeugung	Kraftwerksbereich, Flugzeugturbinen
6	OLED-Display		Durch OLED's wird bei der Lichtproduktion keine Wärmeenergie mehr produziert und bei geringerer Energiezufuhr eine hohe Lichtausbeute erreicht.	verbesserte thermische und elektrische Eigenschaften	Materialeinsparung, effizientere Energienutzung	Unterhaltungselektronik

Nr.	Produkt/ Verfahren	Nano-Material	spez. Eigenschaften	Erläuterung	Umweltbereich	Einsatzbereich/ Wirtschaftsbereich
7	Wärmeisolation (bspw. Nanogel)	Aerogel auf Basis von Kieselsäure mit Nanoporen	geringe Dichteeigenschaften und sehr geringe Wärmeleitfähigkeit der Stoffe ermöglichen vielfältige Einsatzmöglichkeiten	bessere Isolierung bei veringerter Größe des Materials	Material- und Energieeinsparung sowie effizientere Nutzung und Speicherung der Energie	Isolierungen jeglicher Art (Haus etc.)
8	Nanosensoren	z.B. Halbleiter-Nanodrähte	Nanosensoren sind Sensoren, die Nanomaterialien zur Detektion verwenden oder Nanotechnologie für ihre Miniaturisierung einsetzen. Durch ihre geringe Größe können Nanosensoren mit geringem Energieverbrauch oder sogar energieautark betrieben werden.	Überwachung verschiedener Parameter des Bodens zur gezielteren Einsetzung der Bodenversorgungsmittel (Landwirtschaft), Überwachung der Schadstoffe bzw. Einträgen bei Böden und Wasser	verbesserter Materialeinsatz, Abfallvermeidung	Landwirtschaft, Wasserwirtschaft
		Carbon Nano Tubes	NTFET (Nanoröhren-Feldeffkekttransistoren) reagieren auf Konzentrationsänderungen von bestimmten Gasen mit Veränderung des messbaren elektr. Leitwertes.	eine Detektion von u.a. Ammoniak, Stickstoffdioxid, Schwefeldioxid oder Schwefelwasserstoff ist möglich	Luftreinhaltung	
9	Nanoverkapselte Wirkstoffe	z.B. Lambda-Cyhalothrin	Nanoverkapselte oder nanostrukturierte Wirkstoffe für die Landwirtschaft; Der nanoverkapselte Wirkstoff Lambda-Cyhalothrin, der gegen verschiedene Insekten im Ackerbau eingesetzt wird, entfaltet erst bei Berührung mit der Blattoberfläche seine Wirkung.	Vermeidung von Schadstoffbelastungen, Die Adhäsion zum Blatt ist so stark, dass die Nanokapsel auch bei regen nicht weggespült wird.	verbesserter Materialeinsatz	Landwirtschaft
10	Nanoelektronik	Nanostrukturen	Die immer geringer werden Nanostrukturen ermöglichen eine Erhöhung der spezifischen Leistungsfähigkeit der Elektronikbauteile.	Steigerung der spezifischen Effizienz	Materialeinsparung, effizientere Energienutzung	Computer, Halbleitertechnik
11	H_2-Speicherung		nanoporöse Materialstrukturen	Verbesserte Speicherstrukturen ermöglichen eine Verbesserung der H_2-Versorgung von z.B. Brennstoffzellen	verbesserte Energiespeicherung	Brennstoffzellen in Fahrzeugen, zur Energiegewinnung etc.
12	Nanopartikel als Kraftstoff-beimischung	Ceroxid	Als Additiv im Kraftstoff bewirkt das nanostrukturierte Ceroxid eine verbesserte Verbrennung	bis zu 5% Kraftstoffeinsparung möglich	effizientere Energienutzung	im Automobil
13	Nanopartikel zur Grundwasser- und Bodensanierung	z.B. nullwertige nanoskalige Eisenpartikel Fe(0)	Katalytisch aktive nanostrukturierte Partikel und Metalloxide	Nutzung der hohen katalytischen Aktivität und höheren Reaktivität durch das große Oberflächen/Volumenverhältnis; die Eisenpartikel werden zur Oxidation von verschiedenen Verbindungen genutzt.	Grundwasser- / Altlastensanierung	Grundwasser- / Altlastensanierung

Nr.	Produkt/ Verfahren	Nano-Material	spez. Eigenschaften	Erläuterung	Umweltbereich	Einsatzbereich/ Wirtschaftsbereich
		z.B. MgO, CaO, SrO, TiO_2, MgO_2	Katalytisch aktive nanostrukturierte Metalloxide	Nutzung der hohen katalytischen Aktivität und höheren Reaktivität durch das große Oberflächen/Volumenverhältnis; Die Nanokatalysatoren werden direkt in das zu reinigende Wasser dispers gelöst oder immobilisiert auf einer Membran mit dem Wasser in Kontakt gebracht.	Grundwasser- / Altlastensanierung	Grundwasser- / Altlastensanierung
		nanoskaliges Magnetit Fe_2O_3	Magnetische Nanopartikel	Nutzung der magenetischen Eigenschaften; Die magnetischen Nanopartikel binden die Zielmoleküle (bspw. Arsen-Verbindungen) selektiv und werden anschließend magnetisch auf dem Wasser extrahiert.	Grundwasser- / Altlastensanierung	Wasserreinigung von Arsenverbindungen
14	photoelektrochemische Solarzellen		diese Solarzellen können durch Lichteinstrahlung Wasser in die Bestandteile H_2 und O_2 zersetzen		Substitution von endlichen Ressourcen zur Energieversorgung	autarke Wasserstoffversorgung auch für private Haushalte
15	Brennstoffzellen		verschiedene Ansätze sollen mit Hilfe der Nanotechnologie z.B. eine höhere Speicher- und Leitfähigkeit der Elektroden ermöglichen und somit den großflächigen wirtschaftlichen Einsatz von Brennstoffzellen ermöglichen		verbesserte Energiespeicherung	Automobil, Energiespeicher für Industrie und Haushalt

(Quelle: eigene Darstellung)

4 Risiken nanotechnologischer Produkte und Verfahren

4.1 Einleitung

Ziel des Projektes ist es, die Chancen der Nanotechnologie für die nordrhein-westfälische Umweltwirtschaft sowie auch für den Umweltschutz auszuloten. Es sollen sowohl der aktuelle Stand als auch sich abzeichnende Entwicklungen identifiziert und beschrieben sowie hemmende und fördernde Faktoren nanotechnologischer Innovationen im Umweltbereich für NRW aufgezeigt und Handlungsoptionen entwickelt werden. In diesem Zusammenhang wird der Frage nachgegangen, inwiefern auf Nanotechnologie basierende Anwendungen für den Umweltschutz und in der Umwelttechnik bereits realisiert sind bzw. welche zukünftigen Anwendungen sich derzeit in der Forschung und Entwicklung befinden. Derzeit aktive sowie potenzielle zukünftige Anbieter und Anwender von nanotechnologischen Produkten und Verfahren für die Umwelttechnik sowie den Umweltschutz aus NRW stehen dabei im Fokus der Untersuchungen. Trotz der grundsätzlich Potenzial orientierten Ausrichtung der vorliegenden Studie, sollen auch die in der (Fach-)Öffentlichkeit diskutierten Risiken der Nanotechnologie thematisiert und diskutiert werden, um entsprechende Entscheidungsgrundlagen für den weiteren Umgang mit Nanotechnologien zu ermöglichen und Fehlinvestitionen in eine aufgrund der Risikowahrnehmung nicht durchsetzungsfähige Technologie zu vermeiden.

4.2 Potenzielle Risiken

Die Diskussion um die Nanotechnologien war bereits frühzeitig, also spätestens ab 2002, durch die Diskussion möglicher Risiken gekennzeichnet. Dabei waren insbesondere zwei Faktoren wesentlich: zum einen wurde Bezug zur Diskussion um die Gentechnik genommen. Zwei entscheidende Faktoren werden dabei ausgemacht: zum einen, dass die öffentliche Meinung mittlerweile nicht mehr bereit sei, den technischen Fortschritt unhinterfragt zu akzeptieren, sondern potenzielle Risiken behandelt sehen will. Damit besteht die Möglichkeit, dass die Entwicklungspotenziale der Nanotechnologien in Frage gestellt werden könnten. Zum anderen wurde auf Erfahrungen verwiesen, dass bestimmte Stoffe problematische Wirkungen haben können, die erhebliche Folgekosten nach sich ziehen können, wie es bspw. im Falle von FCKW und Asbest festzustellen war. Im Rahmen der Nanotechnologiedebatte wurde insbesondere der Asbestfall vielfach zitiert, wobei vor allem der Vergleich mit Carbon Nanotubes (CNT) vorgenommen wurde. Hinzuweisen ist darauf, dass gegenwärtig vor allem mögliche adverse Effekte der Nanopartikel im Vordergrund der Diskussion stehen.

Das Interesse an den Nanotechnologien und im speziellen der Nanopartikel wird insbesondere auch durch die veränderten Eigenschaften der Nanopartikel hervorgerufen, in dem die

Eigenschaften der Partikel sich von dem Verhalten der „bulk“ Materialien unterscheidet. Dieses veränderte Verhalten kann zugleich im Sinne der Nutzung positive Eigenschaften haben und zugleich adverse Effekte zeitigen. Chancen und Risiken sind insofern eng miteinander verbunden.

Die folgende Tabelle stellt typisierend die positiven und negativen Effekte dar.

Tabelle 7: Eigenschaften von Nanopartikeln

Nanopartikel	**Positive Effekte**	**Potenzielle Probleme**
Partikelgröße und Mobilität	Gezielte Nutzung für ressourcen-/ökoeffiziente Technik	Dissemination und Wirkungen auf Mensch und Umwelt (Öko)Toxizität?
Neue Funktionalitäten und Effekte (Verhältnis Volumen/Oberflächen)	Erhöhte Reaktivität, katalytische Effekte Selektivität	Überraschende Wirkungen, Dissemination, (Öko)Toxizität?
Adhäsion, Kohäsion, Agglomeration	“Eigensicherheit” durch die genannten Effekte	Verhalten in der Umwelt kaum bekannt
Neue physikalische Eigenschaften (optisch, elektrisch magnetisch)	Gezielte Nutzung für ressourceneffiziente Technik	Hochreine und hochdefinierte ‚technische Umgebungen’ erforder-

(Quelle: Steinfeldt et al. 2004)

Die Tabelle verdeutlicht die enge Verkopplung der Chancen der Nutzung der Nanopartikel und potenzieller Risiken. Die benannten Risiken beziehen sich dabei sowohl auf die Humantoxizität (u .a. Aufnahme von Nanopartikeln über Lunge und Haut, deren Translokation sowie die Wirkungen auf die möglichen Endpunkte), als auch auf die Ökotoxizität, also der Frage, welche Konsequenzen die Freisetzung von Nanopartikeln u. a. auf Ökosysteme haben.

Es ist dabei darauf hinzuweisen, dass es sich um potenzielle Risiken handelt, der Nachweis, dass es sich um reale Risiken handelt, ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht erbracht worden. Allerdings existiert eine Reihe von Studien, die auf Gefährdungspotenziale hinweisen. Spätestens seit der Veröffentlichung der „swiss-re“ Studie (2004) zu den potenziellen Gefährdungen durch Nanopartikel sind die Forschungsaktivitäten zu den potenziellen Risken

deutlich erhöht worden. Gleichwohl sind, wie bereits beschrieben, bislang noch keine eineindeutigen Ergebnisse vorgelegt worden. Ein wesentlicher Ansatz der Forschung beruht dabei auf den Forschungen zu den Ultrafreinen Partikeln (UFP), bei denen eine Reihe von epidemiologischen Forschungsergebnissen vorliegt.

Probleme der Risikoforschung

Wesentliche Probleme der Forschung zu den möglichen Risiken bestehen u. a. darin, dass

- die Messtechniken bislang noch nicht hinreichend entwickelt sind,
- es noch keine verlässlichen Methoden der Analyse der Wirkungen von Nanopartikeln gibt,
- die Forschung bislang noch heterogene Ergebnisse zeitigt
- etc.

Zentrale und vermutlich längerfristige Probleme bestehen darin, dass die unterschiedlichsten Größen für das potenziell (öko-)toxikologische Verhalten der Nanopartikel bestimmend sein können. Dazu gehören u. a. die in der Tabelle oben angeführten veränderten Eigenschaften (insbes. das Oberflächen-Volumen-Verhältnis), aber in der Literatur werden folgende weitere Faktoren erwähnt:

- "Biological activity and biokinetics of nanoparticles dependent on:
  - Size, chemistry, shape
  - Surface properties
  - Agglomeration state, biopersistance, dose
  - Particle treatment
- Parameters modify responses and cellular interactions:
  - Translocation to organs
  - Oxidative stress, inflammation
  - Localization in mitochondria
  - Etc."

(Quelle: Elder 2006)

Damit kommt eine Vielzahl von Dimensionen der Eigenschaften der Partikel in den Fokus aber auch die Reaktionen der möglichen Endpunkte der Nanopartikel.

Vor dem Hintergrund der Tatsache, dass letztlich sämtliche Elemente des Periodensystems in Nanoform produziert werden können und zudem Verbindungen mit anderen Elementen zu berücksichtigen sind, wird deutlich, dass die toxikologische Analyse vor erheblichen Herausforderungen steht.

Aktuelle Überblicke verdeutlichen die Probleme: so weist bspw. Oberdörster (2005) (ebenso Maynard et al. 2006 und Balbus et al. 2007) darauf hin, dass letztlich sämtliche Endpunkte neu analysiert werden müssen. Aktuelle Überblicke zu einzelnen nanopartikulären Stoffen verstärken diese Analysen. Aus der Vielzahl der Überblicke zum Forschungsstand zu Nanopartikeln werden in der Folge zwei Überblicke über die Forschungen zu Quantum Dots und Carbon Nanotubes dargestellt, die typisierend die Probleme darlegen, vor denen die (Öko-)Toxiditätsstudien stehen.

Quantum Dots

Hardmann (2006) weist darauf hin, dass bspw. Quantum Dots nicht als eine homogene Gruppe von Nanomaterialien betrachtet werden können, da die toxischen Eigenschaften auf multiple Eigenschaften zurückzuführen sind, die einerseits von den inhärenten physiochemischen Eigenschaften und andererseits den Umweltbedingungen abhängen. Hardmann verweist darauf, dass letztlich jeder Typ von Quantum Dots quasi individuell bzgl. seiner möglichen toxischen Eigenschaften überprüft werden müsse.

Carbon Nanotubes

Helland et al. (2007) haben einen Literaturüberblick über die vorliegende Wissensbasis bzgl. der Umwelt- und Gesundheitseffekte von Carbon Nanotubes durchgeführt. Sie verweisen darauf, dass ein kohärentes Forschungsprogramm bislang fehlt. Insbesondere liegen fast keine Untersuchungen zu den Umweltwirkungen der CNT vor. Neben der Feststellung, dass wiederum eine Vielzahl von Einflussfaktoren für die Toxizität existieren[37] (u. a. auch durch Verunreinigungen des Materials), verweisen sie zudem darauf, dass diese Eigenschaften sich im Lebensweg verändern können, u. a. in Abhängigkeit von den jeweiligen physikalischen und chemischen Einflüssen. Zudem lagern sich andere Partikel oder Moleküle leicht an der Oberfläche an, wodurch wiederum die Eigenschaften verändert werden können. Ein wesentlicher Aspekt, den sie hervorheben, ist, dass die CNT's bioverfügbar und biopersistent sind, sodass die Möglichkeit der Anreicherung bspw. in der Nahrungsmittelkette möglich sein könnte. Allerdings verweisen die Autoren auch darauf, dass die Bandbreite der Ergebnisse der unterschiedlichen Untersuchungen sehr groß ist.

In der Summe lässt sich gegenwärtig feststellen, dass potenzielle Gefährdungen durch Nanopartikel existieren und dass kohärente Forschungsprogramme erforderlich sind. Diese

[37] Länge, Oberflächeneigenschaften, Größe der Agglomeration etc.

kommen gegenwärtig offenbar noch nicht in dem Maße voran, wie es notwendig wäre (economist 22/11/2007), die Anforderungen sind allerdings benannt (Oberdörster et al. 2005, Maynard et al. 2006, Balbus et al. 2007).

Im Grundsatz weisen die vorläufigen Ergebnisse darauf hin, dass im Umgang mit Nanopartikel Vorsorgemaßnahmen erforderlich sind, die im Wesentlichen darauf hinauslaufen sollten, dass die Emission von Nanopartikeln vermieden werden sollte, solange nur geringe Kenntnisse über deren Verhalten vorliegen[38].

Da in den meisten Anwendungen der Nanotechnologien die Partikel eingebettet sind (bspw. in einer Matrix) oder wie im Bereich der Elektronik eingehaust sind, ist davon auszugehen, dass vermutlich in der Gebrauchsphase nicht mit Freisetzungen zu rechnen ist. Allerdings liegen noch keine Untersuchungen über das Lebenszyklusverhalten (end of life) von Materialien mit Nanopartikeln vor.

Von Gleich (2006) geht, bei aller Vorsicht von Risikovergleichen, davon aus, dass die Risiken der Nanopartikel mit denen der Chemie vergleichbar seien: „ die Gefährdungsproblematik der passiven Nanostrukturen [ist] am ehesten vergleichbar […] mit derjenigen der synthetischen Chemie und der modernen Biotechnologie“.

Insofern ist auch im Umgang mit Nanopartikeln Vorsicht geboten, allerdings erscheinen weitreichende Maßnahmen, wie bspw. Vorschläge eines Moratoriums, weit überzogen zu sein.

Die NanoKommission (2008) hat vor dem Hintergrund des oben dargelegten begrenzten Wissens über die potenziellen Risiken der Nanotechnologien Forschungsprioritäten identifiziert: Dabei geht die NanoKommission (2008: 38f.), auf die folgenden erforderlichen Forschungen ein:

Charakterisierung und Identifizierung von Nanotechnologien

- Charakterisierung von Nanomaterialien
- Identifizierung der relevanten Nanomaterialien in Bezug auf Exposition

Meßmethoden und Messstrategien

Expositionsabschätzung und –analyse

- Expositionsabschätzung /-analyse von Nanomaterialien über den Lebensweg

Verhalten in der Umwelt

- Untersuchungen zum Verhalten der Nanomaterialien in der Umwelt
- Untersuchungen möglicher ökotoxikologischer Wirkungen von Nanomaterialien

[38] Im Rahmen der angeführten Studien wird auch darauf verwiesen, dass es möglich ist die Partikel so zu gestalten (teilw. coaten), dass die negativen Eigenschaften verloren gehen.

Toxikokologie und Toxikokinetik

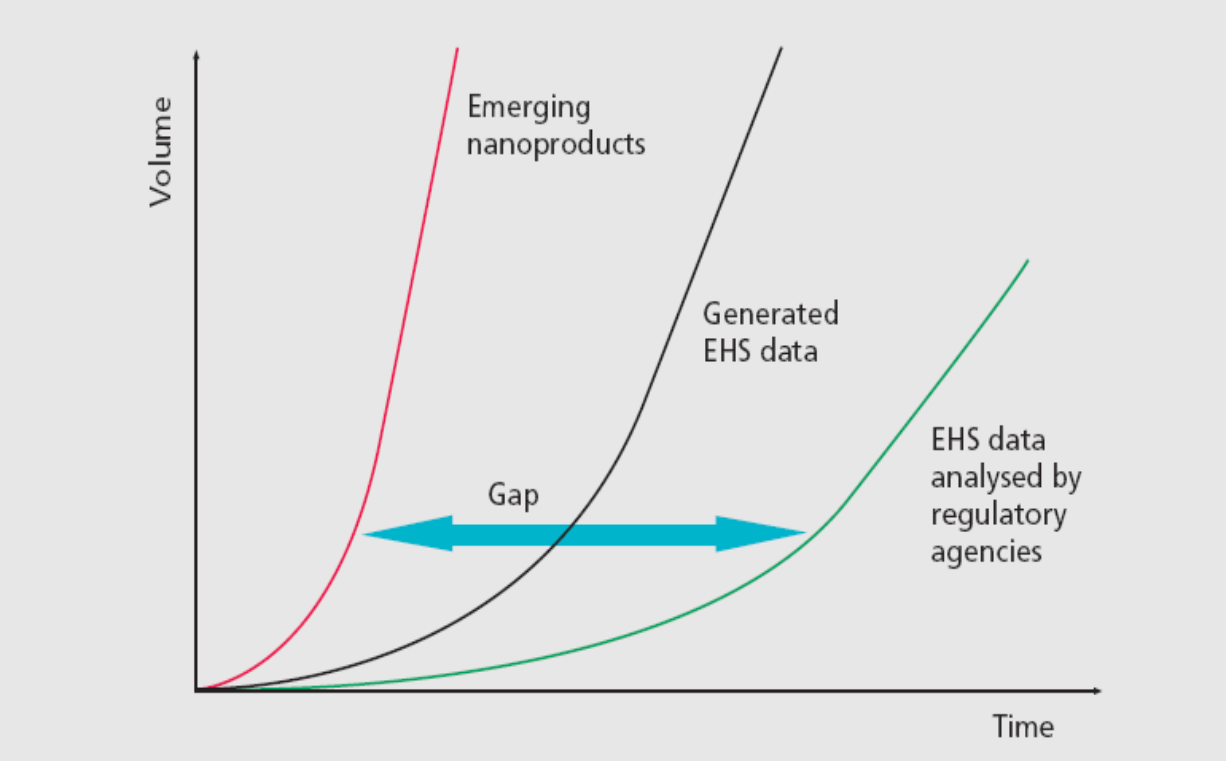
- Untersuchung möglicher toxikologischer Wirkungen von Nanomaterialien
- Toxikokinetik

Text- und Bewertungsstrategien

Aktuelle Risikobewertung von ausgewählten Nanomaterialien

Es wird deutlich, dass die potenziellen Risiken gegenwärtig kaum abschätzbar sind und erhebliche Forschungsbemühungen erforderlich sind. Im Grundsatz klafft eine Lücke zwischen den Produkten /Verfahren, die zunehmend auf den Markt kommen und dem Wissen über die Risiken. Die folgende Abbildung veranschaulicht diesen Sachverhalt:

Abbildung 27: Zeitliche Lücken zwischen Nanoprodukten am Markt und Kenntnissen zum Umwelt- und Gesundheitswirkungen



(Quelle: Royal Commission (2008); S. 30))

Dementsprechend erscheinen vorsorgeorientierte Ansätze (Besorgnisanalyse), wie sie bspw. in der Studie des Umweltbundesamtes (Steinfeldt et al. 2008) zu den Chancen der Nanotechnologie beschrieben wurden und ebenfalls von der NanoKommission (2008) entwickelt wurden, als sinnvoll und notwendig.

4.3 Ansatz zur vorläufigen Bewertung von Nanomaterialien - Besorgnisanalyse

Im Rahmen einer UBA Studie zu den Umweltentlastungseffekten durch Nanotechnologien, bei der mehrere Ökobilanzen (bzw. LCAs) durchgeführt wurden, ist ergänzend zu diesen LCAs eine „Besorgnissanalyse“ durchgeführt worden. Dies geschah mit Hinblick auf den Aspekt des unsicheren Wissens bezüglich der potenziellen Risiken für Umwelt und Gesundheit. Die generellen Kriterien der Besorgnisanalyse werden im Folgenden dargestellt.

Die toxikologische und ökotoxikologische Risikobewertung von Nanomaterialien versucht sich selbstverständlich auf wissenschaftliche Untersuchungen und experimentelle Versuche zu stützen, wie dies im Bereich der Gefahrstoffprüfung seit langem üblich ist. Gleichzeitig ist jedoch auch klar, dass diese Ergebnisse noch nicht vorliegen (können) und die Umsetzung entsprechender Forschungsprogramme noch einige Zeit in Anspruch nehmen wird. Angesichts der dynamischen Markteinführung von Nanomaterialien sollten deshalb auch jetzt schon Möglichkeiten zu einer vorläufigen Bewertung (preliminary assessment) erarbeitet werden. Mit Hilfe dieser Kriterien können zum einen diejenigen Nanomaterialien und Anwendungsbereiche erfasst werden, die prioritär in den entsprechenden Forschungsprogrammen untersucht werden sollten. Zum anderen können auf der Basis der Ergebnisse einer solchen vorläufigen Bewertung bereits erste Maßnahmen im Rahmen eines am Vorsorgeprinzip orientierten Risikomanagements ergriffen werden.

Im Rahmen der vom Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit federführend betreuten NanoKommission hat die Arbeitsgruppe ‚Risiken und Sicherheitsforschung‘ einen Katalog von Kriterien festgelegt, die zum einen durch hier definierte Besorgniskriterien einen Hinweis auf problematische Bereiche liefern, zum anderen durch Entlastungskriterien andeuten, in welchen Bereichen geringe Gefährdungen zu erwarten sind.

Entlastungsrelevant sind Hinweise die beschreiben, dass Nanomaterialien entweder dauerhaft fest in einer Matrix eingebunden sind, oder dass sie ihre möglicherweise problematischen Nanoeigenschaften rasch verlieren, z. B. durch gute Löslichkeit oder schnelle Abbaubarkeit. **Besorgnisrelevant** sind hingegen Hinweise auf eine erwartbar hohe Exposition (bis hin zur Nicht-Rückholbarkeit), auf mögliche problematische Wirkungen und nicht zuletzt auch auf Probleme beim Nachweis und bei der Verfolgung freigesetzter Nanomaterialien.

Die Kriterien sind als Hinweise auf zu erwartende (geringe oder höhere) Gefährdungen zu verstehen. Ihre Bedeutung nimmt in dem Maße ab, in dem das Wissen über Wirkungen und erwartbare Expositionen zunimmt. Die Arbeitsgruppe ‚Risiko und Sicherheitsforschung‘ versteht die Kriterien als ein relevantes Instrument für eine erste Einschätzung von Nanomate-

rialien. Beispielsweise deuten eine hohe Reaktivität, Mobilität und Persistenz von Nanomaterialien unter Berücksichtigung des Vorsorgeprinzips auf Handlungsbedarf hin, während für Nanomaterialien, die über den gesamten Produktlebenszyklus in einer Matrix fest gebunden sind, Freisetzungen und damit eine eventuelle Gefährdung von Mensch und Umwelt wenig wahrscheinlich ist.

Zu den **Entlastungskriterien** gehört insbesondere der Verlust der spezifischen Eigenschaften durch:

1. Gute **Löslichkeit** (in Wasser, in Körperflüssigkeiten,…)
2. Schnelle **Abbaubarkeit** (biologisch, photokatalytisch,…) in nicht toxische Abbauprodukte
3. Feste und dauerhafte **Einbindung in Matrices** (Stabilität der Matrix, Bindungsart, Verhalten end of life)
4. **Bildung stabiler, großer Aggregate,** Aggregationsverhalten (Größe, Stabilität, …)
5. Oberflächenmodifikationen und Nanostrukturen, die keine Partikel freisetzen und nicht reaktiv sind (z. B. Nanoporen, Lotuseffekt,…).

Die **Besorgniskriterien** beziehen sich auf drei Bereiche: 1. Hinweise auf eine erwartbar hohe Exposition, 2. Hinweise auf problematische Wirkungen und 3. Hinweise auf Probleme im Risikomanagement.

I. Hinweise auf eine erwartbar hohe Exposition:

a. **Produktionsmenge** (Anwendungsbereich und Expositionswahrscheinlichkeit)
b. Hohe **Mobilität** (in Organismen und Umwelt und/oder Mobilisierungspotenzial)
c. **Gezielte Freisetzung** (z. B. Grundwassersanierung, Agraranwendungen, verbrauchernahe Anwendungen, Innenraumanwendungen….)
d. **Persistenz** der Nanoeigenschaften
e. Bioakkumulation

II. Hinweise auf evtl. problematische Wirkungen:

- Hohe **Reaktivität** (katalytisch / chemisch / biologisch)
- Problematische **Morphologie**
- Hinweise auf problematische **Wechselwirkungen** (Huckepack)
- Hinweise auf problematische **Transformationen** oder Metaboliten

- Hinweise auf Veränderungen oder Verlust des Coatings und damit möglicherweise Freisetzung eines toxischen „Kernpartikels“

III. Hinweise auf Probleme im Risikomanagement:

- Schlechte **Nachweisbarkeit**
- Unklarer **Verbleib**

4.4 Zusammenfassung

In der Summe lässt sich gegenwärtig feststellen, dass potenzielle Gefährdungen durch Nanopartikel existieren und dass kohärente Forschungsprogramme erforderlich sind. Diese kommen gegenwärtig offenbar noch nicht in dem Maße voran, wie es notwendig wäre, die Anforderungen an entsprechende Forschungsprogramme sind allerdings benannt.

Im Grundsatz weisen die vorläufigen Ergebnisse darauf hin, dass im Umgang mit Nanopartikeln Vorsorgemaßnahmen erforderlich sind, die im Wesentlichen darauf hinauslaufen sollten, dass die Emission von Nanopartikeln vermieden werden sollte solange nur geringe Kenntnisse über deren Verhalten vorliegen[39].

[39] Im Rahmen der angeführten Studien wird auch darauf verwiesen, dass es möglich ist die Partikel so zu gestalten (teilw. coaten), dass die negativen Eigenschaften verloren gehen.

5 Anbieter und Anwender der Nanotechnologie

5.1 Schriftliche Unternehmensbefragung

Über die konkrete Bedeutung der Nanotechnologie für die Unternehmen liegen gegenwärtig nur wenige Informationen vor. Dies gilt insbesondere für die umweltrelevanten Fragestellungen. Um Informationen über die Bedeutung von Nanotechnologien für die Unternehmen (u.a. Einsatzgebiete, Umwelt- und Ressourceneffekte, hemmende und fördernde Faktoren des Einsatzes von Nanotechnologien) zu erlangen, wurden deshalb zwei Unternehmensbefragungen durchgeführt. Die eine Befragung richtete sich an Nanotechnologieunternehmen mit dem Fokus auf Umwelt- und Ressourcenschutz, die zweite an Unternehmen des Umweltmarktes mit dem Fokus der Analyse auf den Einsatz der Nanotechnologien auf dem Umweltmarkt.

Dazu wurden die relevanten Unternehmen identifiziert und angeschrieben mit der Bitte, einen eigens entwickelten Fragebogen auszufüllen. (vgl. Anhang II auf Seite 476 sowie Anhang III auf Seite 480) In der Folge erfolgt zunächst die Auswertung der zurückgesandten Fragebögen der Nanotechnologieunternehmen und im Anschluss daran die der Unternehmen des Umweltmarktes.

5.1.1 Vorgehen und Methoden

5.1.1.1 Umfrage unter deutschen Nanotechnologie-Unternehmen

Für die Umfrage unter deutschen Nanotechnologie anwendenden Unternehmen wurden 866 Unternehmen identifiziert und angeschrieben. Eine umfangreiche Erläuterung zur Auswahl und Identifizierung dieser Unternehmen ist im Kapitel 3.1 zu finden. Der Schwerpunkt dieser Studie liegt auf die NRW-Nanofirmen, weshalb auch auf spezielle NRW-Nanodatenbanken, wie z.B. der Nanoatlas NRW vom IVAM e.V., zurückgegriffen wurde.

5.1.1.2 Umfrage unter nordrhein-westfälischen Umweltwirtschafts-Unternehmen

Die Adressen der Unternehmen, die sich dem Umweltmarkt zuordnen, wurden aus der Datenbank umweltwirtschaft.nrw.de und der Umfis-Datenbank identifiziert. Die beiden Datenbanken wurden miteinander abgeglichen, um Doppelnennungen zu eliminieren.

Bei der Datenbank umweltwirtschaft.nrw.de handelt es sich um eine kostenlose Infobörse über die Umweltwirtschaft in NRW und wird von dem Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen herausgegeben. In dieser Datenbank sind

laut Herausgeber über 800 Firmen gelistet. Eine Unterteilung der Firmen ist in folgende Bereiche vorgenommen:

Anbieter aus dem Bereich Forschung:	53
Anbieter aus dem Bereich Industrie:	172
Anbieter aus dem Bereich Behörden:	33
Anbieter aus dem Bereich Instituten:	22
Anbieter aus dem Bereich Dienstleistungen:	222
Anbieter aus dem Bereich Handwerk:	40
Anbieter aus dem Bereich Beratung:	173

Innerhalb dieser Bereiche treten auch Mehrfachnennungen der Firmen auf. Zur Analyse wurden 263 Firmen aus den Bereichen Forschung, Industrie, Dienstleistungen und Handwerk identifiziert.

Die zweite Datenquelle bildete das Umweltfirmen-Informationssystem der Industrie und Handelskammer (umfis.de) – eine Übersicht von über 10.000 Dienstleistungsunternehmen, Beratern, Herstellern und Händlern aus dem Umweltschutzbereich. Diese Datenbank enthält bundesweite Firmeneinträge und lässt über eine komplexe Suchmaske, zielgenaue Umweltfirmensuchen zu. Für NRW werden 1.604 Firmen aufgeführt. Um eine für diese Studie interessante Auswahl aus diesem Firmen zu treffen, wurde an Hand von Kriterien selektiert, um solche Unternehmen zu identifizieren, die nach unserer Einschätzung am ehesten mit Nanotechnologie befasst sein könnten (bspw. Filter, Abwasserbehandlung etc.). Die Firmen lassen sich nach 1329 Schlagwörtern sortieren. 149 Schlagwörter wurden aufgrund einer Vorauswahl ausgewählt. Diese richtete sich auf die Umweltbereiche, in denen heute oder zukünftig Nanopartikel, -verfahren oder –produkte Einfluss auf den Umweltschutz bzw. die –technik nehmen bzw. nehmen können. Von den 1604 Firmen wurden so 791 Firmen aus der umfis-Datenbank ausgewählt. Durch Zusammenführen der beiden verschiedenen Listen und der Eliminierung von Doppelnennungen wurden 937 Umweltfirmen aus NRW identifiziert und zum Zwecke der Befragung angeschrieben.

5.1.2 Ergebnisse

Fragebogen für Nanotechnologie-Unternehmen

Von den 866 an Nano-Unternehmen verschickten Fragebögen haben insgesamt 168 schriftlich sowie teilweise auch telefonisch eine Rückantwort gegeben (Antwortquote: 19,4 %). Davon haben 24 Unternehmen lediglich mitgeteilt, dass sie sich als dem Berichtskreis nicht zugehö-

rig ansehen bzw. aus verschiedenen Gründen[40] nicht an der Umfrage teilnehmen möchten, ohne jedoch den Fragebogen ausgefüllt zu haben. Insgesamt 144 Unternehmen haben sich zu ihrem Nanobezug geäußert. Darunter fallen sowohl die 109 zurückgeschickten auswertbaren Fragebögen sowie die Mitteilung per E-Mail oder Telefon, dass ihr Unternehmen sich nicht mit der Nanotechnologie beschäftigt. Somit wurde eine Rücklaufquote von 12,6 % (n=109) erzielt. Eine Vielzahl von Unternehmen die telefonisch oder per E-Mail eine Nanozugehörigkeit verneinten, sind jedoch in verschiedenen Datenbanken gelistet und lassen sich auch teilweise direkt Nanoprodukte bzw. unter Einsatz von Nanoverfahren hergestellte Produkte oder Dienstleistungen zuordnen. Ob die Verneinung der Nanotechnologiezugehörigkeit im Zusammenhang mit den Fragebögen somit immer begründet war, ist an dieser Stelle nicht abschließend zu klären.

Fragebogen für Umwelttechnik-Unternehmen aus NRW

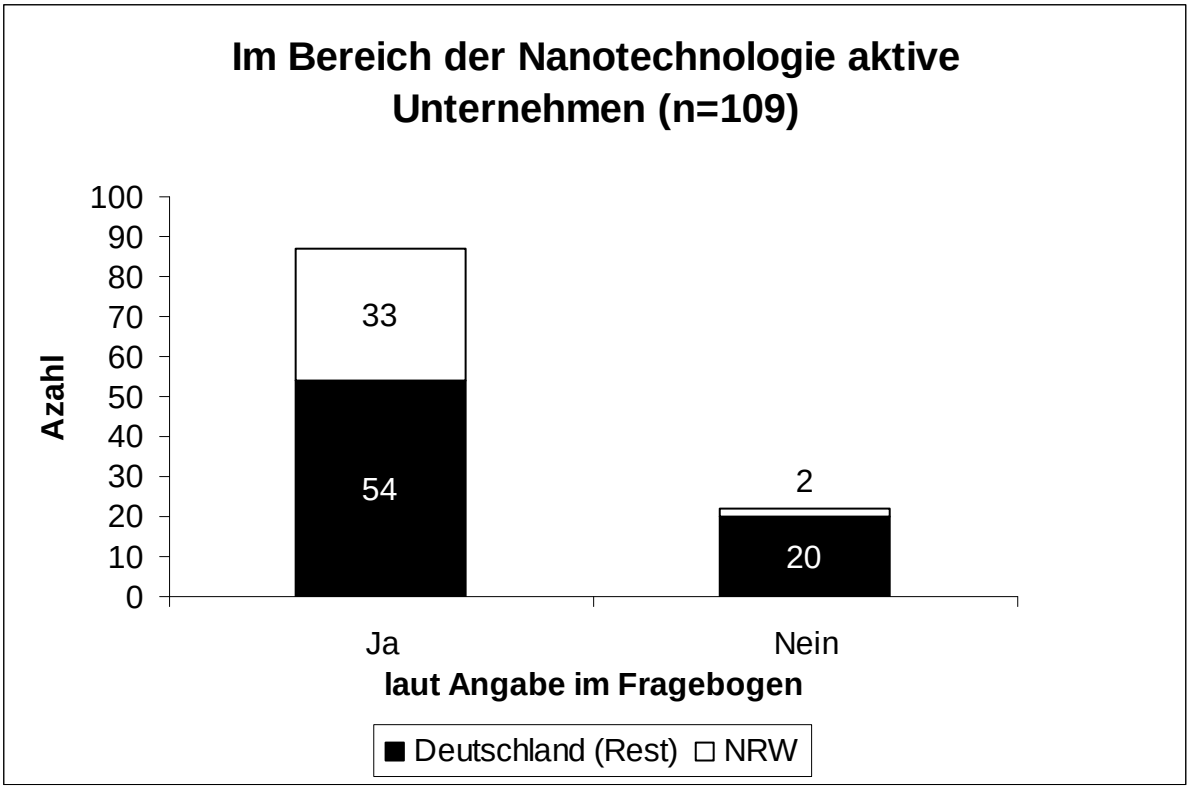
Von den 937 angeschriebenen Umwelttechnik-Unternehmen haben 152 schriftlich sowie teilweise auch telefonisch eine Rückantwort gegeben (Antwortquote: 16,2 %). 104 Fragebögen wurden zurückgesandt, wobei 10 Unternehmen sich nicht dem Umweltmarkt zugehörig ansehen. Somit beträgt die Rücklaufquote der auswertbaren Fragebögen 10 % (n=94).

[40] Häufige Gründe für die Nichtteilnahme an der Umfrage waren Zeitmangel bzw. zu großer Aufwand (13) sowie die zu hohe Sensibilität der abgefragten Daten (5)

5.1.2.1 Umfrage unter deutschen Nanotechnologie-Unternehmen

5.1.2.1.1 Strukturelle Zusammensetzung der Unternehmen

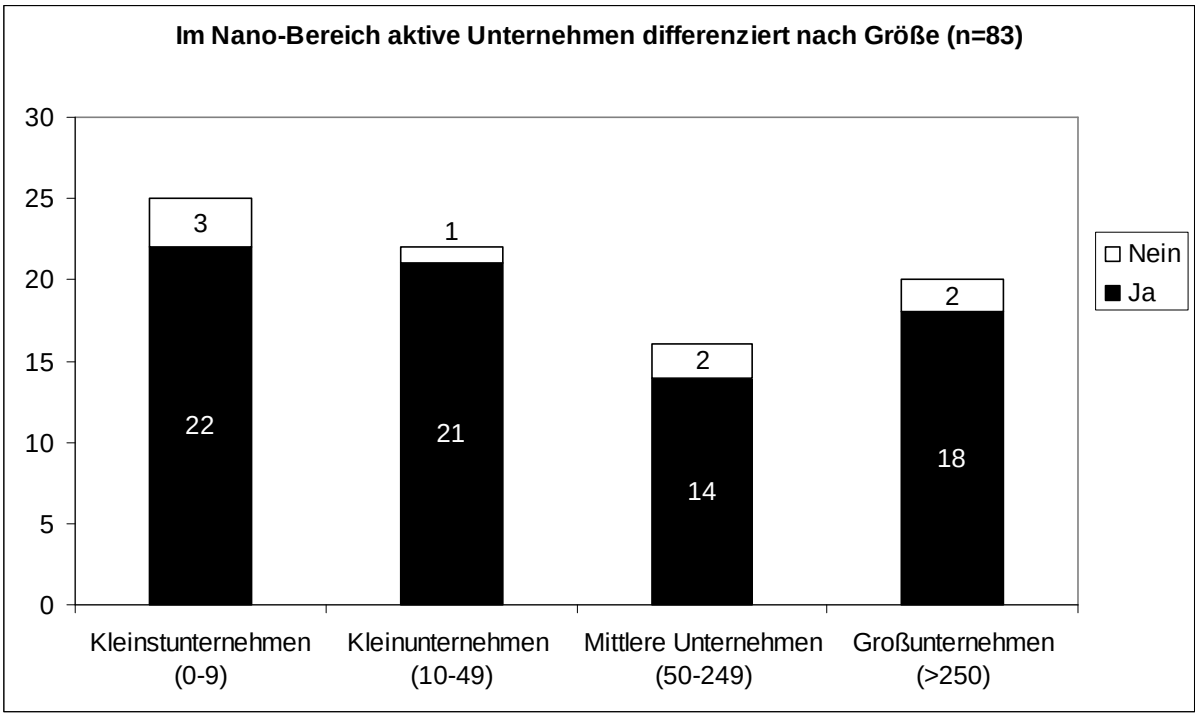
Abbildung 28: Im Bereich der Nanotechnologie aktive Unternehmen



(Quelle: eigene Erhebung)

In Abbildung 28 ist zu sehen, dass von den 109 Unternehmen, die den Fragebogen bearbeitet haben, 22 (20,2 %) angeben, derzeit nicht im Bereich Nanotechnologie tätig zu sein. 9 von diesen Unternehmen planen jedoch, kurz- bis mittelfristig Aktivitäten im Bereich Nanotechnologie aufzunehmen. 87 der 109 Unternehmen (79,8 %) sind derzeit im Bereich Nanotechnologie tätig.

Abbildung 29: Im Nanobereich aktive Unternehmen differenziert nach Größe



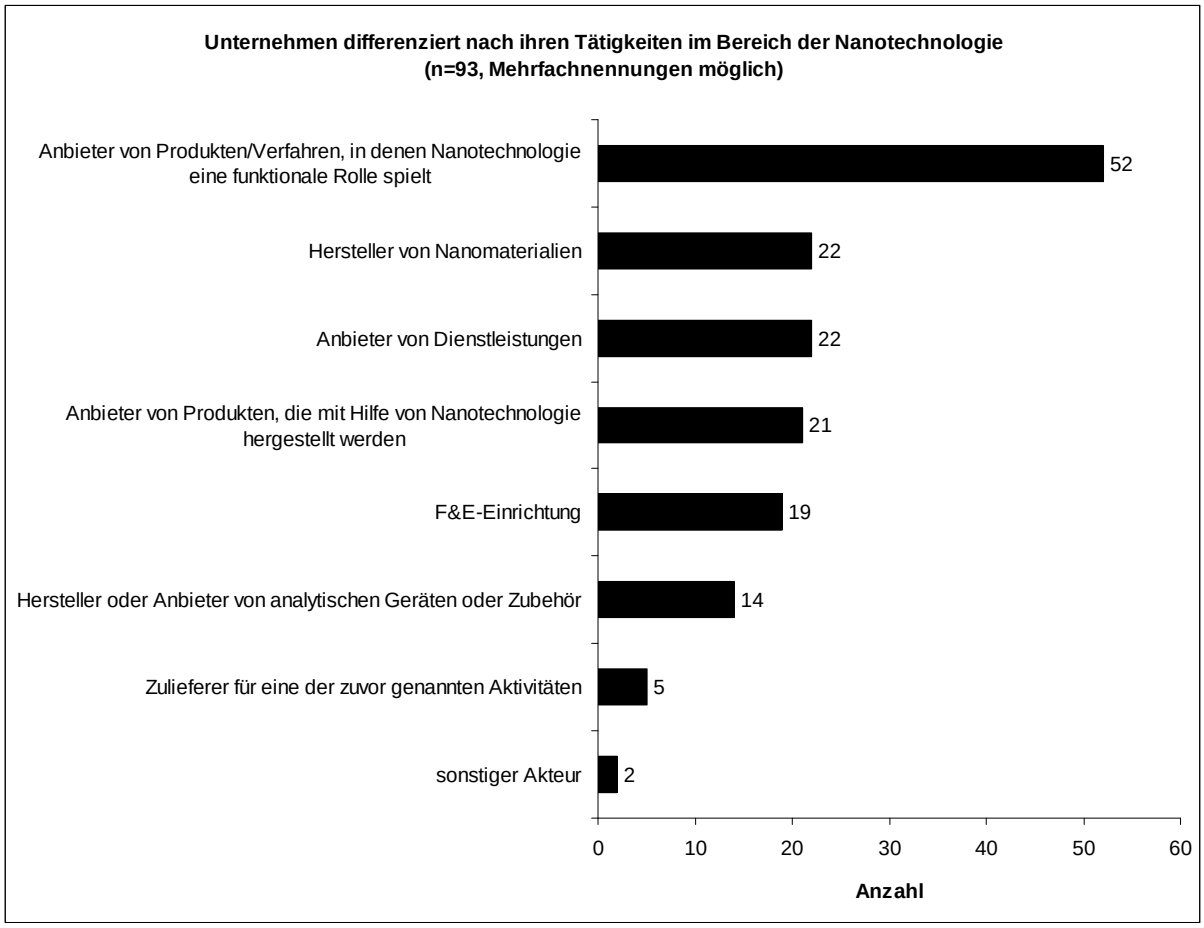
(Quelle: eigene Erhebung)

Die Abbildung zeigt die Unternehmensgrößenstrukturen des Berichtskreises (bzw. der antwortenden Unternehmen an). Es wird deutlich, dass ca. 56 % der Unternehmen Kleinst- bzw. Kleinunternehmen mit bis zu 50 Beschäftigten sind. 44 % der Unternehmen sind mittlere bzw. Großunternehmen.

Der Anteil an Großunternehmen erweist sich für entsprechende Befragungen als relativ hoch, ein Indiz dafür, dass Nanotechnologie, im Gegensatz bspw. zur Biotechnologie, von etablierten Unternehmen betrieben wird und damit auch von Kernsektoren der deutschen Wirtschaft getragen wird.

5.1.2.1.2 Tätigkeitsfelder der Unternehmen

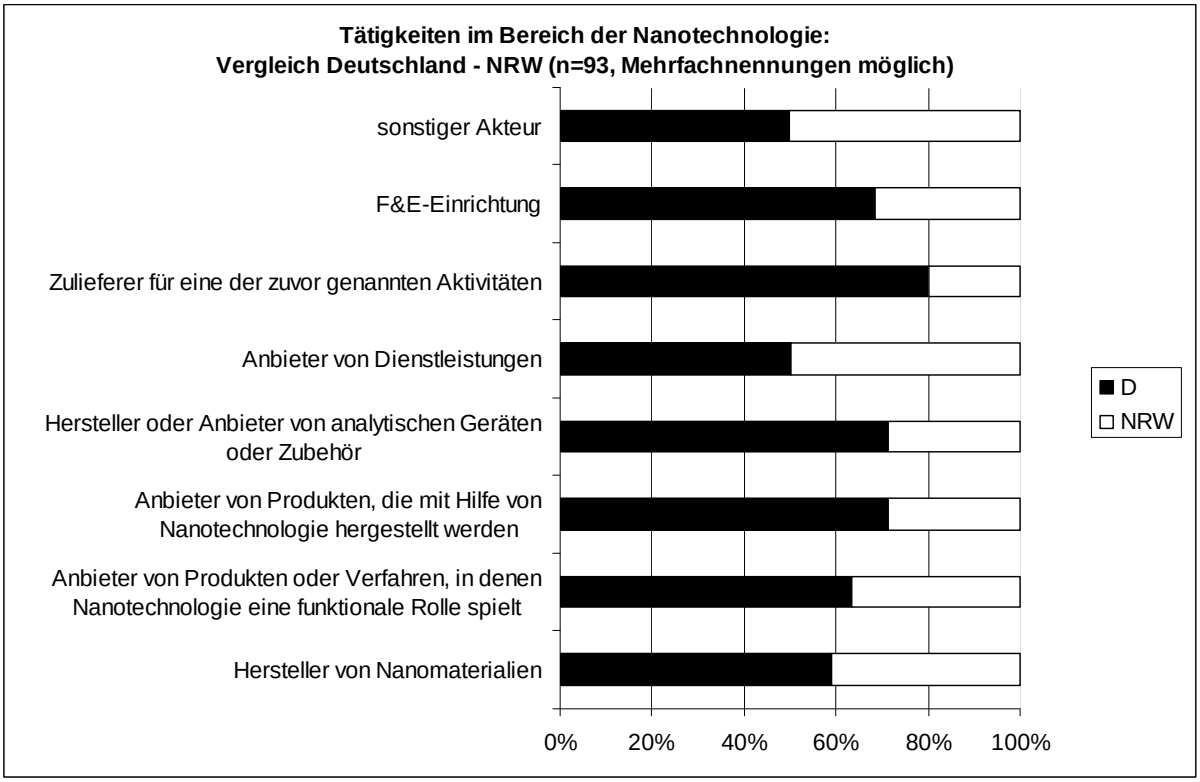
Abbildung 30: Unternehmen differenziert nach ihren Tätigkeiten im Bereich der Nanotechnologie



(Quelle: eigene Erhebung; Mehrfachnennungen möglich)

Die Abbildung 30 zeigt, dass die Unternehmen des Berichtskreises sich überwiegend als „Anbieter von Produkten und Verfahren“ verstehen, „in denen Nanotechnologie eine funktionale Rolle spielt“ (52 Nennungen). Die Kategorien „Hersteller von Nanomaterialien“, „Anbieter von Produkten, die mit Hilfe von Nanotechnologie hergestellt werden“, „Anbieter von Dienstleistungen“ und „FuE-Einrichtungen“ sind mit Nennungen von jeweils ca. 20 Unternehmen vertreten.

Abbildung 31: Tätigkeiten im Bereich der Nanotechnologie

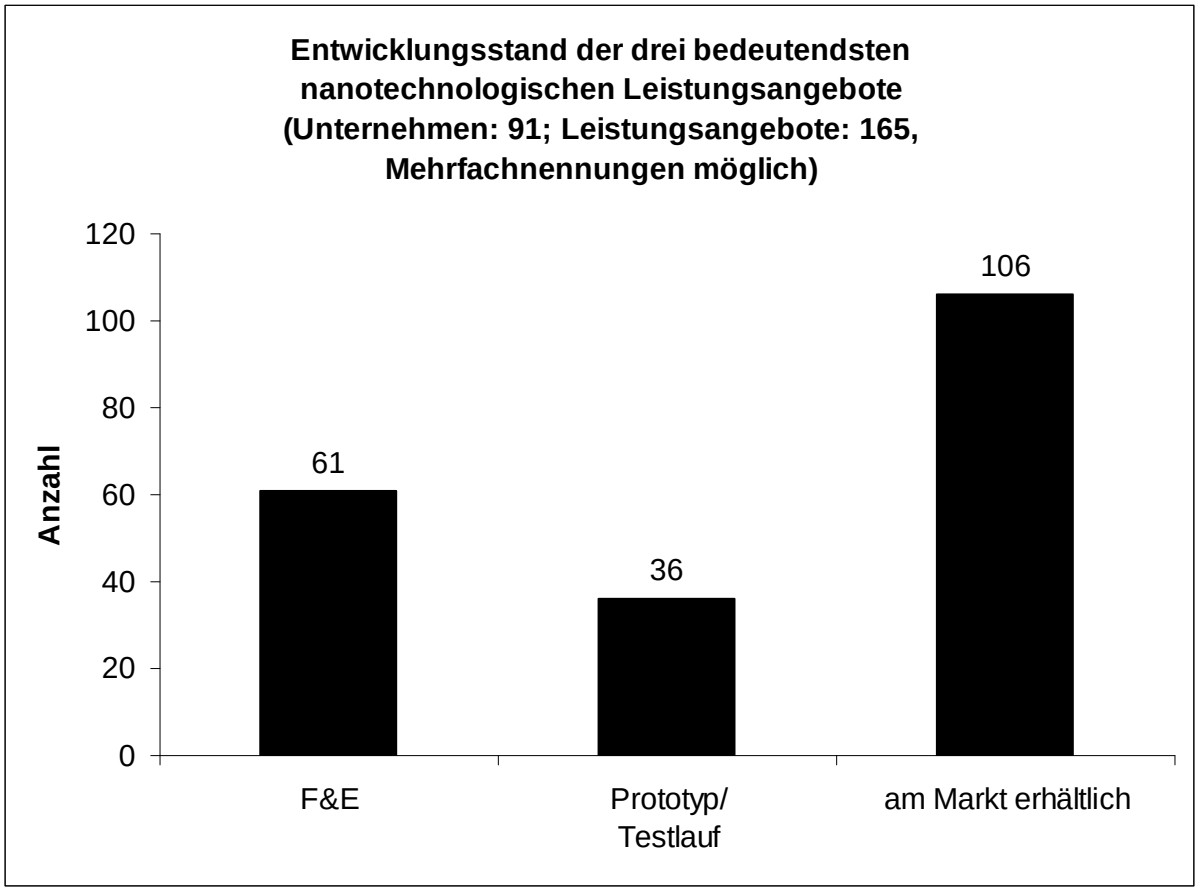


(Quelle: eigene Erhebung)

Die Abbildung zeigt die regionale Verteilung des Berichtskreises nach Tätigkeitsbereichen auf. Bei einem Anteil der NRW-Unternehmen von etwas über 60 % an dem Berichtskreis wird deutlich, dass die NRW-Unternehmen in einigen Bereichen über- bzw. unterrepräsentiert sind. So wird deutlich, dass NRW-Unternehmen in den Kategorien „Anbieter von Dienstleistungen“ und „Hersteller von Nanomaterialien“ überdurchschnittlich vertreten sind. Die Kategorie „sonstiger Akteur“, bei der NRW stärker vertreten ist, ist auf Grund der geringen Zahl der Nennungen nicht aussagekräftig.

5.1.2.1.3 Stadium der Entwicklung der Leistungsangebote im Bereich Nanotechnologie

Abbildung 32: Entwicklungsstand der bedeutendsten nanotechnologischen Leistungsangebote

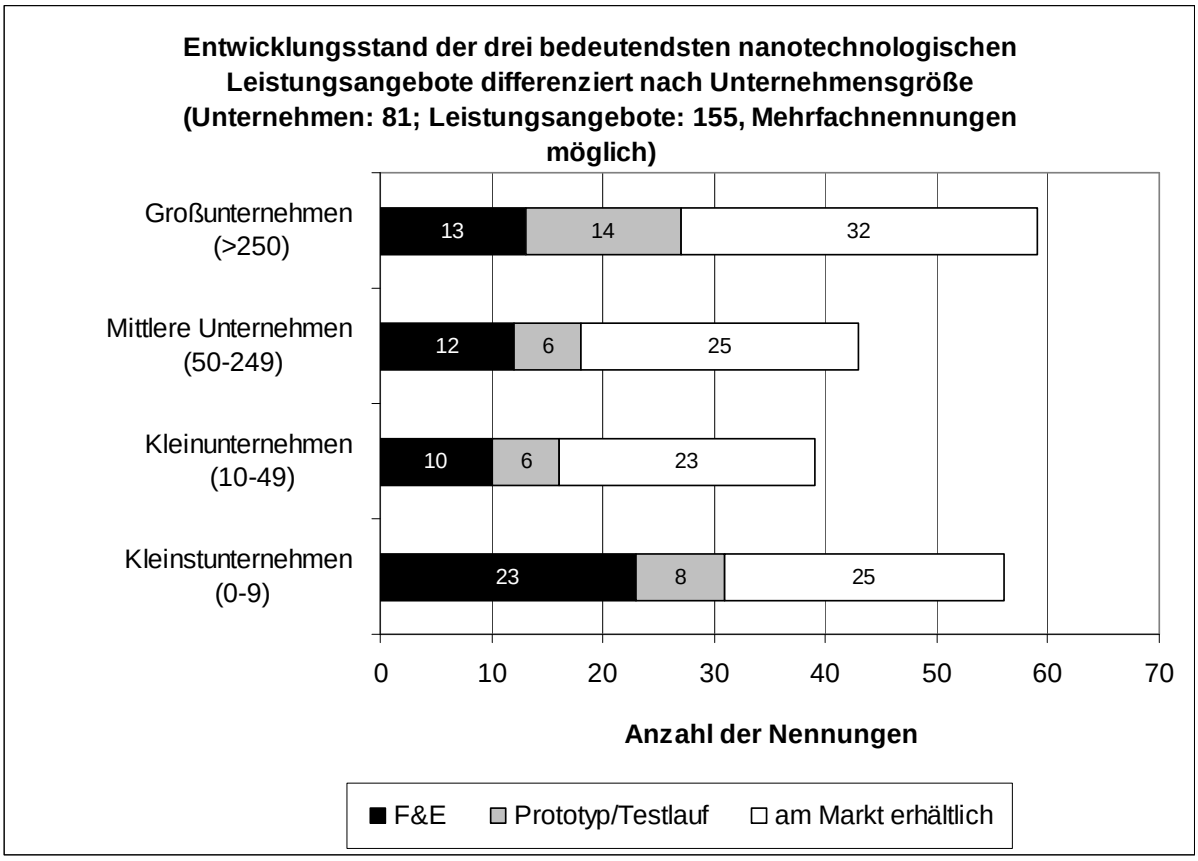


(Quelle: eigene Erhebung; tlw. Mehrfachnennungen)

Insgesamt wurden von den 91 Unternehmen, die die Frage nach den drei wichtigsten Leistungsangeboten im Bereich Nanotechnologie beantwortet haben, 188 Nennungen gemacht. Dies entspricht durchschnittlich ca. 2 Leistungsangeboten pro Unternehmen. Im Fragebogen ist darum gebeten worden, den gegenwärtigen Entwicklungsstand der nanotechnologischen Leistungsangebote anzugeben. Dies ergab, dass derzeit bereits 106 Leistungsangebote am Markt erhältlich sind. Weitere 36 Leistungsangebote befinden sich im Prototypen-Stadium und 61 in der Forschung und Entwicklung. Die im Vergleich zu den genannten Leistungsangeboten höhere Gesamtzahl der Differenzierungen (203) deutet darauf hin, dass sich hinter einigen der Leistungsangebote verschiedene weitere Angebote verbergen, die jeweils einen unterschiedlichen Entwicklungsstand aufweisen.

Eine Differenzierung nach Unternehmensgröße findet sich in der folgenden Abbildung 33.

Abbildung 33: Entwicklungsstand der drei bedeutendsten nanotechnologischen Leistungsangebote differenziert nach Unternehmensgröße

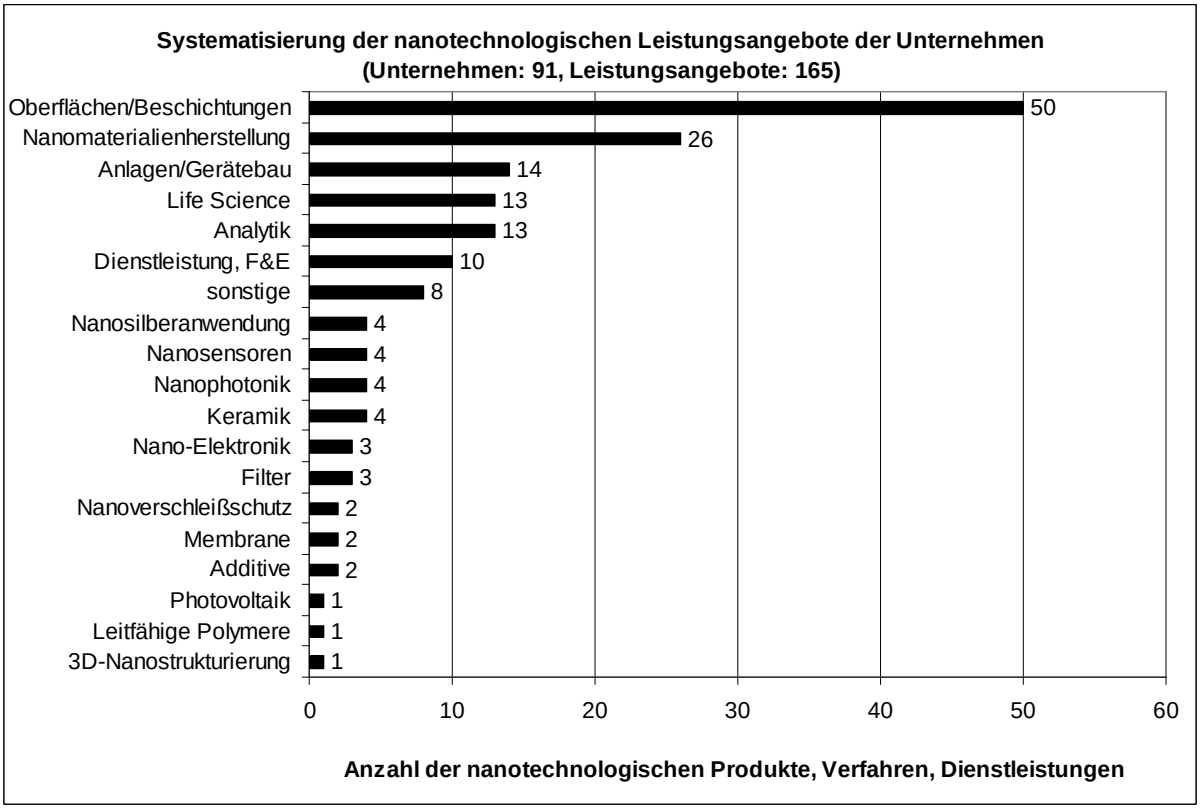


(Quelle: eigene Erhebung)

Die Differenzierung nach der Unternehmensgröße verdeutlicht, dass die Unternehmen aller Unternehmensgrößen in allen drei Kategorien (in FuE befindlich, Prototyp/Testlauf und am Markt erhältlich) über Leistungsangebote verfügen. Erwähnenswert ist der hohe Anteil von Leistungsangeboten in der Phase der FuE bei den Kleinstunternehmen (gleichzeitig der relativ geringere Anteil an Leistungsangeboten die sich am Markt befinden) und bei den Großunternehmen, die über ein ausgewogenes Portfolio verfügen, indem die überwiegenden Leistungsangebote bereits auf dem Markt verfügbar sind und sich eine relevante Anzahl von Leistungsangeboten in der "Pipeline", also im Stadium Prototyp bzw. Testlauf befinden.

Die Leistungsangebote, die die Unternehmen angegeben haben, wurden durch den Auftragnehmer kategorisiert. Die folgende Abbildung 34 stellt diese durch die Autoren vorgenommene Zuordnung dar.

Abbildung 34: Systematisierung der nanotechnologischen Leistungsangebote der Unternehmen

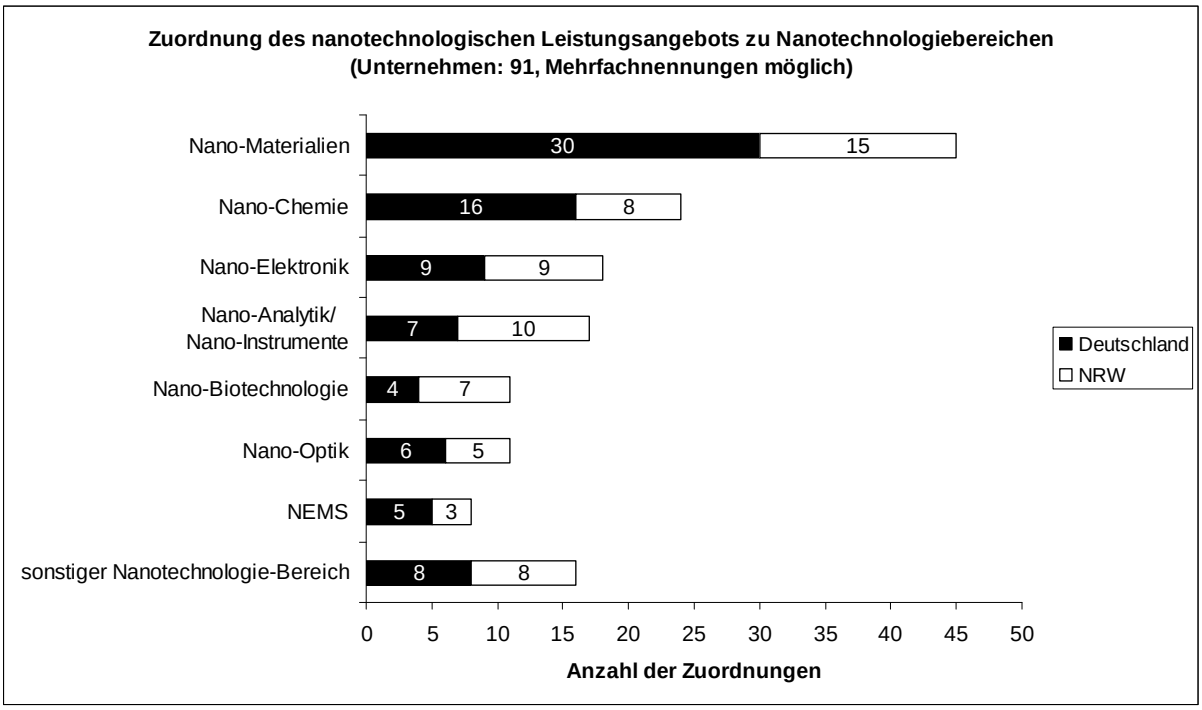


(Quelle: eigene Erhebung)

Die Systematisierung der Leistungsangebote der Unternehmen ergibt ein vergleichsweise klares Bild: Die Leistungsangebote sind ganz überwiegend sechs Kategorien zugeordnet, wobei die Bereiche Oberflächen/Beschichtungen und Nanomaterialherstellung mit Abstand am häufigsten genannt wurden. Dahinter die Bereiche Anlagen/Gerätebau, Life Science, Analytik und Dienstleistungen/FuE.

Die eigene Zuordnung der Unternehmen nach den vorgegebenen Kategorien wird in der folgenden Abbildung dargestellt.

Abbildung 35: Zuordnung des nanotechnologischen Leistungsangebots zu Nanotechnologiebereichen



(Quelle: eigene Erhebung)

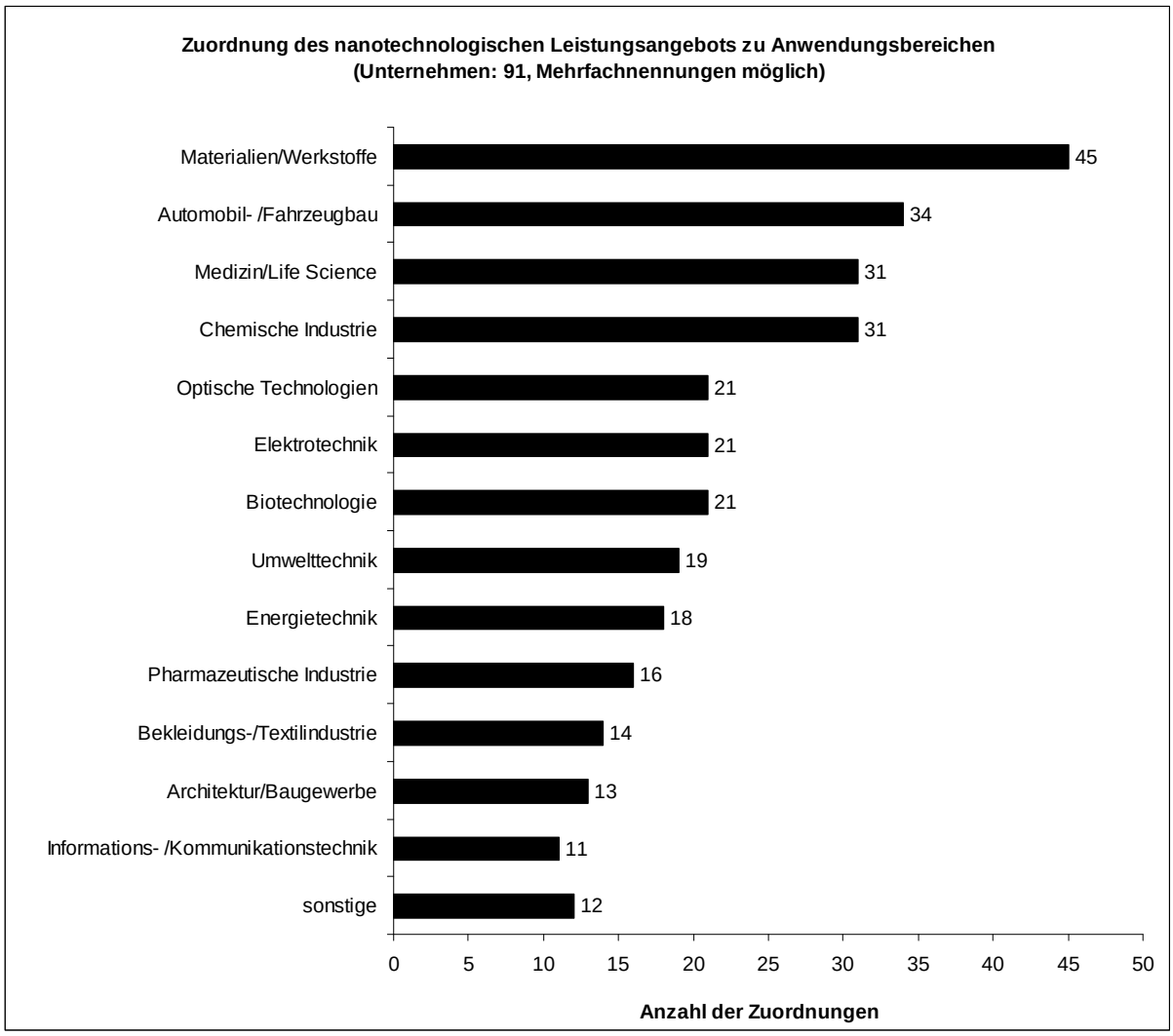
Der Vergleich der Leistungsangebote der Unternehmen des Berichtskreises zwischen Deutschland und NRW macht deutlich, dass bei einer geringen Zahl der Angaben NRW-Unternehmen überdurchschnittlich in den Bereichen Nano-Optik, Nano-Elektronik, Nanobiotechnologie und Nano-Analytik vertreten sind.

Weiterhin ist festzustellen, dass die Unternehmen des Berichtskreises sich hinsichtlich der Nanotechnologiebereiche überwiegend den Bereichen „Nano-Materialien“ (45 Nennungen) zuordnen, weit vor den Bereichen „Nano-Chemie“ (24), „Nano-Elektronik“ (18) und „Nano-Analytik“ (17) sowie „Nano-Optik“ und „Nano-Biotechnologie“ (jeweils 11) (siehe Abbildung 35).

Die nach Unternehmensgrößen differenzierte Auswertung ergab keine systematischen Unterschiede der Nanotechnologieleistungen nach den Unternehmen.

5.1.2.1.4 Anwendungsbereiche der Leistungsangebote im Bereich Nanotechnologie

Abbildung 36: Zuordnung des nanotechnologischen Leistungsangebots zu Anwendungsbereichen



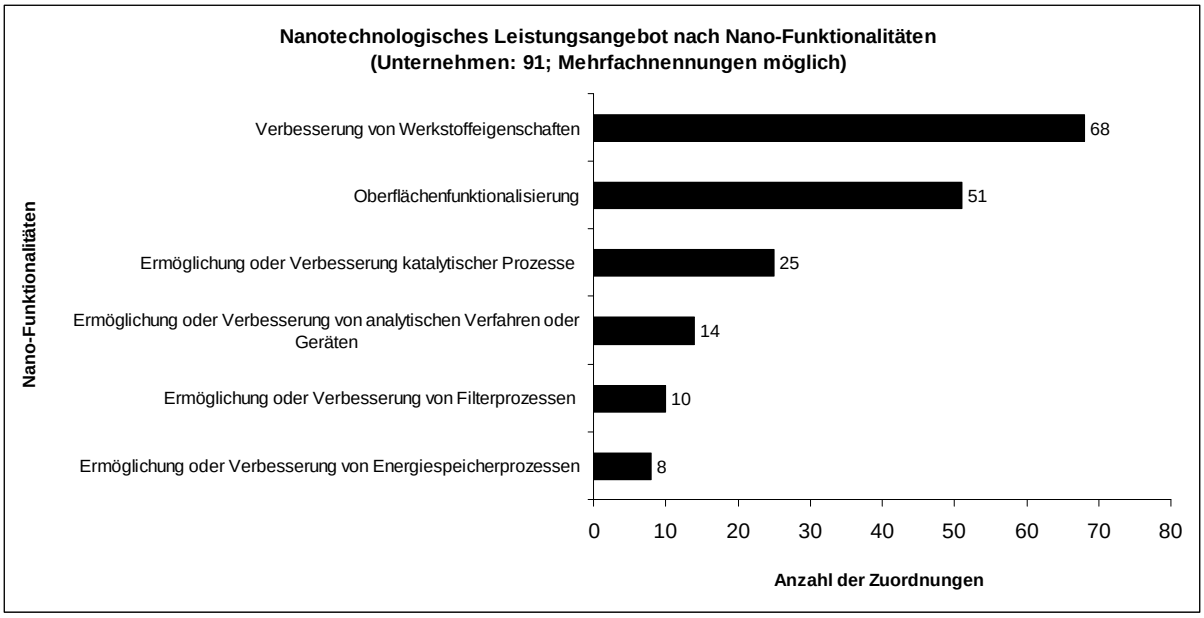
(Quelle: eigene Erhebung; Mehrfachnennungen möglich)

Wie die Abbildung 36 zeigt, werden als konkrete Anwendungsbereiche der von den Unternehmen genannten Leistungsangebote im Bereich Nanotechnologie am häufigsten „Materialien/Werkstoffe“ (45 Nennungen), „Automobil-/Fahrzeugbau“ (34), Medizin/Life Science“ (31), „Chemische Industrie“ (31) sowie „optische Technologien“ (21), „Biotechnologie“ (21) und „Elektrotechnik“ (21) genannt. „Umwelttechnik“ wird von 19 Unternehmen angegeben, „Energietechnik“ von 18, „Textilindustrie“ ist mit 14 und „Baugewerbe“ mit 13 Nennungen vertreten. Hierzu ist anzumerken, dass die hohe Gesamtzahl der Nennungen (307) auf häufige Mehrfachnennungen hinweist. Bei insgesamt 96 Unternehmen, die derzeit oder zukünftig im Bereich Nanotechnologie aktiv sind, entspricht dies einer durchschnittlichen Mehrfachnennung von 3,2 Anwendungsbereichen pro Unternehmen. Daraus ließe sich die Vermutung

ableiten, dass viele der nanotechnologischen Produkte, Verfahren und Dienstleistungen für ein breites Anwendungsspektrum infrage kommen und nicht ausschließlich als Nischenanwendungen relevant sind.

5.1.2.1.5 Leistungsangebote im Bereich Nanotechnologie nach Nano-Funktionalitäten

Abbildung 37: Nanotechnologisches Leistungsangebot nach Nano-Funktionalitäten

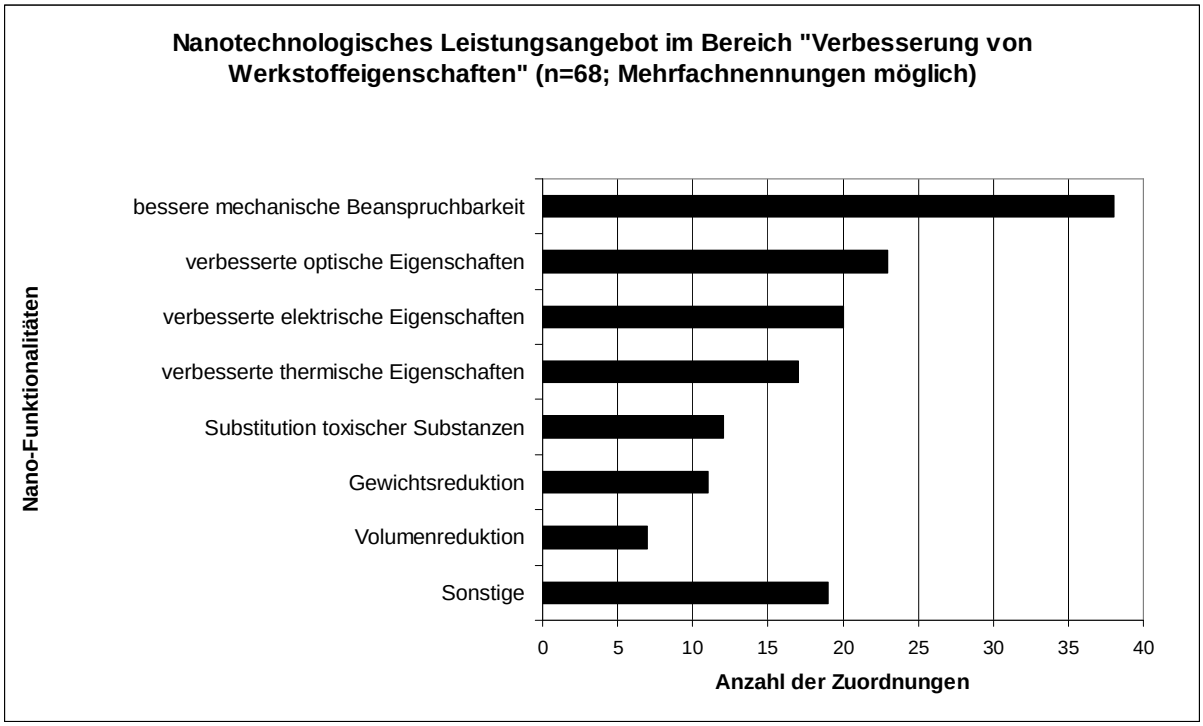


(Quelle: eigene Erhebung; Mehrfachnennungen möglich)

Die von den Unternehmen genannten Nanotechnologieleistungen bzw. -produkte basieren ganz überwiegend auf der „Verbesserung von Werkstoffeigenschaften“ (68 Nennungen) sowie der „Oberflächenfunktionalisierung“ (51). Andere Funktionalitäten, welche durch die Nanotechnologie erreicht werden können, wurden hingegen sehr viel seltener genannt: „Verbesserung von katalytischen Prozessen“ (25), „Ermöglichung der oder Verbesserung von analytischen Verfahren oder Geräten“ (14), „Ermöglichung oder Verbesserung von Filterprozessen“ (10) sowie „Verbesserung von Energiespeicherprozessen“ (8) (siehe Abbildung 37).

Die in Abbildung 37 dargestellten Kategorien (bspw. Verbesserung der Werkstoffeigenschaften, Oberflächenfunktionalisierung etc.) wurden in dem versandten Fragebogen weiter differenziert abgefragt.

Abbildung 38:Nanotechnologisches Leistungsangebot im Bereich "Verbesserung von Werkstoffeigenschaften"

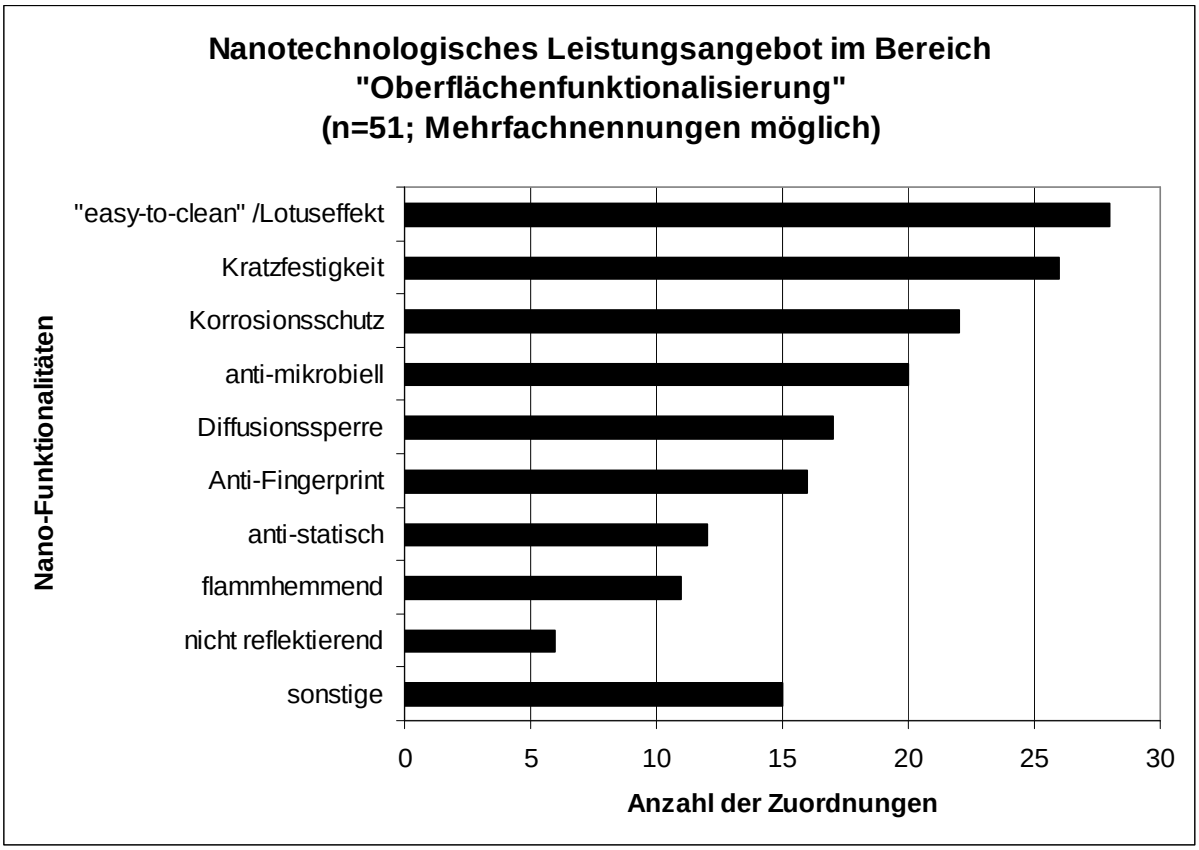


(Quelle: eigene Erhebung)

Bei den Verbesserungen der Werkstoffeigenschaften, die durch den Einsatz von Nanotechnologie erreicht wird, wird von den 68 Unternehmen des Berichtskreises, die Angaben zu dieser Frage gemacht haben, mit 38 Nennungen vor allem die bessere mechanische Beanspruchbarkeit erwähnt. Die Verbesserung der optischen, elektrischen und thermischen Eigenschaften durch den Einsatz von Nanotechnologien wird in der Folge von den Unternehmen angegeben. Explizit umweltorientierte Verbesserungen der Werkstoffeigenschaften, wie bspw. Substitution toxischer Substanzen, werden hingegen nur von 12 Unternehmen angegeben.

Nach den Verbesserungen der Werkstoffeigenschaften hat der Bereich Oberflächenfunktionalisierung bei den Nennungen bzgl. der Nanotechnologieleistungen nach Funktionalitäten die höchste Zahl der Nennungen. Eine detaillierte Darstellung der „Typen“ der Oberflächenfunktionalisierung findet sich in der folgenden Abbildung.

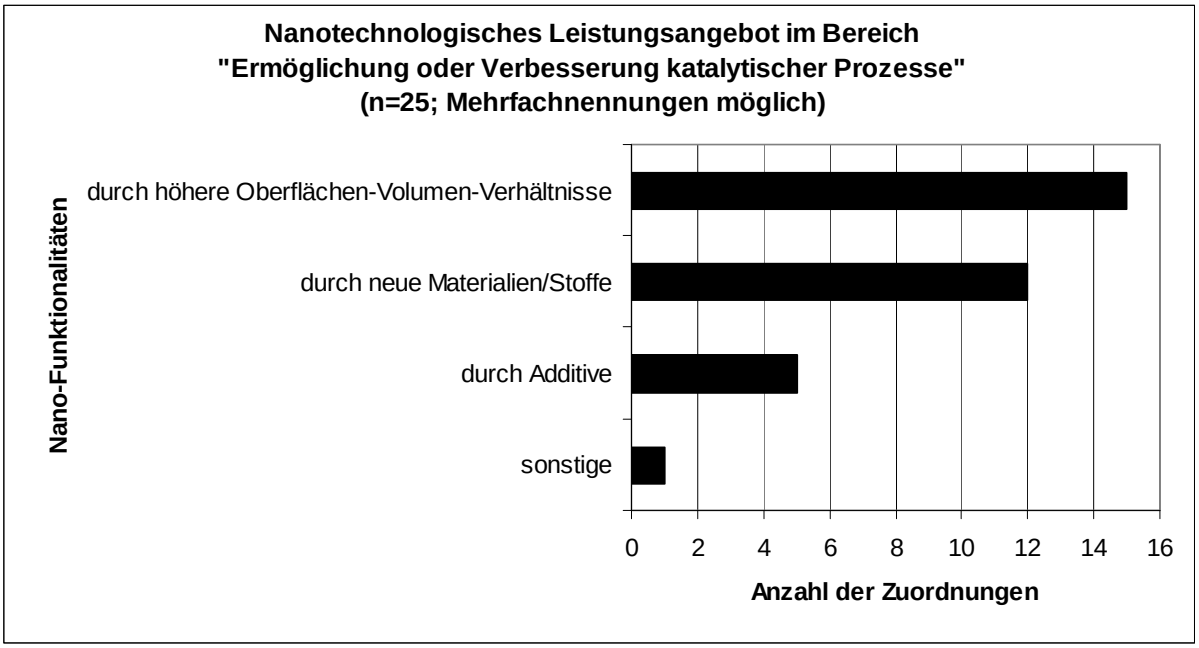
Abbildung 39: Nanotechnologisches Leistungsangebot im Bereich "Oberflächenfunktionalisierung"



(Quelle: eigene Erhebung)

Die überwiegende Zahl der Nennungen der Unternehmen des Berichtskreises hinsichtlich der Oberflächenfunktionalisierung bezieht sich auf „easy to clean“ /Lotuseffekt mit 28 Nennungen noch vor Kratzfestigkeit (26) und Korrosionsschutz (22). Die anti-mikrobiellen Oberflächeneigenschaften werden von 20 Unternehmen genannt.

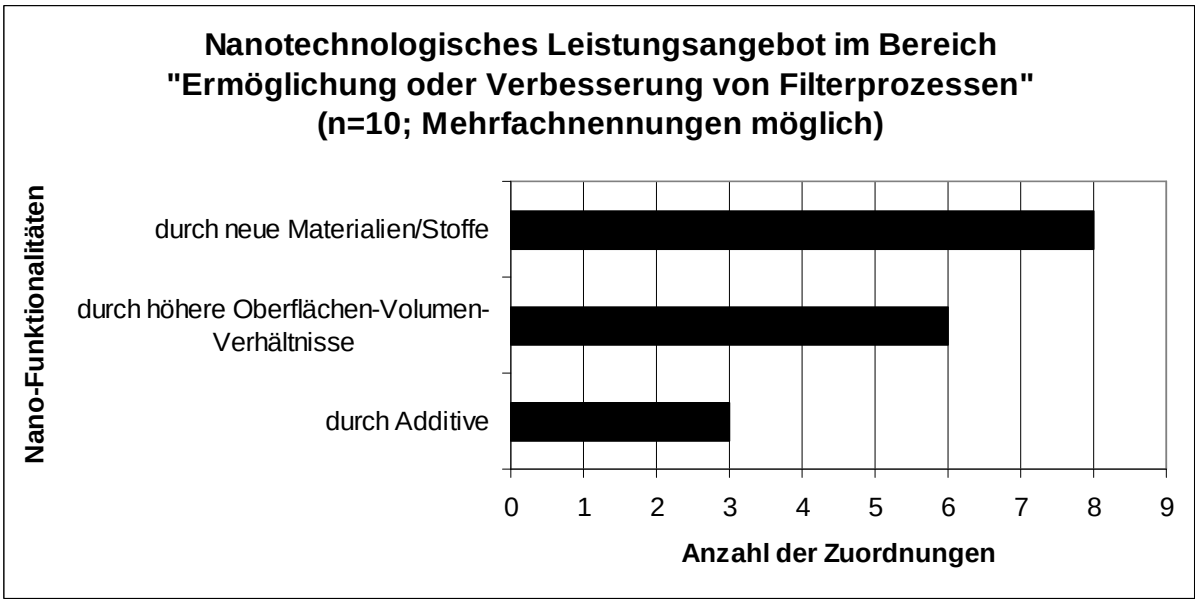
Abbildung 40: Nanotechnologisches Leistungsangebot im Bereich "Ermöglichung oder Verbesserung katalytischer Prozesse"



(Quelle: eigene Erhebung)

Die Verbesserung von katalytischen Prozessen wird nach Ansicht der Unternehmen im Wesentlichen durch das höhere Oberflächen-Volumen-Verhältnis und durch neue Stoffe/Materialien erreicht.

Abbildung 41: Nanotechnologisches Leistungsangebot im Bereich "Ermöglichung oder Verbesserung von Filterprozessen"

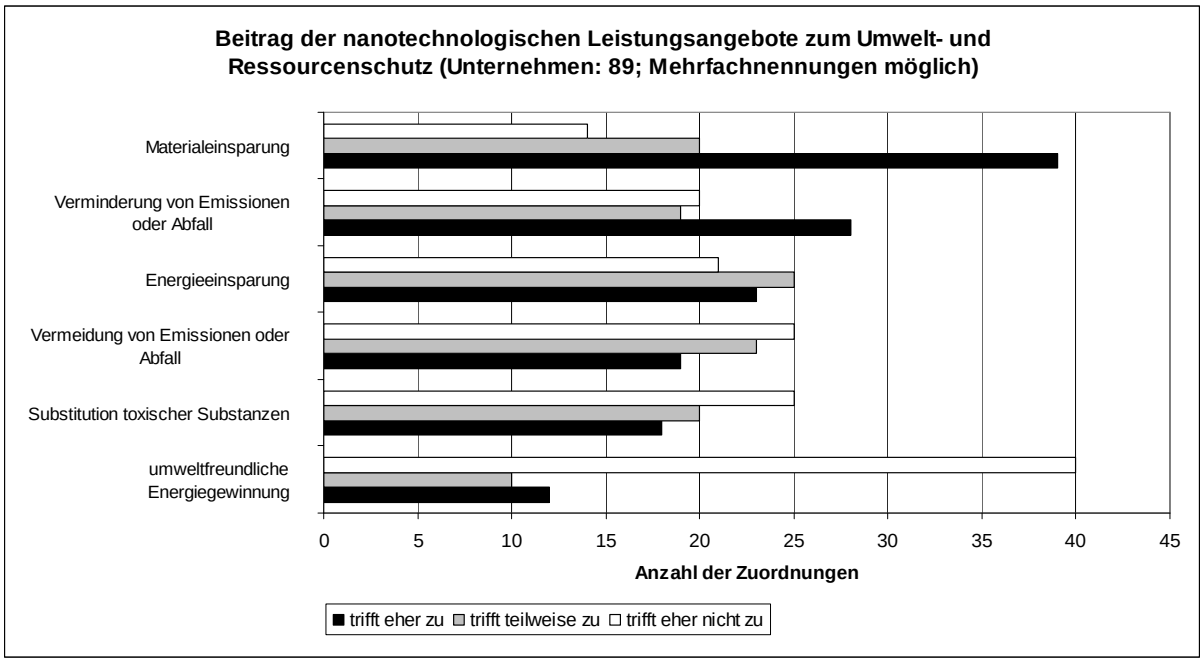


(Quelle: eigene Erhebung)

Die Verbesserung von Filterprozessen wird nach den Angaben der Unternehmen vorrangig durch neue Materialien/Stoffe erreicht, das höhere Oberflächen-Volumen-Verhältnis spielt demgegenüber eine geringere Rolle. Allerdings ist auf die geringe Zahl der Nennungen hinzuweisen.

5.1.2.1.6 Beitrag des Leistungsangebots im Bereich Nanotechnologie zum Umwelt- und Ressourcenschutz

Abbildung 42: Beitrag der nanotechnologischen Leistungsangebote zum Umwelt- und Ressourcenschutz



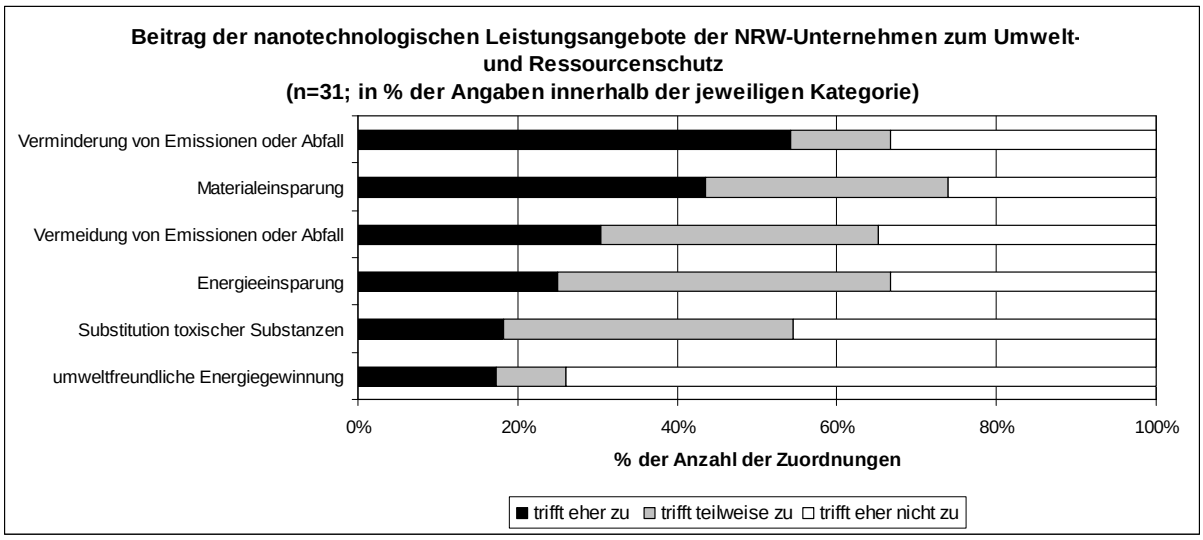
(Quelle: eigene Erhebung; Mehrfachnennungen möglich)

Wie Abbildung 42 zeigt, werden Umweltentlastungspotenziale von den Unternehmen des Berichtskreises vor allem im Bereich der „Materialeinsparung“ (39 x „trifft eher zu“ + 20 x “trifft tlw. zu“) gesehen. Vielfach vertreten sind auch die Bereiche „Energieeinsparung“ (23+25) „Vermeidung …“ (19+23) und „Verminderung (28+19) von Emissionen“. Auch „Substitution toxischer Substanzen“ wird vielfach genannt (18+20). Interessanterweise erhält die Kategorie „umweltfreundliche Energiegewinnung“ die mit Abstand geringste Anzahl an positiven (12+10) und die ebenfalls mit Abstand höchste Anzahl an negativen (40) Nennungen. Dies dürfte im Wesentlichen darin begründet sein, dass Unternehmen der Energiegewinnung (bzw. entsprechende Zulieferer) nicht oder nur begrenzt vertreten sind. Generell gehen die Unternehmen des Berichtskreises davon aus, dass durch Nanotechnologien Umweltentlastungen zu erreichen sind. Die Nennungen „trifft eher zu“ und „trifft teilweise zu“ werden im Durchschnitt doppelt so häufig angegeben wie „trifft eher nicht zu“. Die Unternehmen des

Berichtskreises gehen damit im Wesentlichen davon aus, dass der Einsatz von Nanotechnologien mit Umweltentlastungen verbunden ist.

Die NRW-Unternehmen des Berichtskreises unterscheiden sich vom gesamten Berichtskreis nur begrenzt, wie die folgende Abbildung deutlich macht.

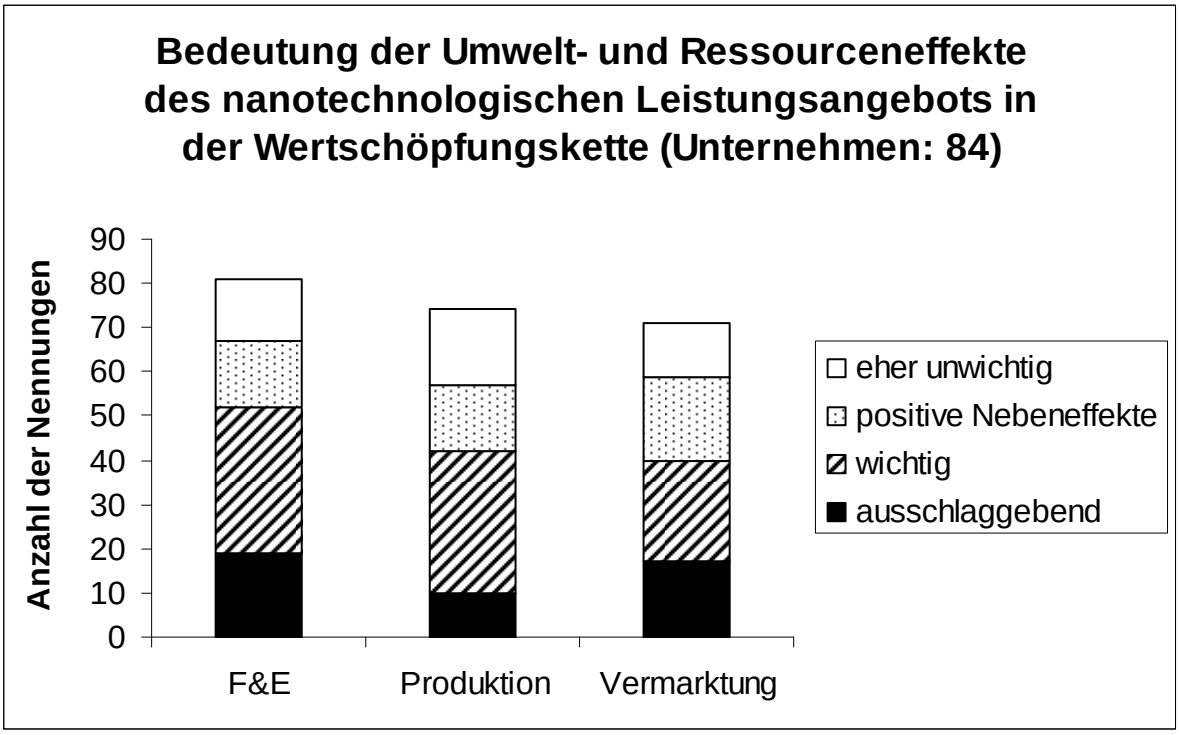
Abbildung 43: Beitrag der nanotechnologischen Leistungsangebote der NRW-Unternehmen zum Umwelt- und Ressourcenschutz



(Quelle: eigene Erhebung)

Die Abbildung 43 verdeutlicht, dass auch die NRW-Unternehmen des Berichtskreises davon ausgehen, dass mit ihren Nanotechnologieleistungen und –produkten deutliche Umweltentlastungseffekte entstehen. Fasst man die Kategorien „trifft eher zu“ und „trifft teilweise zu“ zusammen, dann wird ebenfalls deutlich, dass die im Durchschnitt mehr als 60% der Bewertungen Umweltenlastungseffekte erwarten. Im Vergleich zum gesamten Berichtskreis (inkl. der NRW-Unternehmen) zeigen sich gewisse Differenzen: so wird hinsichtlich der Verminderung von Emissionen bzw. Abfall die Kategorie „trifft eher zu“ häufiger benannt, hingegen wird die Kategorie Materialeinsparung weniger häufig angegeben.

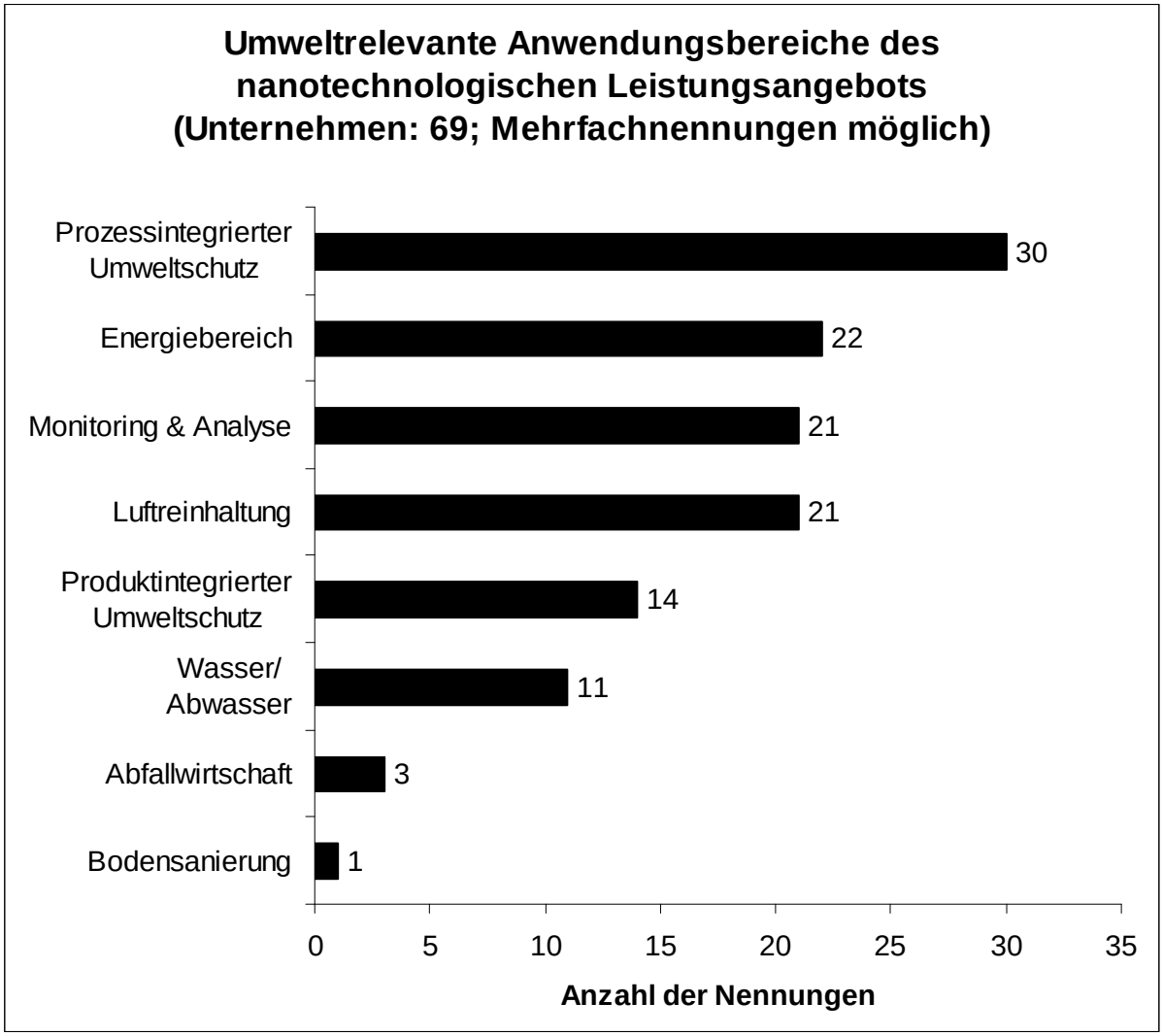
Abbildung 44: Bedeutung der Umwelt- und Ressourceneffekte des nanotechnologischen Leistungsangebots



(Quelle: eigene Erhebung)

Die Angaben der Unternehmen machen, nicht überraschend, deutlich, dass ihr Angebot von Nanotechnologieleistungen und –produkten ganz überwiegend nicht durch Umwelt- oder Ressourceneffekte motiviert ist. Gleichwohl wird deutlich, dass die Umwelt- und Ressourceneffekte in allen drei vorgegebenen Stadien (FuE, Produktion, Vermarktung) eine durchaus wichtige Rolle spielen: Jeweils mehr als die Hälfte der Unternehmen geben an, dass sie wichtig bzw. gar ausschlaggebend gewesen seien. Bemerkenswert erscheint, dass die Angaben „eher unwichtig“ und „positive Nebeneffekte“ von dem Stadium FuE über Produktion und Vermarktung zunehmen, d.h. die Vermarktung wird weniger durch die möglichen positiven Umwelteffekte bestimmt, als vielmehr durch marktrelevante Attribute. Gleichwohl ist darauf hinzuweisen, dass „ausschlaggebend“ im Hinblick auf die Vermarktung eine ähnlich wichtige Rolle spielt, wie in der FuE Phase.

Abbildung 45: Umweltrelevante Anwendungsbereiche des nanotechnologischen Leistungsangebots

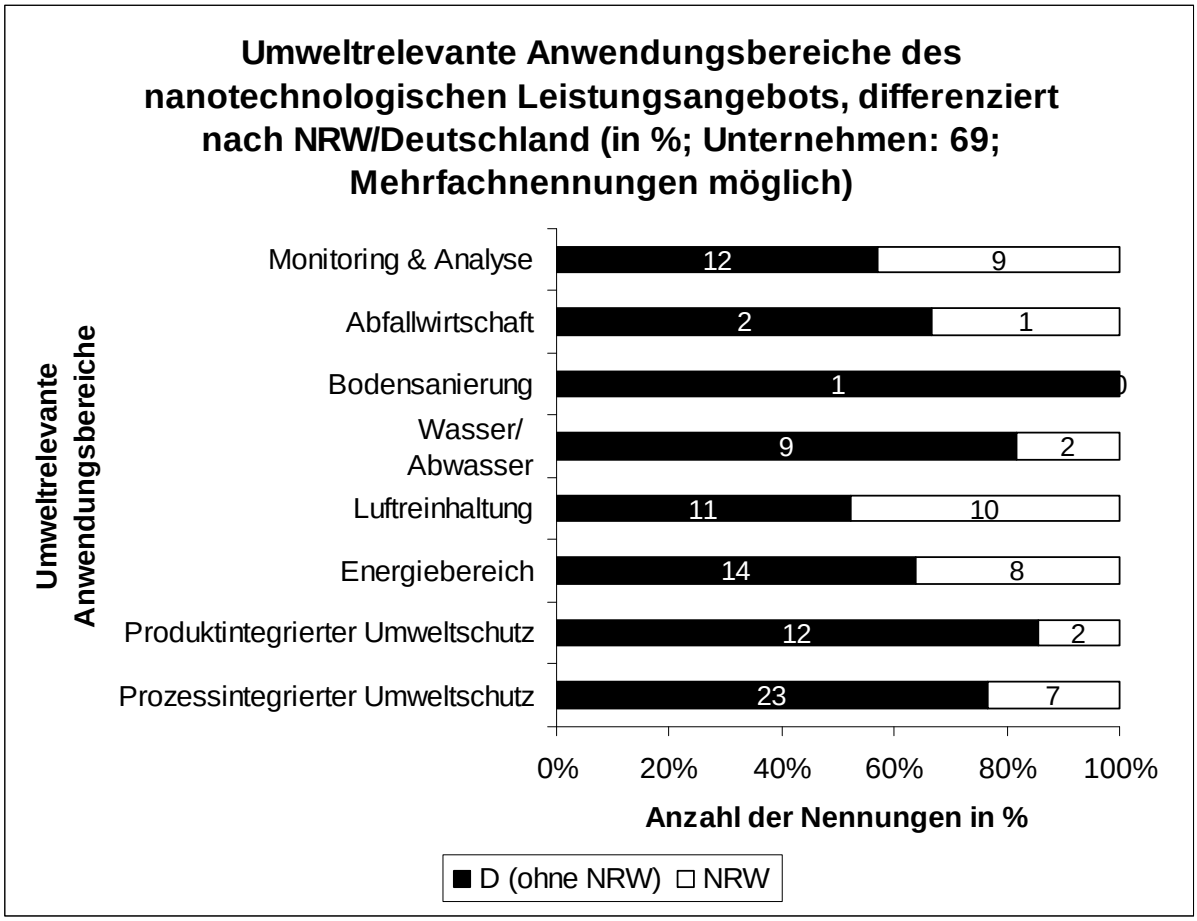


(Quelle: eigene Erhebung; Mehrfachnennungen möglich)

Die umweltrelevanten Anwendungsbereiche der nanotechnologischen Leistungen/Produkte der Unternehmen des Berichtskreises werden dem „Prozessintegrierten Umweltschutz“ (30 Nennungen), „Monitoring/Analyse“ (21), dem „Energiebereich“ (22), der „Luftreinhaltung“ (21), dem „Produktintegrierten Umweltschutz“ (14) sowie dem Bereich „Wasser/Abwasser“ (11) zugeordnet (vgl. Abbildung 45).

Der prozessintegrierte Umweltschutz wird von den Unternehmen am häufigsten angegeben. Da Mehrfachnennungen möglich waren, ist davon auszugehen, dass der prozessintegrierte Umweltschutz insbesondere Auswirkungen auf die Bereiche Wasser/Abwasser, Luftreinhaltung und Energiebereich hat.

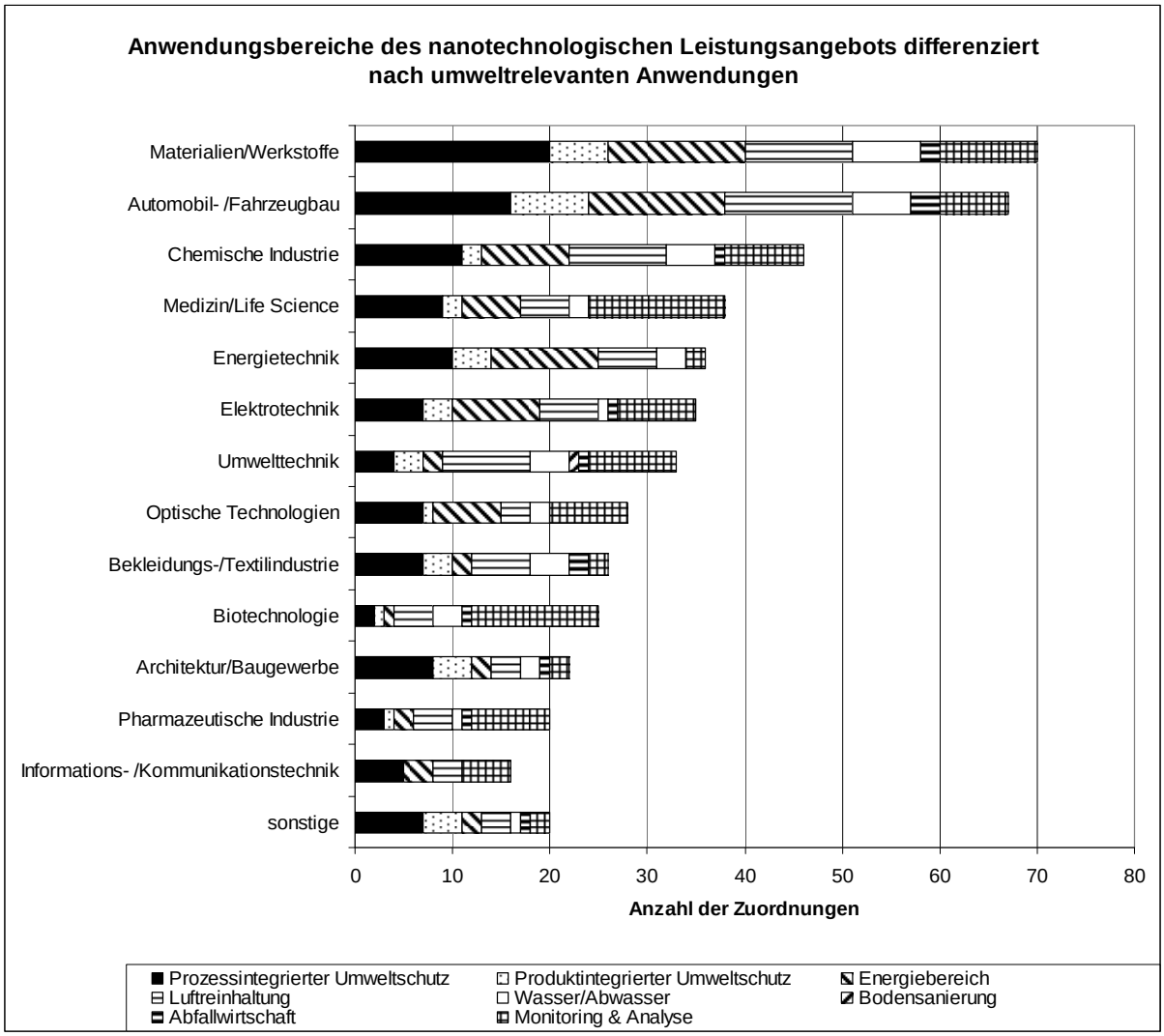
Abbildung 46: Umweltrelevante Anwendungsbereiche des nanotechnologischen Leistungsangebots, differenziert nach NRW/Deutschland



(Quelle: eigene Erhebung)

In der Differenzierung des Berichtskreises nach dem Berichtskreis insgesamt wird deutlich, dass die Bereiche Monitoring/Analyse und Luftreinhaltung in NRW eine größere Bedeutung haben als im gesamten Berichtskreis. Ebenso hat der prozessintegrierte Umweltschutz eine relativ geringere Bedeutung als im gesamten Berichtskreis.

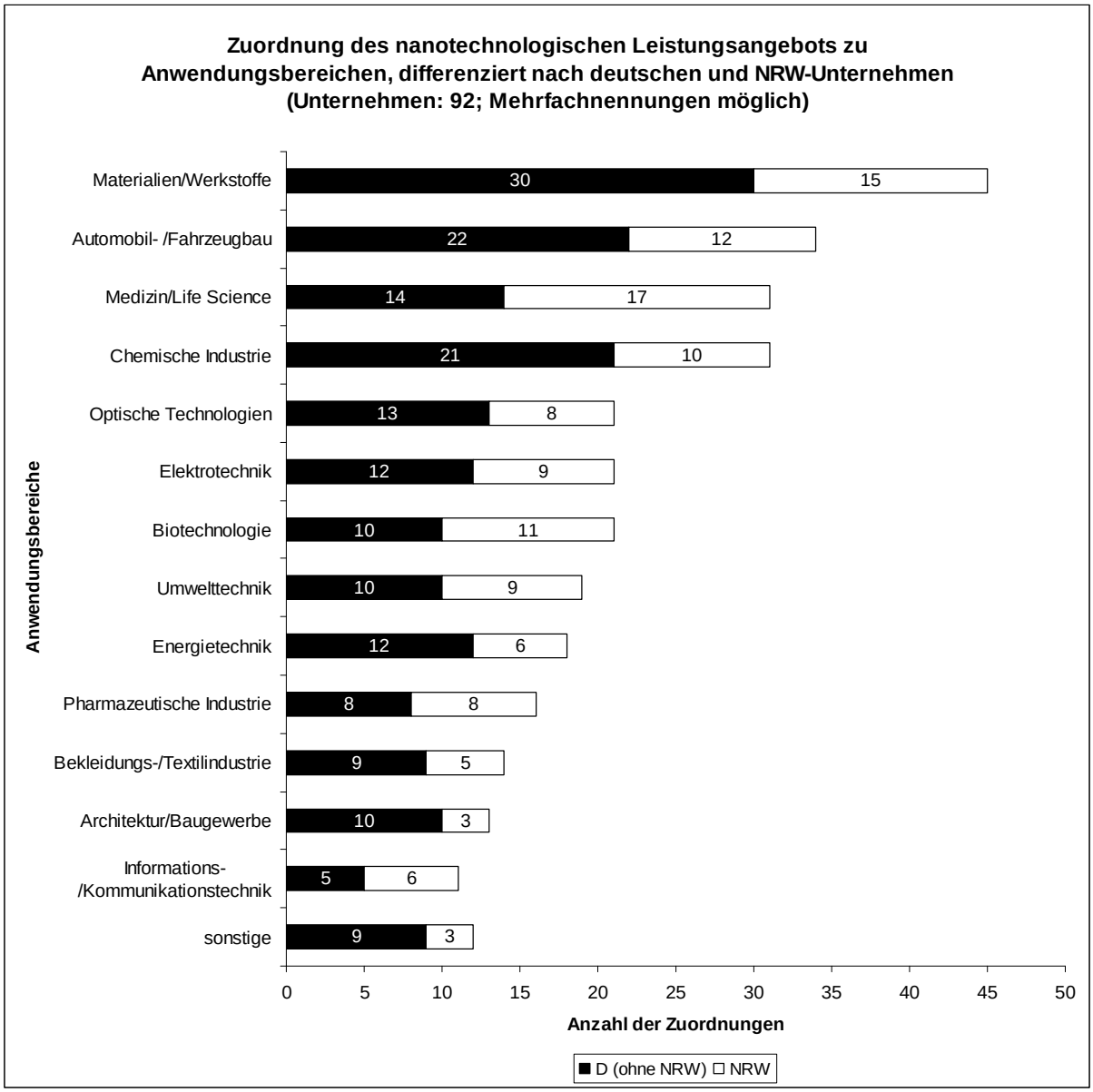
Abbildung 47: Anwendungsbereiche des nanotechnologischen Leistungsangebots differenziert nach umweltrelevanten Anwendungen



(Quelle: eigene Erhebung; Mehrfachnennungen möglich)

Die Abbildung macht deutlich, dass die wesentlichen Anwendungsbereiche der Nanotechnologien der Unternehmen des Berichtskreises Materialien/Werkstoffe sind. Hinsichtlich der Industriezweige werden vor allem Automobil-/Fahrzeugbau und die Chemische Industrie erwähnt. In allen drei Bereichen ist der prozessintegrierte Umweltschutz, der Energiebereich und Monitoring/Analyse von zentraler Bedeutung. Insgesamt wird deutlich, dass die Unternehmen des Berichtskreises eine Vielzahl von Anwendungsbereichen angeben (Nanotechnologien als enabling technologies). Im Bereich Umwelttechnik wird insbesondere der Bereich Luftreinhaltung und Monitoring/Analyse angegeben. Nicht überraschend hat der prozessintegrierte Umweltschutz in diesem Bereich eine geringere Bedeutung.

Abbildung 48: Zuordnung des nanotechnologischen Leistungsangebots zu Anwendungsbereichen, differenziert nach deutschen und NRW-Unternehmen

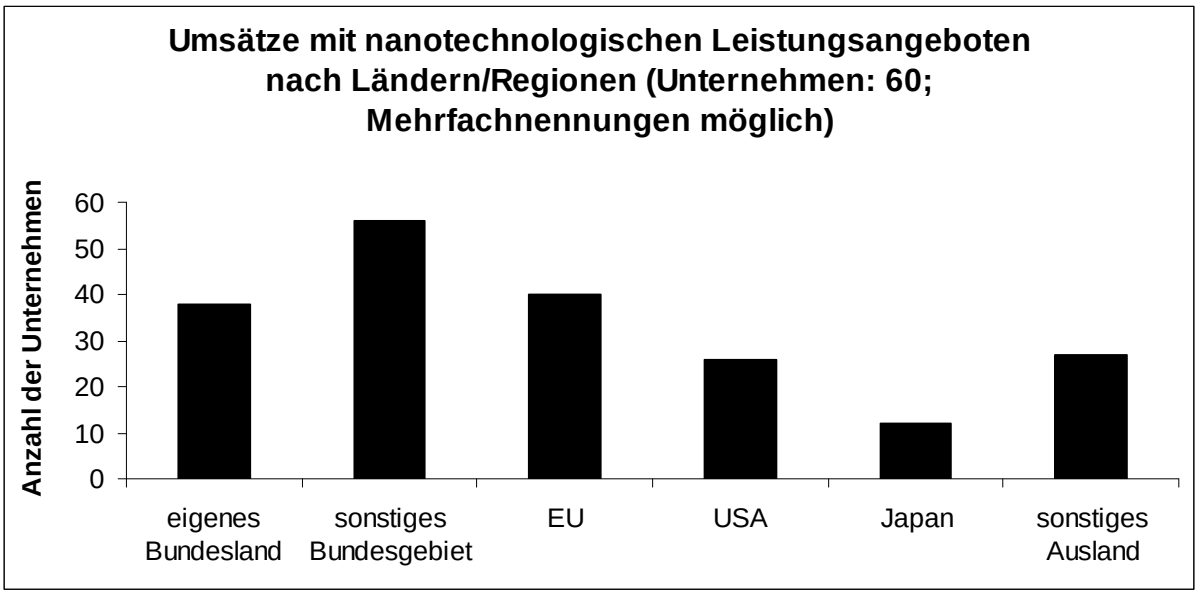


(Quelle: eigene Erhebung)

Die Differenzierung des Berichtskreises hinsichtlich der Leistungen nach Anwendungsbereichen und nach Unternehmen D/NRW macht deutlich, dass NRW vor allem in den Bereichen Medizin/Life Sciences und Biotechnologie überdurchschnittlich vertreten ist.

5.1.2.1.7 Absatzmärkte der Leistungsangebote im Bereich Nanotechnologie

Abbildung 49: Umsätze mit nanotechnologischen Leistungsangeboten nach Ländern/Regionen

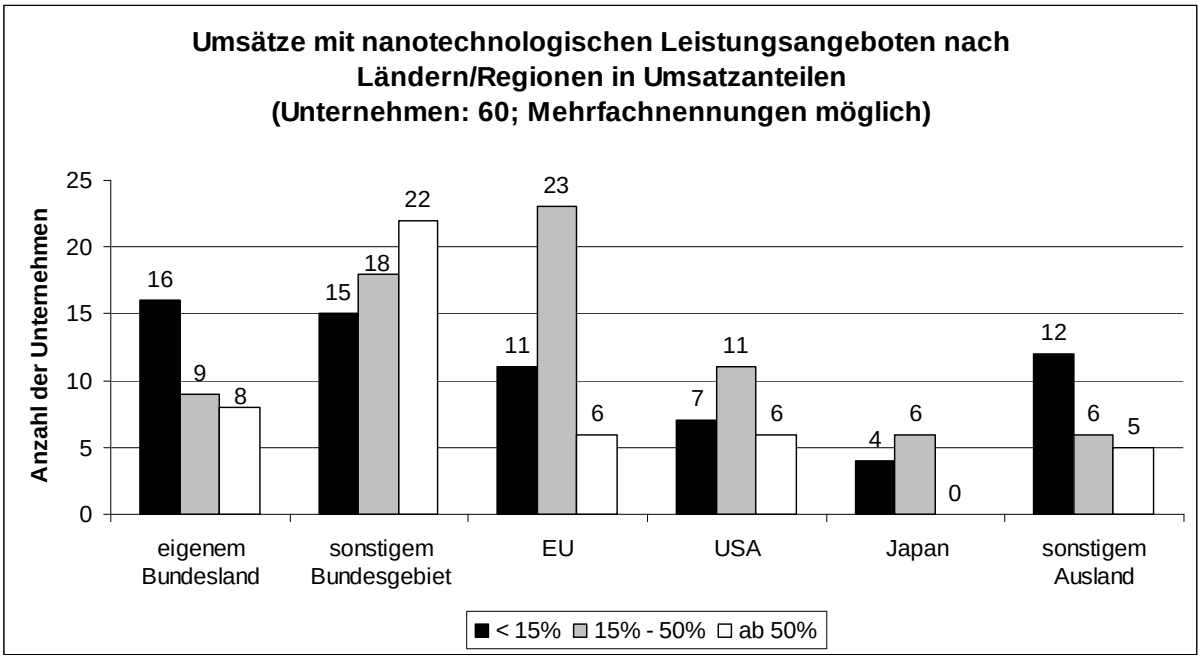


(Quelle: eigene Erhebung)

Die wirtschaftlichen Verflechtungen der Unternehmen des Berichtskreises erweisen sich als in starkem Maße internationalisiert. Das eigene Bundesland als Absatzgebiet kommt im Hinblick auf die Zahl der Nennungen noch hinter der Europäischen Union. Ebenso ist bemerkenswert, dass die USA und Japan, wenn auch in einer deutlich geringeren Zahl der Nennungen, eine durchaus wichtige Rolle spielen.

Um einen differenzierten Eindruck zu erhalten, wurde die entsprechende Frage nochmals differenziert nach den jeweiligen Anteilen der Absatzgebiete ausgewertet.

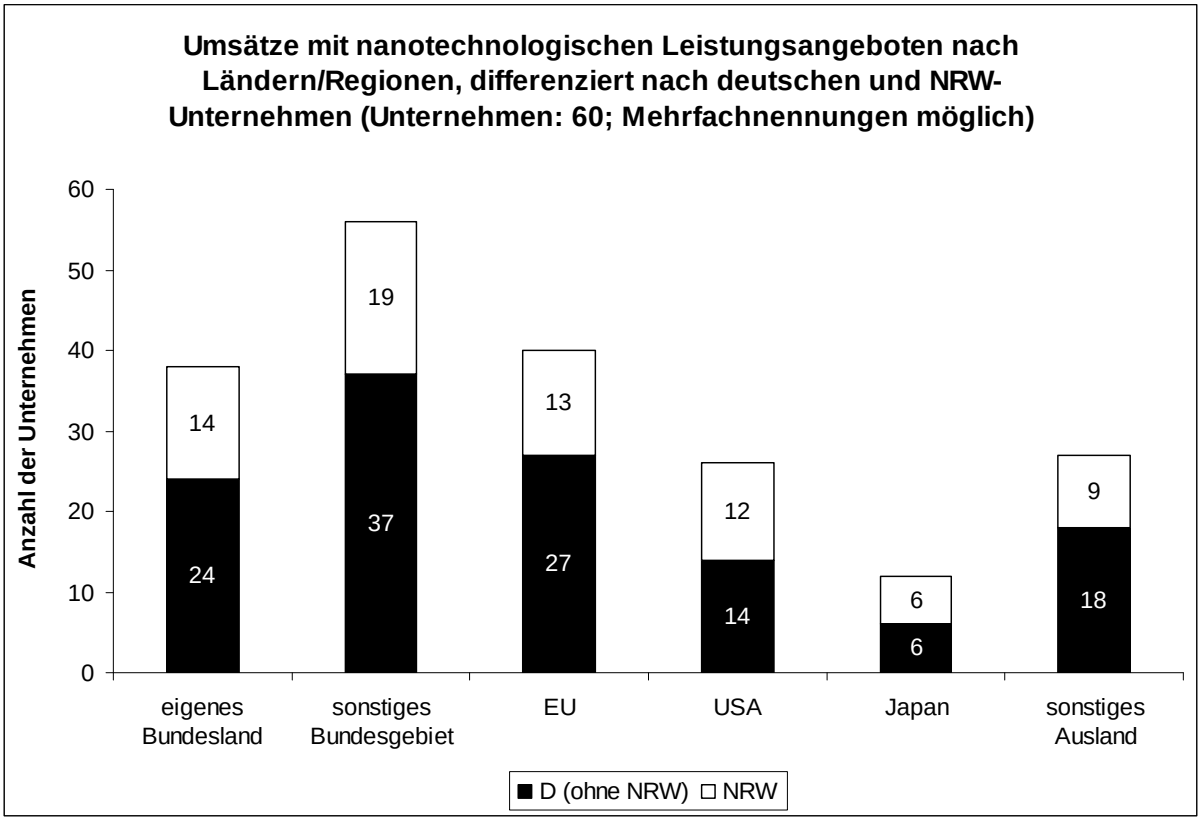
Abbildung 50: Umsätze mit nanotechnologischen Leistungsangeboten nach Ländern/Regionen in Umsatzanteilen



(Quelle: eigene Erhebung)

Die Abbildung macht deutlich, dass die Absatzgebiete der Unternehmen hochgradig differenziert sind. In der Kategorie Absatzanteile mehr als 50 % spielt das Bundesgebiet mit 22 Nennungen die größte Rolle, gefolgt von dem eigenen Bundesland mit 8 Nennungen. Für eine relativ starke internationale Verflechtung der Nanotechnologieunternehmen spricht dabei, dass immerhin je 6 Unternehmen angeben, dass ihre Absatzmärkte sich zu mehr als 50 % in der EU und den USA befinden, wobei 5 das sonstige Ausland nennen. Ebenso ist bemerkenswert, dass in der Kategorie 15-50 % die höchste Zahl der Nennungen auf die EU entfallen, vor dem sonstigen Bundesgebiet und dem eigenen Bundesland. Ein wesentliches Fazit aus dieser Abbildung ist, dass das eigene Bundesland eine sehr begrenzte Bedeutung als Absatzmarkt hat.

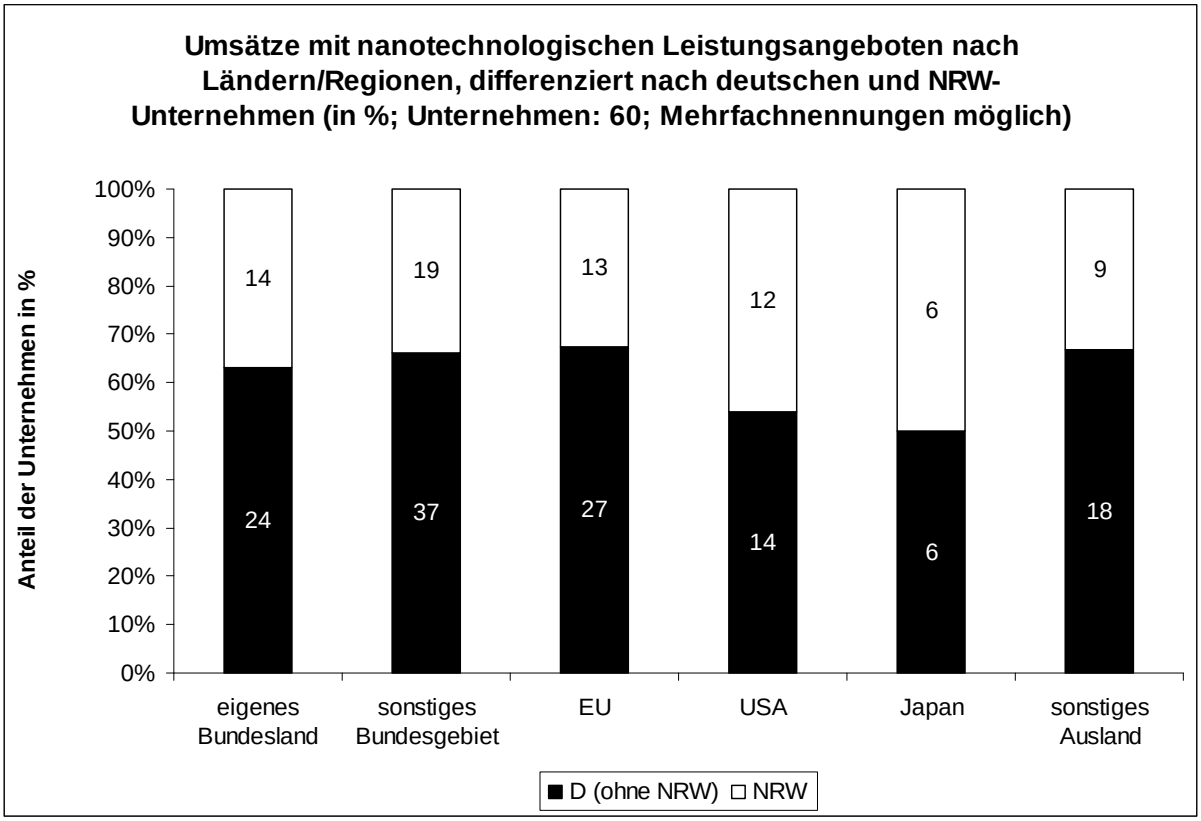
Abbildung 51: Umsätze mit nanotechnologischen Leistungsangeboten nach Ländern/Regionen, differenziert nach deutschen und NRW-Unternehmen



(Quelle: eigene Erhebung)

Auch für die NRW-Unternehmen ist der internationale Verflechtungsgrad ähnlich wie für den gesamten Berichtskreis.

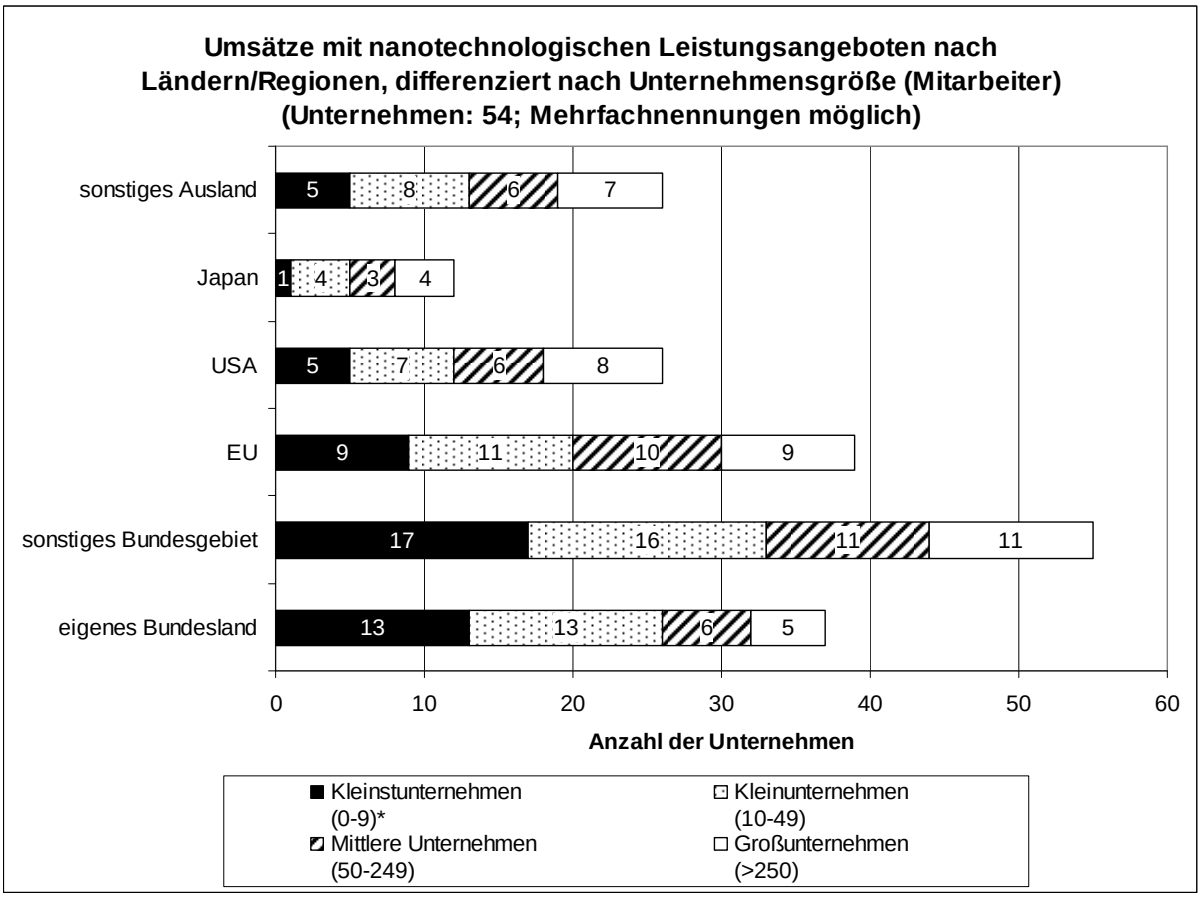
Abbildung 52: Umsätze mit nanotechnologischen Leistungsangeboten nach Ländern/Regionen, differenziert nach deutschen und NRW-Unternehmen



(Quelle: eigene Erhebung)

Die Abbildung 52 verdeutlicht nochmals die Relationen. Die NRW-Unternehmen haben einen deutlich höheren Anteil an den Kunden in den USA und Japan (bei einer allerdings geringen Zahl der Nennungen) und damit einen höheren Internationalisierungsgrad (außerhalb der EU).

Abbildung 53: Umsätze mit nanotechnologischen Leistungsangeboten nach Ländern/Regionen, differenziert nach Unternehmensgröße (Mitarbeiter)

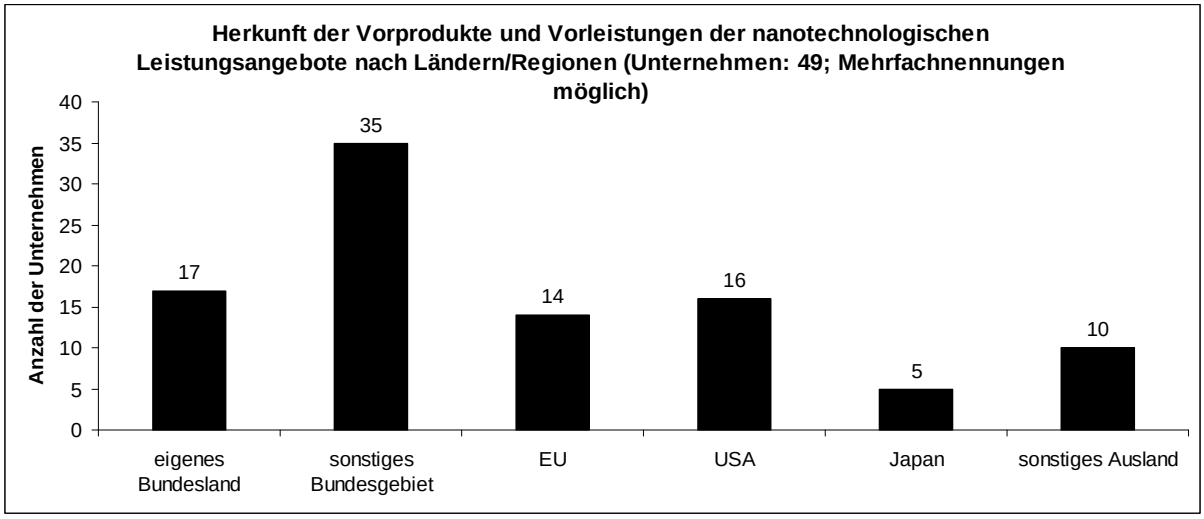


(Quelle: eigene Erhebung)

Die Differenzierung nach Unternehmensgröße macht deutlich, dass vor allem die mittleren und Großunternehmen Absatzgebiete außerhalb Deutschlands bzw. der Europäischen Union haben. Die kleineren Unternehmen sind im Wesentlichen auf das eigene Bundesland bzw. Bundesgebiet ausgerichtet. Gleichwohl haben diese Unternehmensgrößenklassen auch im Hinblick auf die EU einen bedeutenden Anteil.

5.1.2.1.8 Vorleistungsbezug

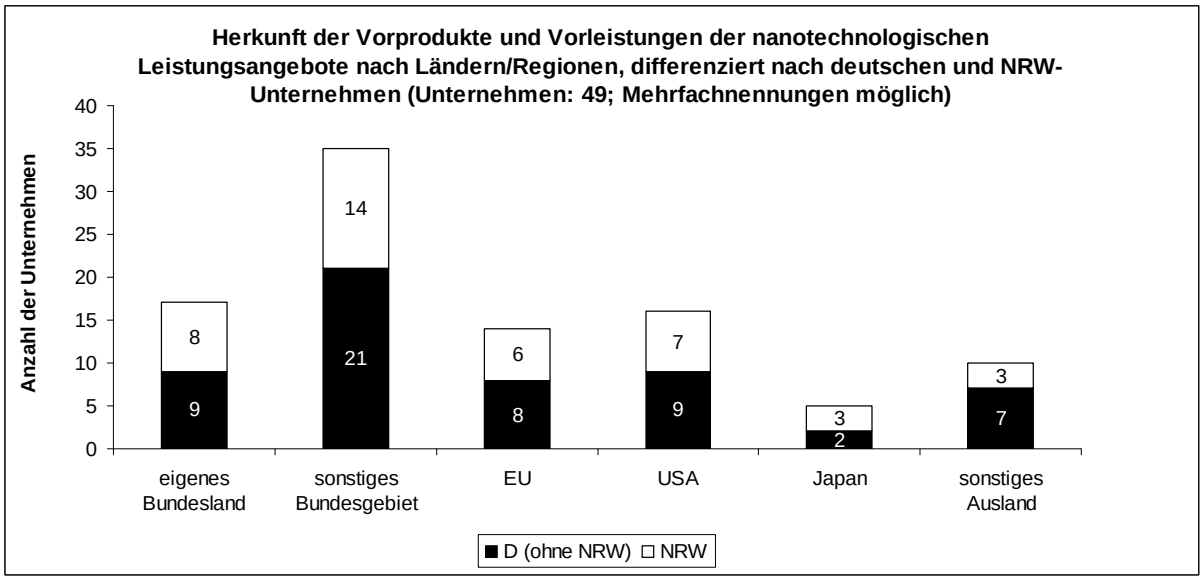
Abbildung 54: Herkunft der Vorprodukte und Vorleistungen der nanotechnologischen Leistungsangebote nach Ländern/Regionen



(Quelle: eigene Erhebung)

Der Bezug von Vorprodukten ist in Relation zu den Absatzgebieten deutlich weniger internationalisiert, aber auch regionalisiert. Ganz überwiegend werden die Vorprodukte aus dem Bundesgebiet bezogen. Das eigene Bundesland hat, überraschenderweise, im Hinblick auf die Zahl der Nennungen kaum eine höhere Bedeutung als die USA oder als die EU.

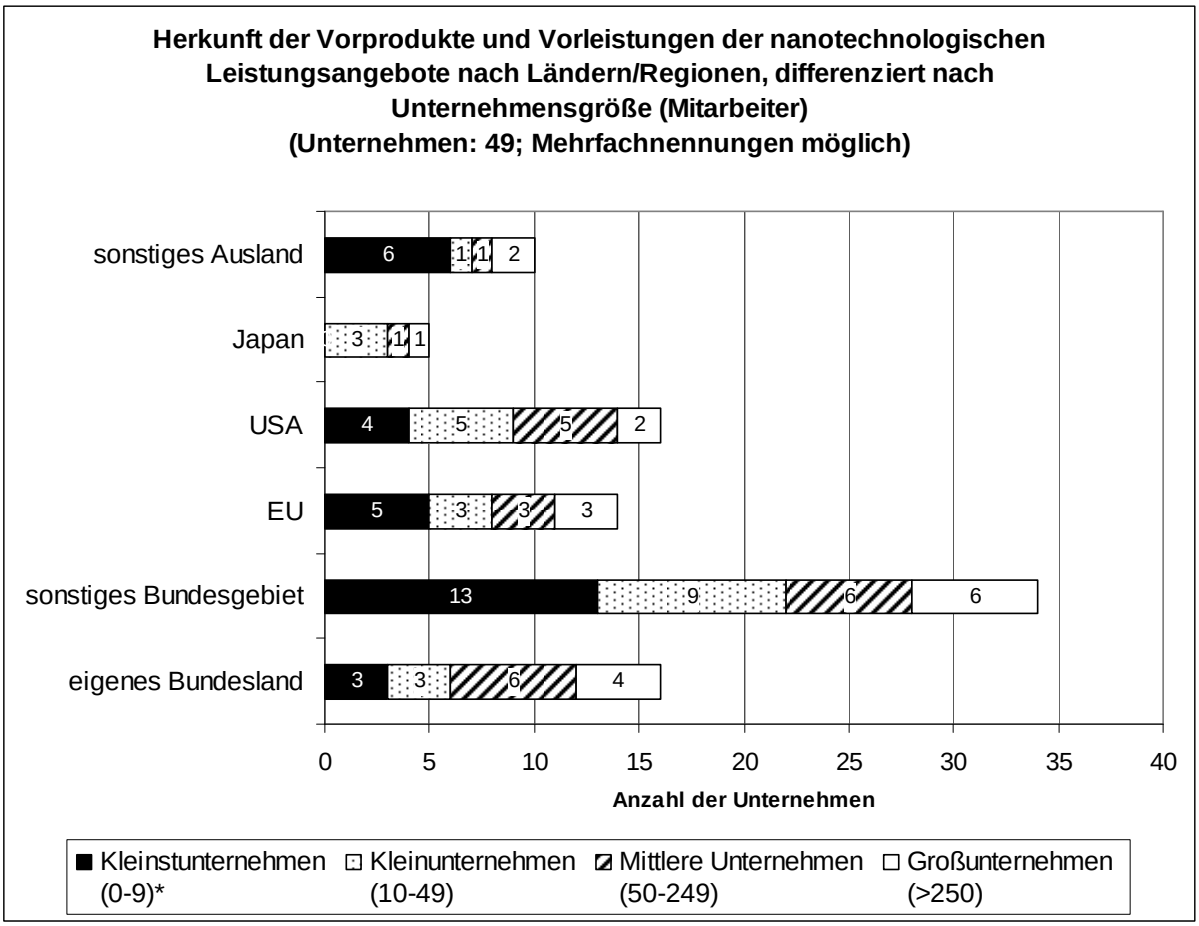
Abbildung 55: Herkunft der Vorprodukte und Vorleistungen der nanotechnologischen Leistungsangebote nach Ländern/Regionen, differenziert nach deutschen und NRW-Unternehmen



(Quelle: eigene Erhebung)

Die oben angeführte Einschätzung gilt im Übrigen auch für die NRW-Unternehmen. Im Hinblick auf die überdurchschnittliche Bedeutung Japans erweisen sich weitergehende Interpretationen aufgrund der geringen Zahl der Nennungen allerdings als fragwürdig.

Abbildung 56: Herkunft der Vorprodukte und Vorleistungen der nanotechnologischen Leistungsangebote nach Ländern/Regionen, differenziert nach Unternehmensgröße (Mitarbeiter)

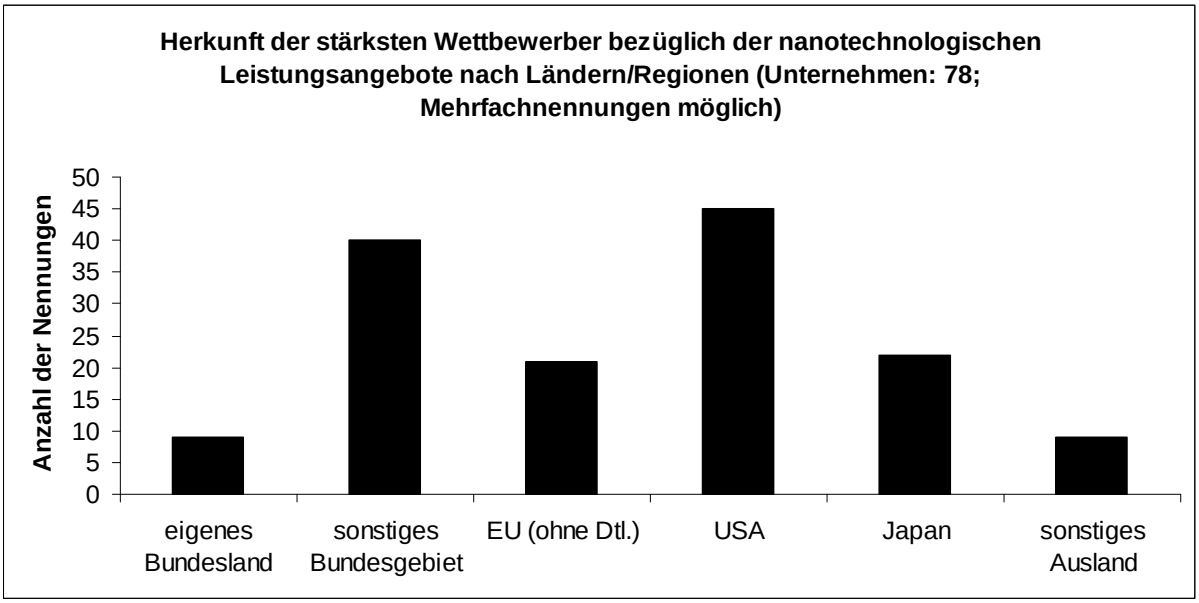


(Quelle: eigene Erhebung)

Differenziert nach der Unternehmensgröße wird deutlich, dass das eigene Bundesland gerade für die kleinen Unternehmen (bis 50 Beschäftigte) eine eher geringe Relevanz hinsichtlich der Vorlieferungen hat. Hingegen sind die übrigen Bundesländer (bzw. das Bundesgebiet) für den Vorleistungsbezug dieser Unternehmen zentral. Die Bedeutung des eigenen Bundeslandes für den Vorleistungsbezug ist hingegen für die Unternehmensklassen 20-249 und über 250 erheblich größer.

5.1.2.1.9 Wettbewerber

Abbildung 57: Herkunft der stärksten Wettbewerber bezüglich der nanotechnologischen Leistungsangebote nach Ländern/Regionen

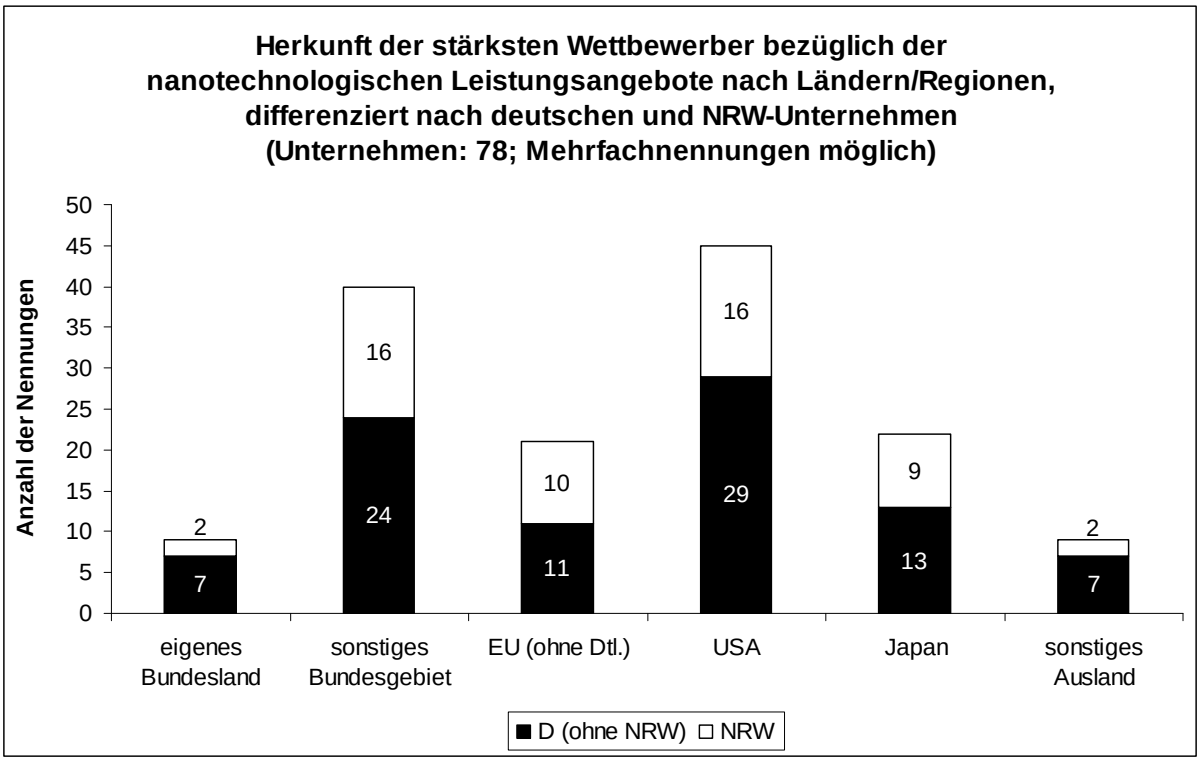


(Quelle: eigene Erhebung)

Die stärksten Wettbewerber der Unternehmen des Berichtskreises kommen, zumindest im Hinblick auf die Zahl der Nennungen, aus den USA, noch vor den Unternehmen des sonstigen Bundesgebietes. Mit deutlichem Abstand folgen europäische Anbieter und Anbieter aus Japan. Wettbewerber aus dem eigenen Bundesland sind hingegen weniger wichtig. Diese Einschätzung der wesentlichen Wettbewerber auf den jeweiligen Märkten ist insofern ungewöhnlich, als dass die internationalen Wettbewerber eine so große Rolle spielen. Die USA aber auch Japan sind Länder, in denen die öffentliche Förderung der Nanotechnologien einen großen Stellenwert hat und in denen auch die Unternehmen massiv in diesen Bereich investieren. Dies hat, so jedenfalls die Wahrnehmung der Unternehmen des Berichtskreises, direkte Auswirkungen auf die Wettbewerbsverhältnisse.

Die folgenden beiden Abbildungen beleuchten die Wettbewerbssituation der NRW-Unternehmen.

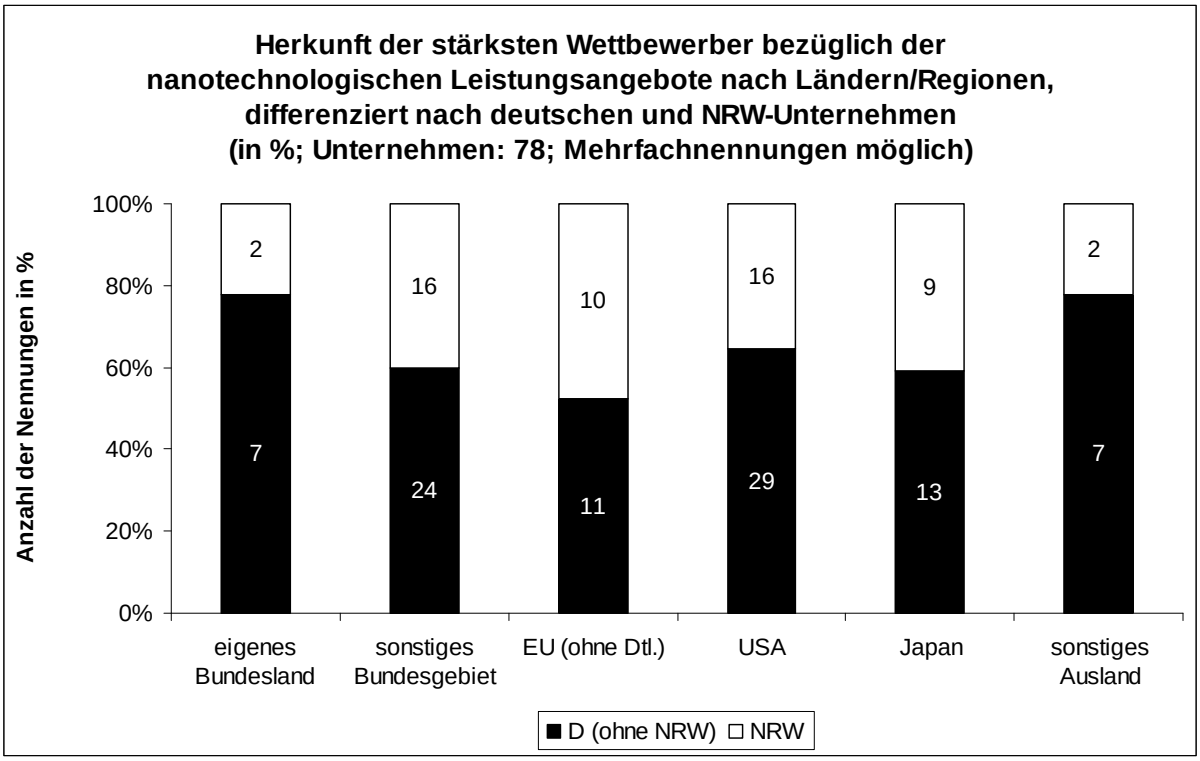
Abbildung 58: Herkunft der stärksten Wettbewerber bezüglich der nanotechnologischen Leistungsangebote nach Ländern/Regionen, differenziert nach deutschen und NRW-Unternehmen



(Quelle: eigene Erhebung)

Die Abbildung verdeutlicht, dass die NRW-Unternehmen des Berichtskreises kaum Wettbewerber aus dem eigenen Bundesland haben, dass sie überdurchschnittlich Wettbewerber aus der EU haben, dies gilt auch, wenn auch in schwächerem Umfang für Wettbewerber aus dem sonstigen Bundesgebiet und den USA.

Abbildung 59: Herkunft der stärksten Wettbewerber bezüglich der nanotechnologischen Leistungsangebote nach Ländern/Regionen , differenziert nach deutschen und NRW-Unternehmen



(Quelle: eigene Erhebung)

Die Einschätzung der NRW-Unternehmen unterscheidet sich von denen des gesamten Berichtskreises. Als Wettbewerber haben Unternehmen aus den EU-Staaten, wie auch Unternehmen aus Japan, einen größeren Stellenwert. Unternehmen aus dem eigenen Bundesland haben als Wettbewerber hingegen eine geringere Bedeutung.

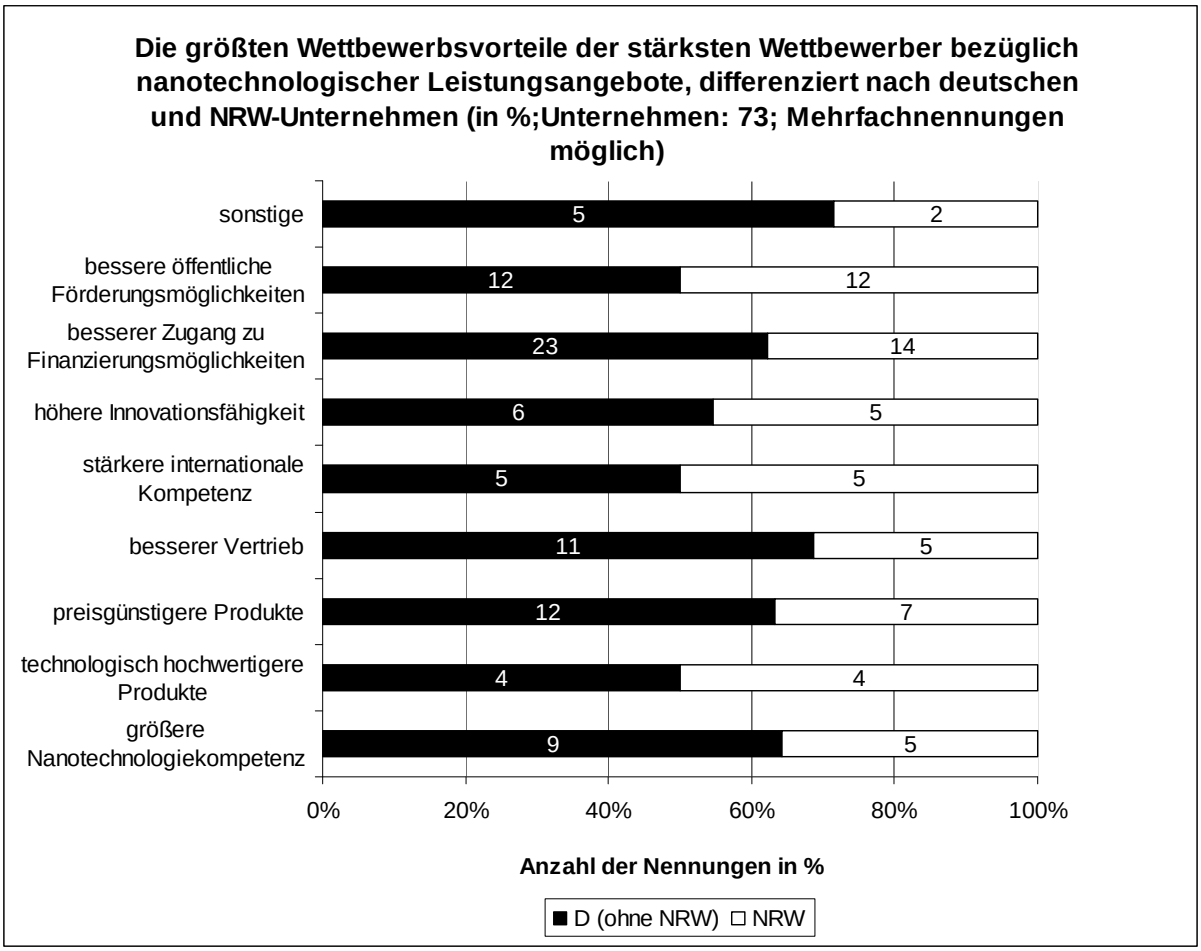
Abbildung 60: Die größten Wettbewerbsvorteile der stärksten Wettbewerber bezüglich nanotechnologischer Leistungsangebote

(Quelle: eigene Erhebung)

Gefragt nach den größten Wettbewerbsvorteilen der Konkurrenten im Nanotechnologiebereich geben die Unternehmen des Berichtskreises ganz überwiegend an, dass die Wettbewerber über bessere Finanzierungsmöglichkeiten verfügen. 37 Unternehmen gaben an, dass generell ein besserer Zugang zu Finanzierungsmöglichkeiten bestehe und immerhin noch 24 Unternehmen, dass die Wettbewerber über eine bessere öffentliche Förderung verfügen.

Weitere Wettbewerbsvorteile der Wettbewerber werden darin gesehen, dass die Wettbewerber preisgünstiger anbieten können, was deutlich macht, dass es nicht allein die Technologiekompetenz ist, die im Bereich der Nanotechnologie eine Rolle spielt, sondern zugleich der Preiswettbewerb von erheblicher Bedeutung ist. Des Weiteren wird darauf verwiesen, dass die Absatzchancen der Wettbewerber auch deshalb höher sind, weil die Wettbewerber über einen besseren Vertrieb (16 Nennungen) und eine stärkere internationale Kompetenz (10 Nennungen) verfügen. Demgegenüber werden Aspekte der höheren technologischen Kompetenz, wie größere Nanotechnologiekompetenz (14 Nennungen), höhere Innovationsfähigkeit (11 Nennungen) und technologisch hochwertigere Produkte (8 Nennungen) seltener genannt.

Abbildung 61: Die größten Wettbewerbsvorteile der stärksten Wettbewerber bezüglich nanotechnologischer Leistungsangebote, differenziert nach deutschen und NRW-Unternehmen

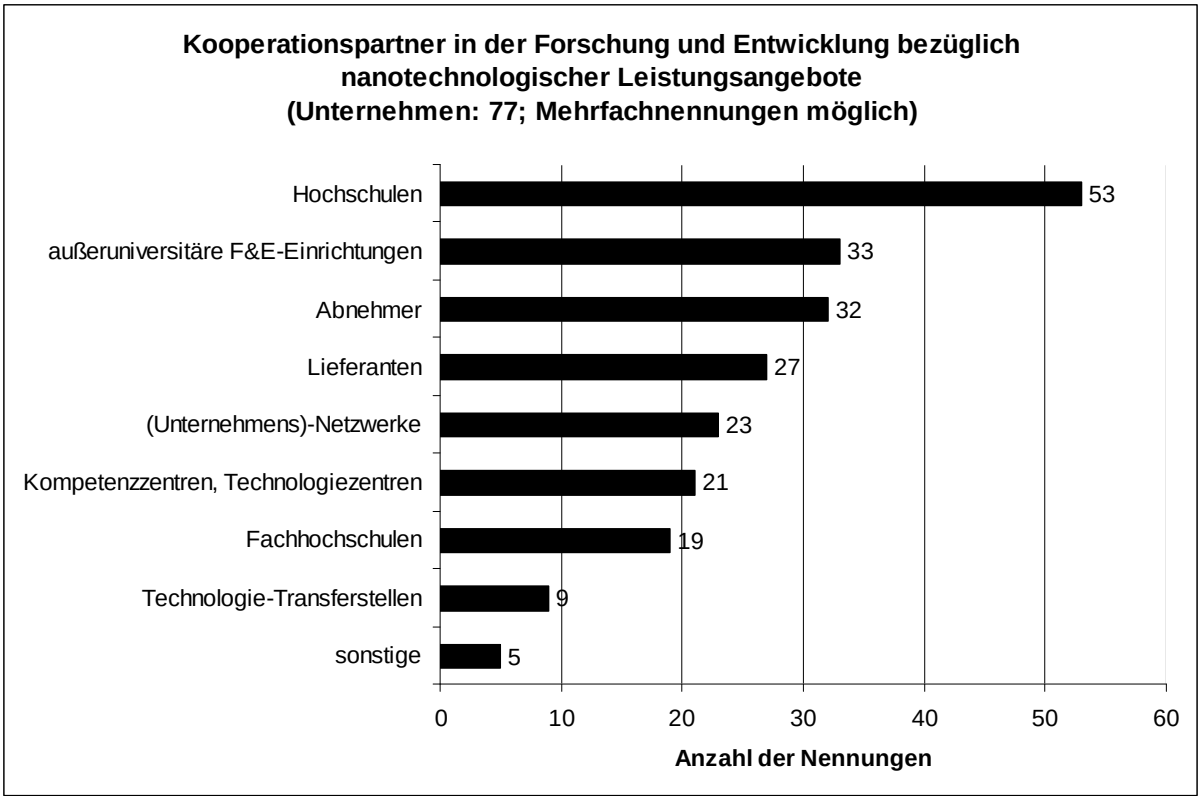


(Quelle: eigene Erhebung)

Im Vergleich der NRW-Unternehmen mit den Unternehmen aus den übrigen Bundesländern wird deutlich, dass die NRW-Unternehmen die Wettbewerbsvorteile ihrer Wettbewerber vor allem in drei Bereichen stärker betonen und zwar in der stärkeren internationalen Kompetenz, der technologischen hochwertigeren Produkten sowie der besseren öffentlichen Förderungsmöglichkeiten. Die Kategorien „besserer Vertrieb“, „preisgünstigere Produkte“ und „größere Nanotechnologiekompetenz“ spielen hingegen eine geringere Rolle.

5.1.2.1.10 Kooperationspartner der Unternehmen

Abbildung 62: Kooperationspartner in der Forschung und Entwicklung bezüglich nanotechnologischer Leistungsangebote

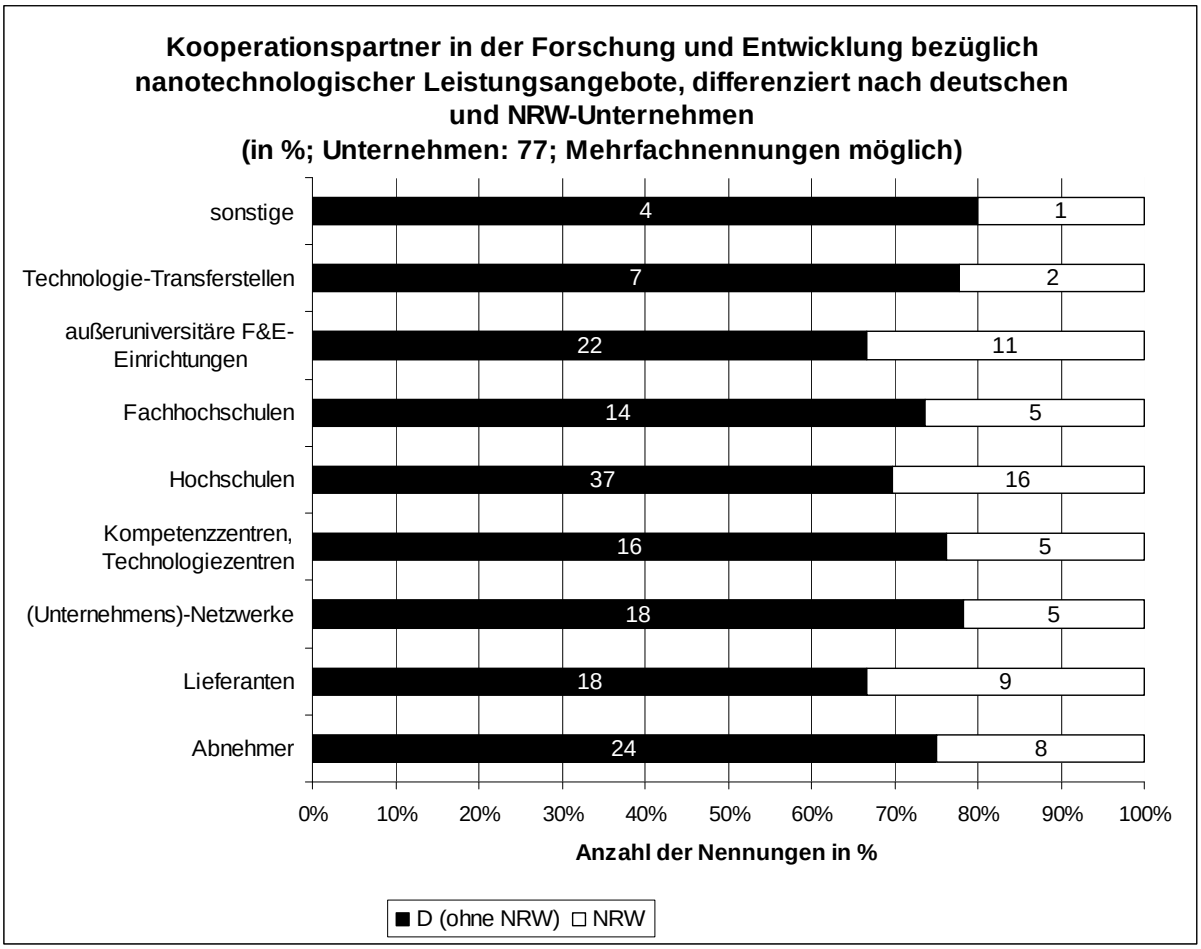


(Quelle: eigene Erhebung)

Die Unternehmen des Berichtskreises haben im Bereich FuE eine Vielzahl von Kooperationspartnern. Auffällig ist, dass die Kooperation mit Hochschulen am häufigsten (53 Nennungen) genannt wird. Im Anschluss werden die außeruniversitären FuE-Einrichtungen genannt. Danach werden Kooperationen mit den Abnehmern und Lieferanten angegeben. Danach mit 23 Nennungen werden (Unternehmens-)Netzwerke und Kompetenzzentren/Technologiezentren genannt. Fachhochschulen haben mit 19 Nennungen eine geringere Bedeutung. Technologietransferstellen werden allein von neun Unternehmen genannt.

In der Summe wird deutlich, dass Hochschulen und außeruniversitäre FuE-Einrichtungen eine wichtige Rolle spielen. Dies ist insofern überraschend, dass sich der Berichtskreis gerade auch aus vielen Kleinst- und Kleinunternehmen zusammensetzt, die i. d. R. nur sehr begrenzt mit Universitäten und außeruniversitären Forschungseinrichtungen zusammenarbeiten. Die Unternehmen des Berichtskreises erweisen sich von daher zum einen forschungsintensiv und zum anderen in der Lage, mit den genannten Institutionen, also insbesondere den Hochschulen, zu kooperieren.

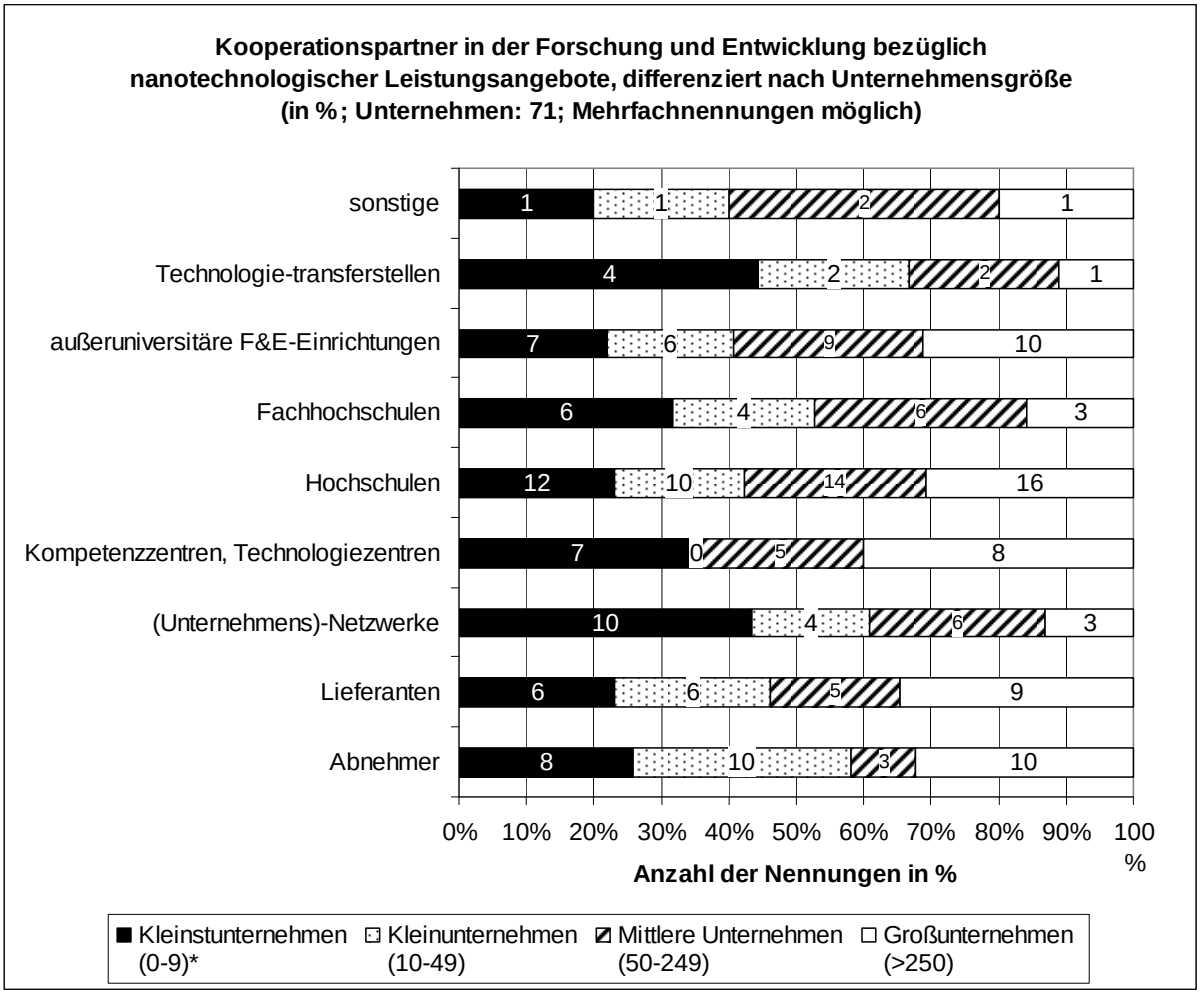
Abbildung 63: Kooperationspartner in der Forschung und Entwicklung bezüglich nanotechnologischer Leistungsangebote, differenziert nach deutschen und NRW-Unternehmen



(Quelle: eigene Erhebung)

Vergleicht man dazu die Unternehmen des Berichtskreises aus NRW, so ist festzustellen, dass relative Bedeutung der Kooperation mit den Lieferanten vor den Hochschulen und den außeruniversitären FuE-Einrichtungen höher ist. In der Summe sind die Kooperationen mit Universitäten und außeruniversitären FuE-Einrichtungen geringer ausgeprägt als bei den restlichen Unternehmen.

Abbildung 64: Kooperationspartner in der Forschung und Entwicklung bezüglich nanotechnologischer Leistungsangebote, differenziert nach Unternehmensgröße

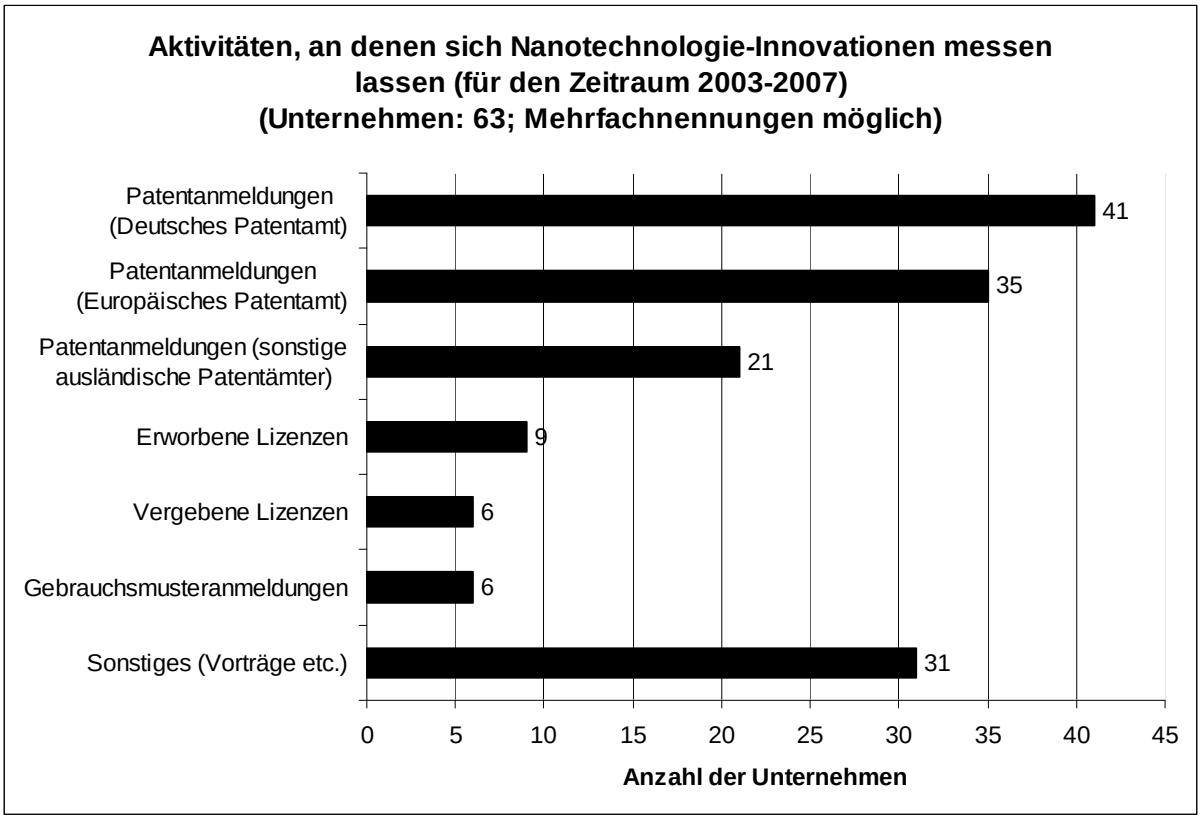


(Quelle: eigene Erhebung)

Differenziert nach der Unternehmensgröße wird deutlich, dass einige größenspezifische Besonderheiten existieren. Es lassen sich „typische“ Unterschiede zwischen den Unternehmensgrößenklassen festmachen: Die zur Abbildung 62 gemachte Aussage, dass Kooperationen mit den Hochschulen insgesamt überraschend hoch sind, wird nun hinsichtlich der Unternehmensgrößenklassenspezifika etwas relativiert. So sind für die Kleinst- und Kleinunternehmen Technologietransferstellen, Unternehmensnetzwerke und Abnehmer deutlich wichtiger als Hochschulen und außeruniversitäre FuE-Einrichtungen, hingegen haben Fachhochschulen eine durchaus größere Bedeutung für die Kleinst- und Kleinunternehmen.

5.1.2.1.11 Innovationsaktivitäten der Unternehmen im Bereich Nanotechnologie

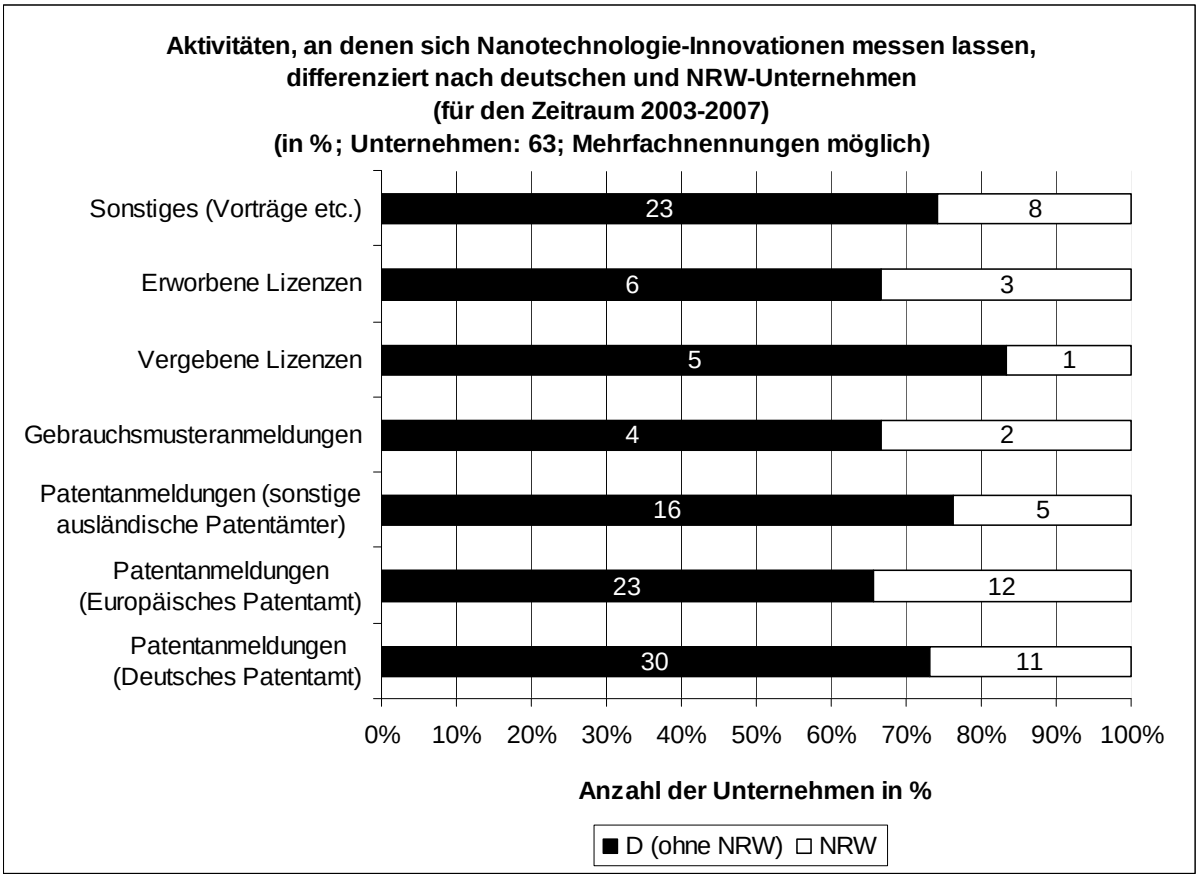
Abbildung 65: Aktivitäten, an denen sich Nanotechnologie-Innovationen messen lassen



(Quelle: eigene Erhebung)

Die Abbildung 65 macht deutlich, dass die Zahl der Nennungen zu den Aktivitäten, an denen sich die Nanotechnologie-Innovationen messen lassen, in der Summe hoch ist. So geben 41 Unternehmen an, dass sie Patentanmeldungen beim deutschen Patentamt und 35 Unternehmen beim Europäischen Patentamt vorgenommen haben. Insofern wird wiederum deutlich, dass es sich bei den Nanotechnologien um einen durchaus forschungsintensiven Bereich handelt.

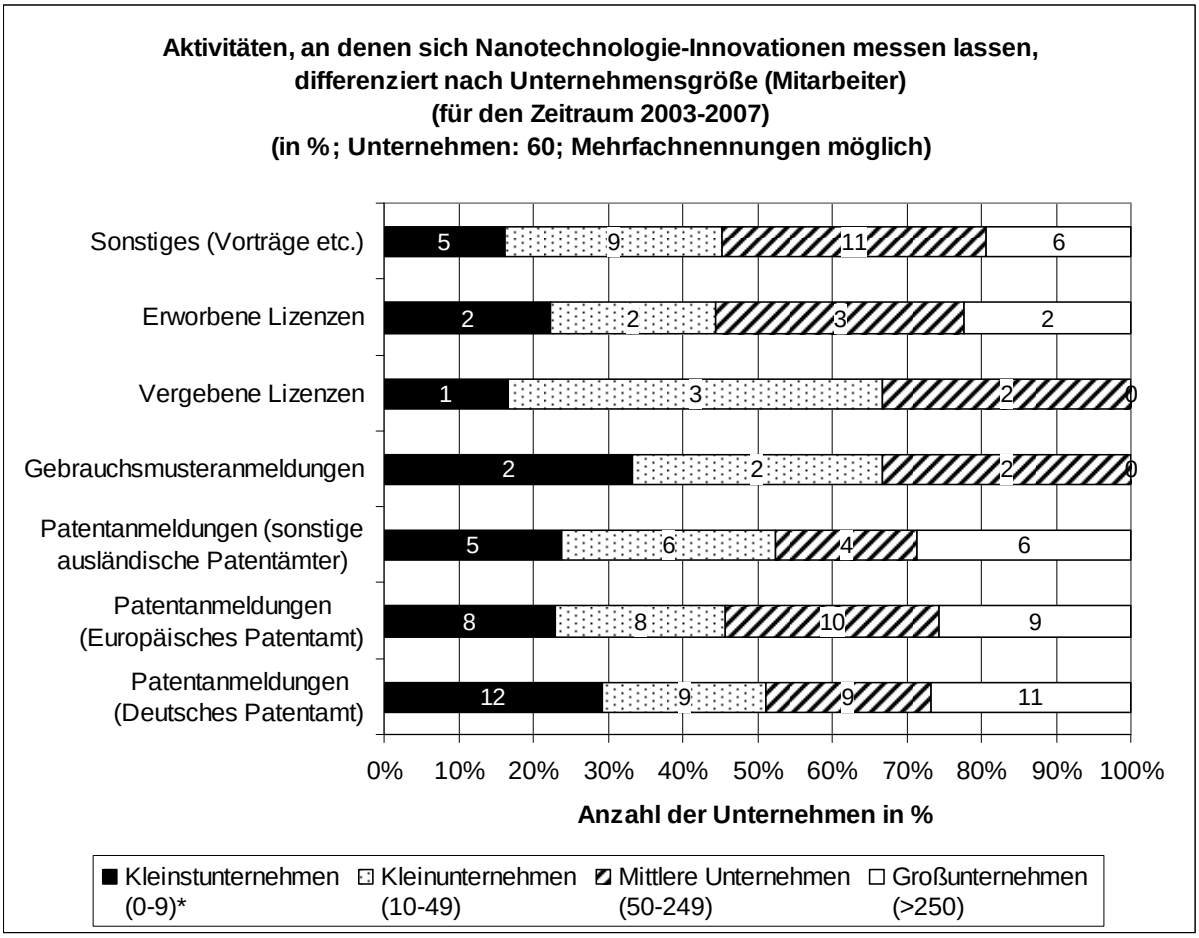
Abbildung 66: Aktivitäten, an denen sich Nanotechnologie-Innovationen messen lassen, differenziert nach deutschen und NRW-Unternehmen



(Quelle: eigene Erhebung)

Die Patentanmeldungen der NRW-Unternehmen beim Deutschen Patentamt sind in Relation etwas geringer als im gesamten Berichtskreis. Die Patentanmeldungen beim Europäischen Patentamt entsprechen etwa dem Anteil der NRW-Unternehmen.

Abbildung 67: Aktivitäten, an denen sich Nanotechnologie-Innovationen messen lassen, differenziert nach Unternehmensgröße (Mitarbeiter)

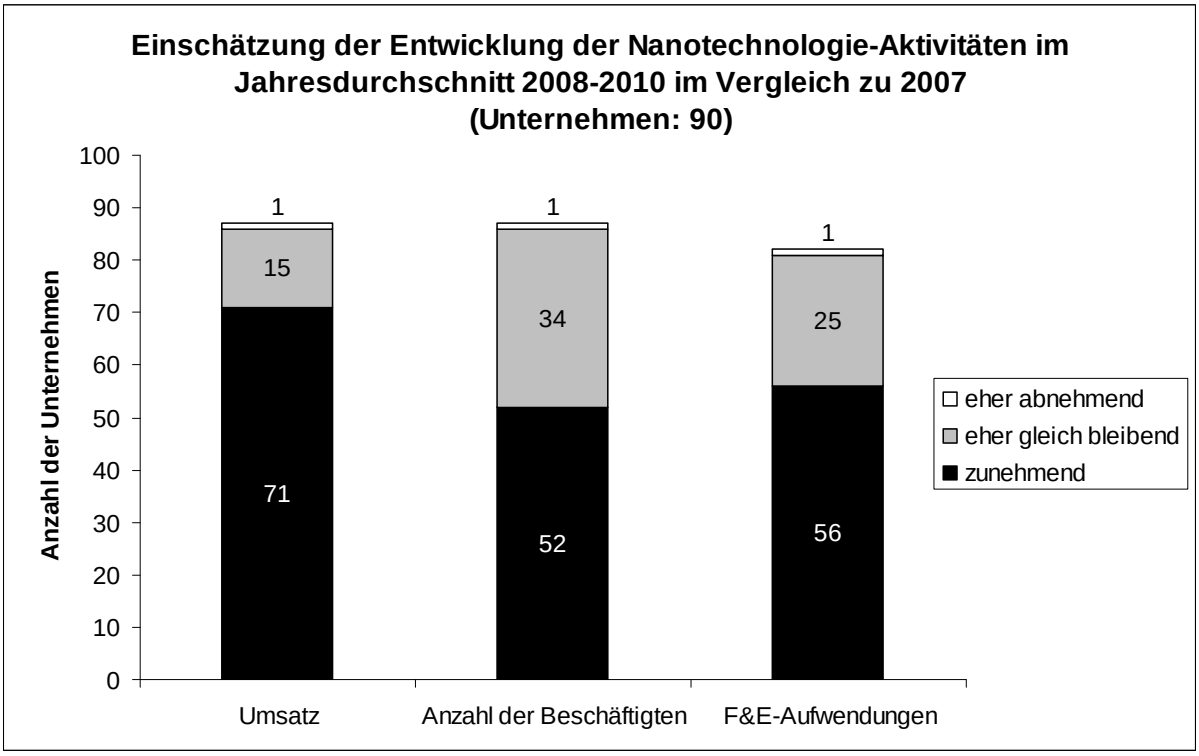


(Quelle: eigene Erhebung)

Differenziert nach der Unternehmensgröße werden die generellen Differenzen deutlich: die Patentaktivitäten der mittleren und Großunternehmen sind deutlich überdurchschnittlich, gleichwohl bleiben die Patentanmeldungsaktivitäten der Kleinst- und Kleinunternehmen beachtenswert.

5.1.2.1.12 Einschätzung der Entwicklung der Nanotechnologieaktivitäten durch die Unternehmen

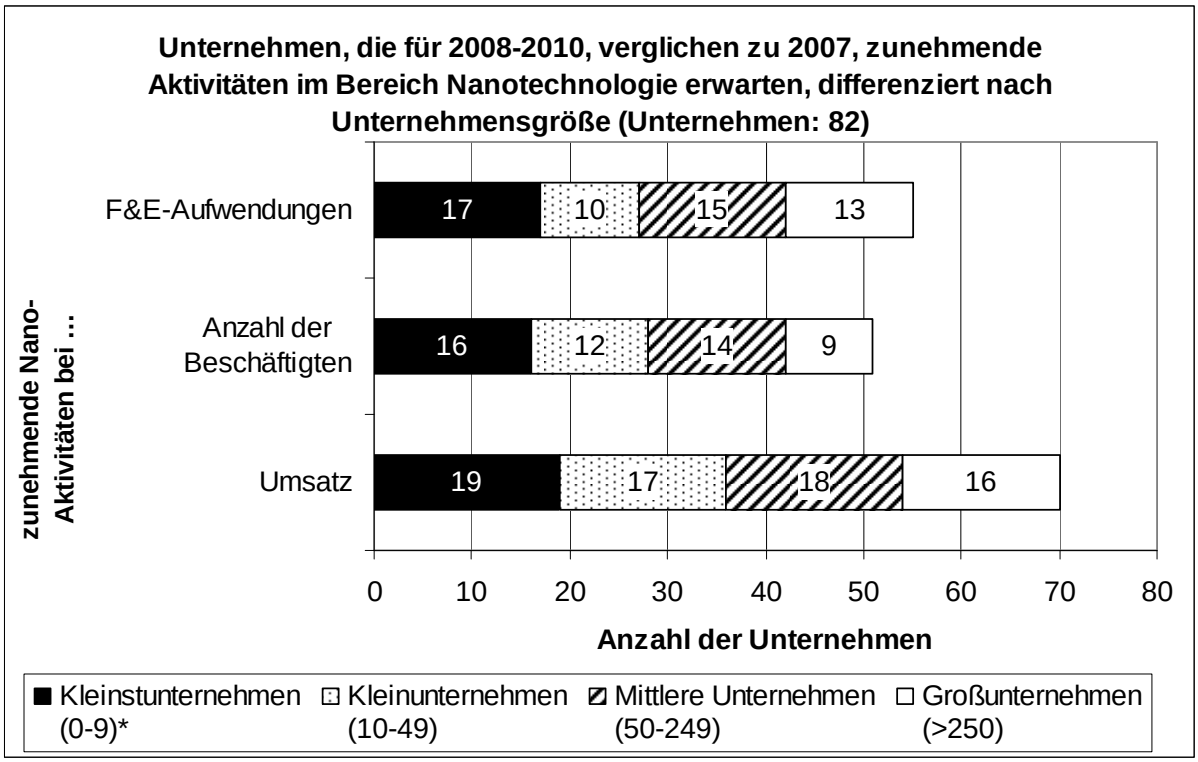
Abbildung 68: Einschätzung der Entwicklung der Nanotechnologie-Aktivitäten im Jahresdurchschnitt 2008-2010 im Vgl. zu 2007



(Quelle: eigene Erhebung)

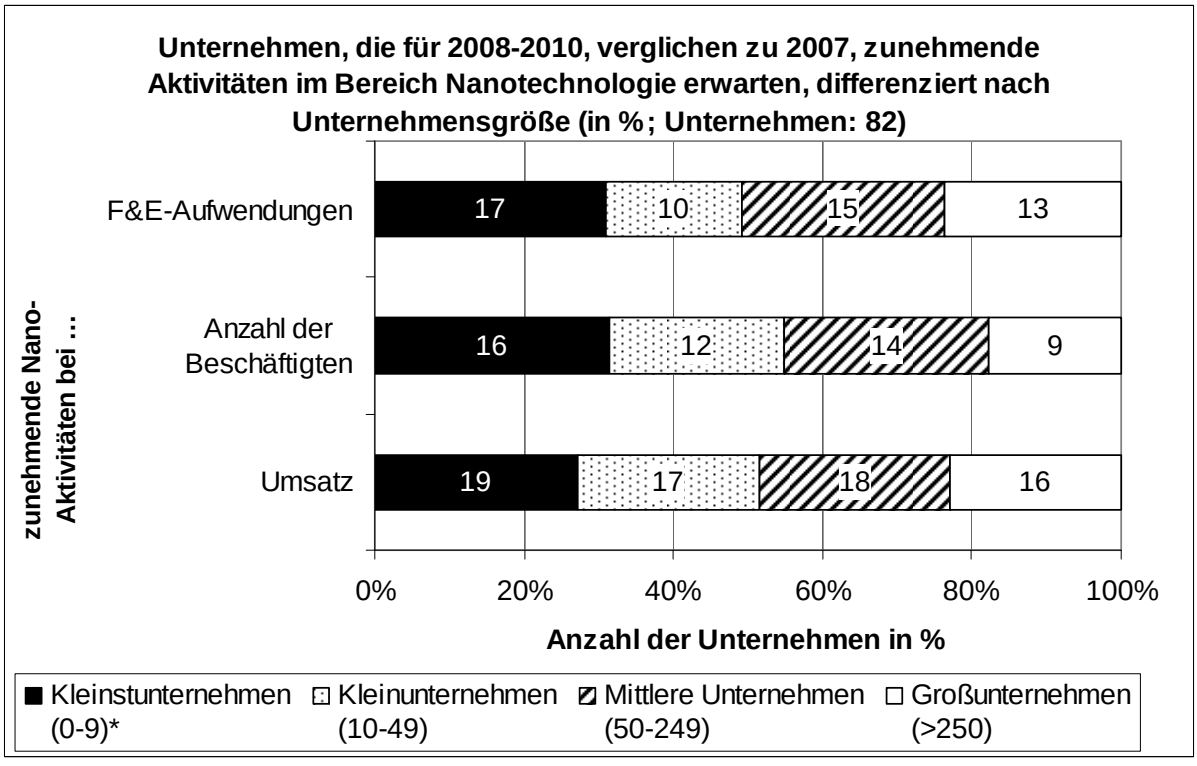
Die Unternehmen des Berichtskreises schätzen die Perspektiven des Einsatzes der Nanotechnologie generell positiv ein. Eine Abnahme der Nanotechnologieaktivitäten wird von allein einem Unternehmen angegeben. Gleichbleibende Umsätze werden von 15 Unternehmen angegeben und 71 Unternehmen gehen von einem Umsatzwachstum aus. Im Bereich der Beschäftigten wird von 52 Unternehmen angegeben, dass die Zahl der Nanotechnologiebeschäftigten zunehmen wird, 34 Unternehmen erwarten eine stabile Beschäftigungsentwicklung. Ähnlich wird davon ausgegangen, dass die FuE-Aufwendungen sich entwickeln werden. In der Summe wird die Entwicklung der Nanotechnologie von den Unternehmen als überaus positiv eingeschätzt.

Abbildung 69: Unternehmen, die für 2008-2010, verglichen zu 2007 zunehmende Aktivitäten im Bereich Nanotechnologie erwarten, differenziert nach Unternehmensgröße



(Quelle: eigene Erhebung)

Abbildung 70: Unternehmen, die für 2008-2010, verglichen zu 2007 zunehmende Aktivitäten im Bereich Nanotechnologie erwarten, differenziert nach Unternehmensgröße



(Quelle: eigene Erhebung)

Differenziert nach den einzelnen Bereichen, also FuE-Aktivitäten, Anzahl der Beschäftigten, Umsatz und Unternehmensgröße zeigt sich, dass über alle Unternehmensklassen hinweg insbesondere Umsatzsteigerungen erwartet werden. Beachtenswert ist, dass insbesondere auch die Kleinstunternehmen angeben, dass sie ihre FuE-Aktivitäten steigern werden. Bei den Großunternehmen wird deutlich, dass die Erwartungen an das Beschäftigtenwachstum geringer sind als hinsichtlich des Umsatzes und der FuE-Aufwendungen.

5.1.2.2 Zusammenfassung der Aussagen des Berichtskreises „Nanotechnologieunternehmen“

- **Größenstrukturen des Berichtskreises**

  Unternehmen des Berichtskreises „Nanotechnologieunternehmen“ sind hinsichtlich ihrer Größenverhältnisse weit gestreut, sowohl Großunternehmen als auch Kleinstunternehmen setzen Nanotechnologien ein. Dennoch ist darauf hinzuweisen, dass Großunternehmen im Berichtskreis stark vertreten sind.

- **Angebote der Unternehmen**

  Die Unternehmen des Berichtskreises ordnen sich vorrangig der Kategorie der Anbieter von Produkten und Verfahren zu, in denen Nanotechnologien eine funktionelle Rolle einnehmen. Die zweithäufigste vertretene Kategorie bilden die Hersteller von Nanotechnologien, noch vor Anbietern von Dienstleistungen und FuE-Einrichtungen. In NRW sind die Dienstleister stärker vertreten als im gesamten Berichtskreis.

- **Anwendungsgebiete**

  Die Unternehmen des Berichtskreises sehen ihre Anwendungsgebiete vorrangig in den Bereichen Oberflächen/Beschichtung und Nanomaterialien, gefolgt von Anlagen/Geräte und Analytik. Die Unternehmen in NRW lassen sich in stärkerem Maße der Elektronik und der Analytik zuordnen.

- **Anwendungsbereiche**

  Die Anwendungsbereiche sind vorrangig Materialien/Werkstoffe und die Automobil- und Chemieindustrie. Es wird aus diesem Aspekt sehr deutlich, dass die Nanotechnologien generische Einsatzgebiete haben – Materialien/Werkstoffe sind als Querschnittsbereich anzusehen, die letztlich sämtliche Produktionsprozesse beeinflussen. Nanotechnologien dienen in starkem Maße dazu gerade diesen Bereich weiter zu stärken. Der breite Einsatz dieser Technologien in der Automobilindustrie zeigt, dass diese ein wesentlicher Nachfrager nach diesen neuen nanotechnologischen Produkten bzw. Verfahren ist. Vor dem Hintergrund des durch wenige Industriezweige getragenen Innovationssystems Deutschlands ist es von daher wenig überraschend, dass die Automobil-

industrie - neben der chemischen Industrie - als eines der wichtigsten Anwendungsgebiete gilt.

- **Funktionalitäten**

  Die Verbesserung der Werkstoffeigenschaften, die Oberflächenfunktionalisierung und das Ermöglichen von katalytischen Prozessen erweisen sich als die meistgenannten Funktionalitäten, die durch die Unternehmen genutzt werden. Es handelt sich folglich um Bereiche, die im Wesentlichen durch kontinuierliche, meist inkrementelle Verbesserungen gekennzeichnet sind. Die potenziellen Möglichkeiten der Nanotechnologie erweisen sich dabei als weiterer „enabler“ für diese Verbesserungsprozesse.

- **Beiträge zum Umweltschutz**

  Die Unternehmen des Berichtskreises gaben insbesondere die Umweltentlastungsmöglichkeiten an, die sich durch die Materialeinsparung, der Minderung von Emissionen und Abfall und der Energieeinsparung ergeben können. Der Hauptfokus der Nanotechnologieunternehmen des Berichtskreises liegt damit in dem Bereich des Ressourcenschutzes bzw. des integrierten Umweltschutzes.

- **Rolle des Umweltschutzes für die Entwicklung der Angebote**

  Nach den Angaben der Unternehmen spielen Umwelt- und Ressourceneffekte insbesondere in der Phase der FuE eine wichtige Rolle und sind z.T. ausschlaggebend. Mit etwas abnehmender Bedeutung sind diese Angaben auch für die Produktions- und Vermarktungsphase gewichtig. Insbesondere für die Vermarktung ist der Aspekt der Umwelt- und Ressourceneffekte vielfach der ausschlaggebende Grund.

- **Umweltschutzbereiche**

  Die wesentlichen Nennungen der Unternehmen beziehen sich dabei vor allem auf den prozessintegrierten Umweltschutz, die Energieeinsparung sowie Luftreinhaltung und Monitoring/Analyse. Hiervon etwas abweichend gewichten die NRW-Unternehmen die Anwendungsbereiche vorrangig nach Monitoring/Analyse, gefolgt von Luftreinhaltung und dem Energiebereich.

- **Absatzmärkte**

  Die Absatzmärkte der Unternehmen sind im Wesentlichen überregional orientiert. Hinsichtlich der Zahl der Nennungen steht das Bundesgebiet vor der EU, dem jeweiligen eigenen Bundesland und den USA. Die Unternehmen des Berichtskreises erweisen sich von daher als weitgehend national bzw. international ausgerichtet. Differenziert nach Unternehmensgrößenklassen ist festzustellen, dass die „typischen“ Unterschiede von KMU und größeren Unternehmen folgendermaßen auszuweisen sind: die

Absatzradien der KMU sind in der Regel kleiner, das eigene Bundesland und das sonstige Bundesgebiet sowie die Europäische Union werden am häufigsten benannt.

- **Bezugsquellen**

  Die Nanotechnologieunternehmen des Berichtskreises geben an, dass die Zulieferungen überwiegend aus dem Bundesgebiet stammen, noch vor dem eigenen Bundesland, der USA und der EU. Die NRW-Unternehmen geben des Weiteren an, dass sie ihre Vorleistungen vorrangig aus dem eigenen Bundesland beziehen, noch vor dem übrigen Bundesgebiet. Dies könnte darauf hinweisen, dass die Zuliefererbeziehungen in NRW stärker ausgeprägt sind als in anderen Bundesländern – zu berücksichtigen ist allerdings, dass sich die Strukturen der NRW-Unternehmen gegenüber dem gesamten Berichtskreis unterscheiden.

- **Wettbewerber**

  Die Unternehmen des Berichtskreises geben an, dass ihre wesentlichen Wettbewerber aus den USA stammen, noch vor Unternehmen aus dem Bundesgebiet und der EU bzw. fast in gleicher Anzahl aus Japan. Die Einschätzung der Unternehmen, dass die Wettbewerbsposition der USA so stark ist, erscheint überraschend und verweist darauf, dass die Unternehmen sich auf einen hochtechnologieorientierten Bereich verorten lassen, in dem die USA, mit ihrer ausgeprägten Förderung von Nanotechnologie (sowohl öffentlich als auch privat) offenbar eine gute Wettbewerbsposition geschaffen haben. Nach diesen Angaben ist folglich von einem globalisierten Wettbewerbsumfeld zu sprechen. Unternehmensgrößenklassenorientiert ist festzustellen, dass die Internationalisierung der Wettbewerbssituation etwas schwächer ausgeprägt ist, sich aber nicht grundlegend unterscheidet.

- **Wettbewerbsvorteile der Konkurrenten**

  Als wesentliche Wettbewerbsvorteile der Konkurrenten werden von den Unternehmen des Berichtskreises - neben dem besseren Zugang zur Finanzierung - auch die besseren öffentlichen Förderungsmöglichkeiten angesehen. Nach den Finanzierungsvorteilen sind dies vor allem Vorteile im Preiswettbewerb, besserer Vertrieb sowie bessere Nanotechnologiekompetenz der Wettbewerber. Die NRW-Unternehmen gaben an, dass sie wesentliche Vorteile im Kontext der stärkeren öffentlichen Förderung sehen sowie in den stärkeren internationalen Kompetenzen und in einer höheren Innovationsfähigkeit der Wettbewerber.

- **Kooperation**

  Die Unternehmen des Berichtskreises kooperieren im Wesentlichen mit Hochschulen und außeruniversitären Einrichtungen, deutlich vor den Kooperationen mit Lieferanten und Abnehmern. Dies deutet darauf hin, dass die Nanotechnologieunternehmen stark forschungsorientiert sind. Die Zusammenarbeit mit Hochschulen und außeruniversitären FuE-Einrichtungen erfordert, dass generell FuE-Kapazitäten in den Unternehmen vorhanden sind, um diese Kooperationen eingehen zu können. Dies macht erneut deutlich, dass Nanotechnologieunternehmen stark forschungsorientiert sind. Nach den Angaben der Unternehmen ergibt sich daraus, dass diese Kooperationen einen hohen Stellenwert haben, um im Wettbewerb konkurrenzfähig zu sein. Die NRW-Unternehmen geben an, dass sie hauptsächlich mit außeruniversitären FuE-Einrichtungen kooperieren, noch vor der Zusammenarbeit mit Lieferanten und Hochschulen. Dies weist darauf hin, dass die Kooperationen zwischen universitären Einrichtungen und Unternehmen in NRW gestärkt werden müsste. Differenziert nach Unternehmensgrößen ist festzustellen, dass sich die Kooperationsstrukturen unterscheiden. KMU kooperieren in der Relation stärker mit Technologietransfereinrichtungen in Unternehmensnetzwerken, gefolgt von Abnehmern und Fachhochschulen.

- **Innovationsaktivitäten**

  Die „nachweisbaren“ Innovationsaktivitäten der Unternehmen des Berichtskreises, wie bspw. Patentanmeldungen, erweisen sich als hoch. Auch dies ist ein Hinweis darauf, dass es sich bei den Nanotechnologieunternehmen des Berichtskreises um forschungsstarke und –aktive Unternehmen handelt. Bei der Differenzierung nach Unternehmensgrößenklassen lassen sich die typischen Unterschiede zwischen KMU und Großunternehmen identifizieren: Großunternehmen sind sehr viel aktiver im Bereich der Patentanmeldungen als die kleineren Unternehmen.

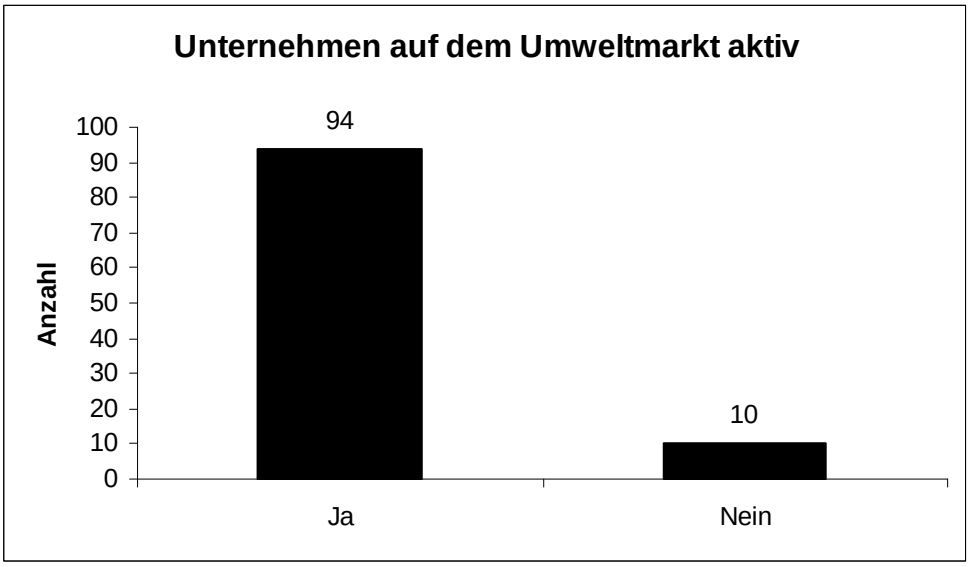
- **Perspektiven des Nanotechnologiebereichs**

  Die Unternehmen gehen überwiegend davon aus, dass sich der Bereich Nanotechnologie positiv entwickeln wird. Es wird davon ausgegangen, dass sich insbesondere die Umsätze und die FuE-Aufwendungen erhöhen werden und - wenn auch geringer - die Beschäftigung in diesem Bereich zunehmen wird.

5.1.2.3 Umfrage unter nordrhein-westfälischen Umweltwirtschafts-Unternehmen

5.1.2.3.1 Strukturelle Zusammensetzung der Unternehmen

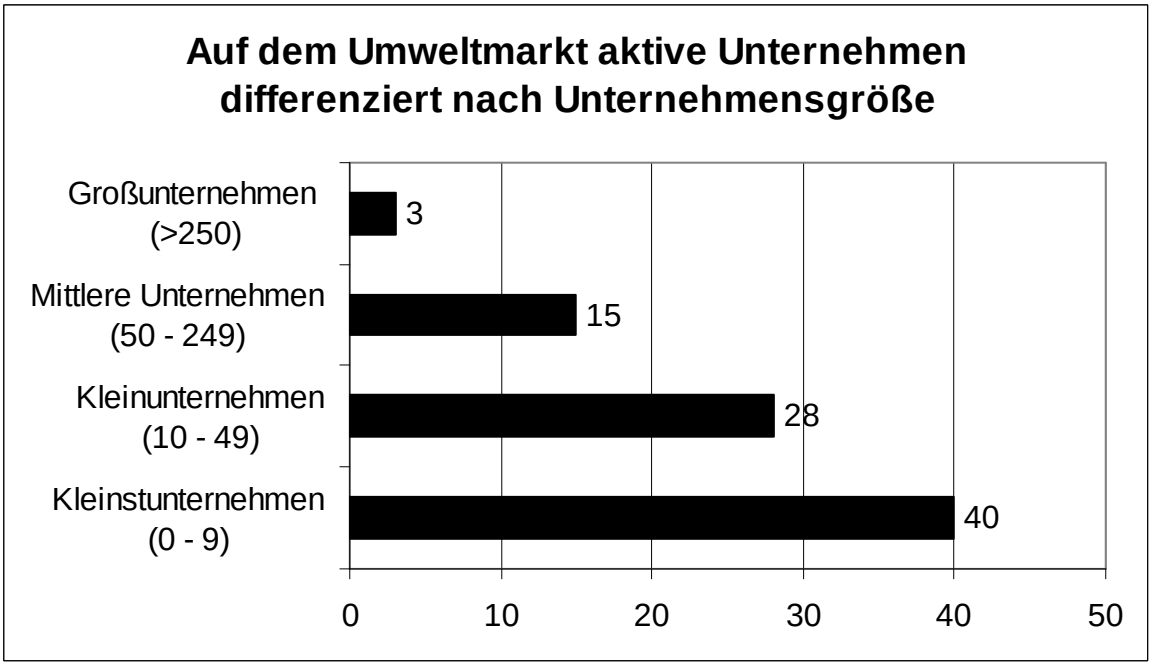
Abbildung 71: Aktive Unternehmen auf dem Umweltmarkt



(Quelle: eigene Erhebung, Mehrfachnennungen möglich)

Zehn Unternehmen haben angegeben, dass sie sich nicht dem Umweltmarkt zugehörig ansehen. Damit konnten 94 Fragebögen in die Auswertung übernommen werden.

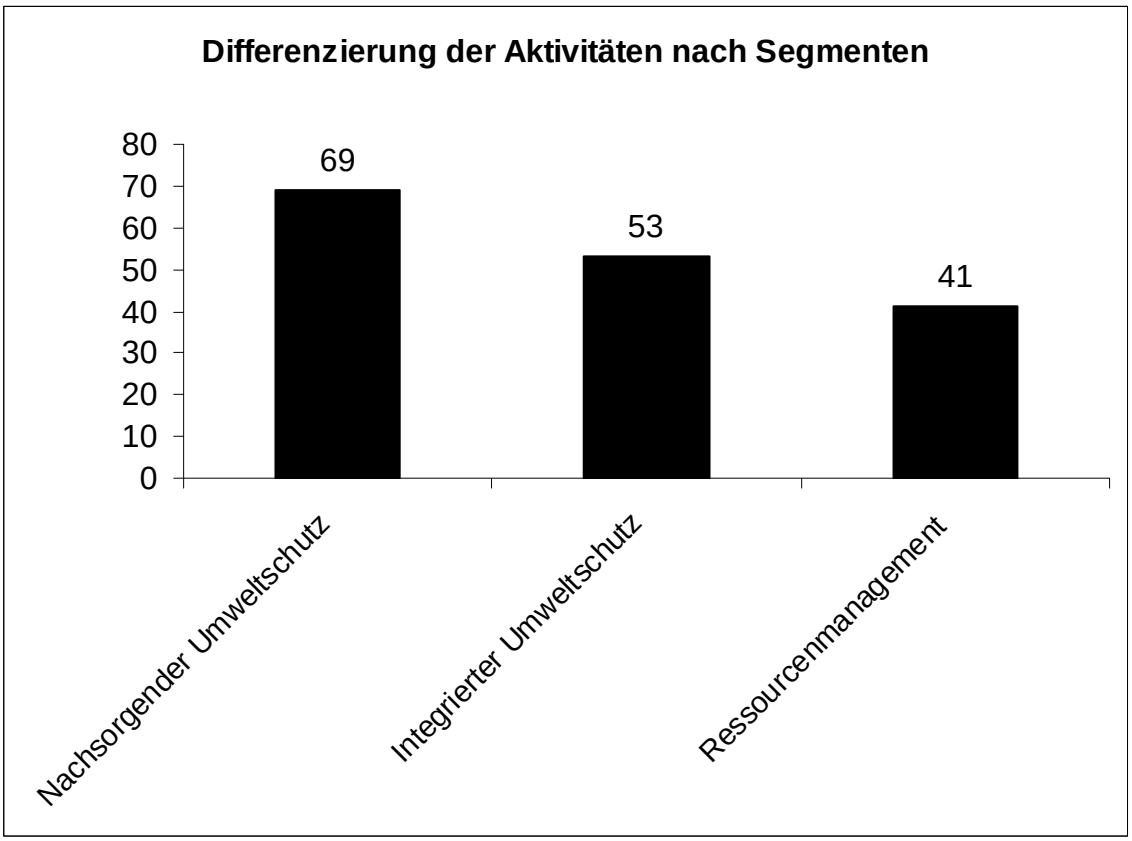
Abbildung 72: Aktive Unternehmen auf dem Umweltmarkt, differenziert nach Unternehmensgröße



(Quelle: eigene Erhebung)

Die Größenverteilung der Unternehmen macht deutlich, dass es sich bei dem überwiegenden Teil des Berichtskreises um kleine Unternehmen handelt. Großunternehmen (hier abgegrenzt mit mehr als 250 Beschäftigten) stellen demgegenüber die Minderheit des Berichtskreises dar.

Abbildung 73: Differenzierung der Aktivitäten nach Segmenten

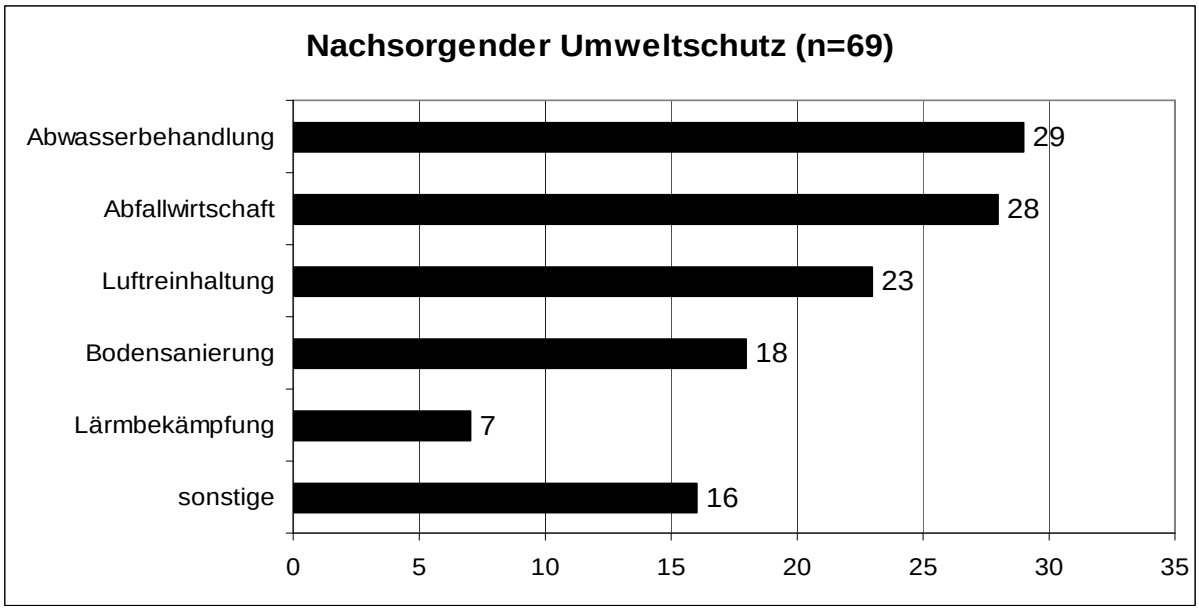


(Quelle: eigene Erhebung; Mehrfachnennungen möglich)

Die Selbstzuordnung der Unternehmen nach der Typologie nachsorgender und integrierter Umweltschutz sowie Ressourcenmanagement ergab, dass sich der überwiegende Teil der Unternehmen dem nachsorgenden Umweltschutz zuordnet, vor dem integrierten Umweltschutz und dem Ressourcenmanagement.

Die Differenzierung nach den jeweiligen Tätigkeitsgebieten des nachsorgenden Umweltschutzes ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

Abbildung 74: Nachsorgender Umweltschutz

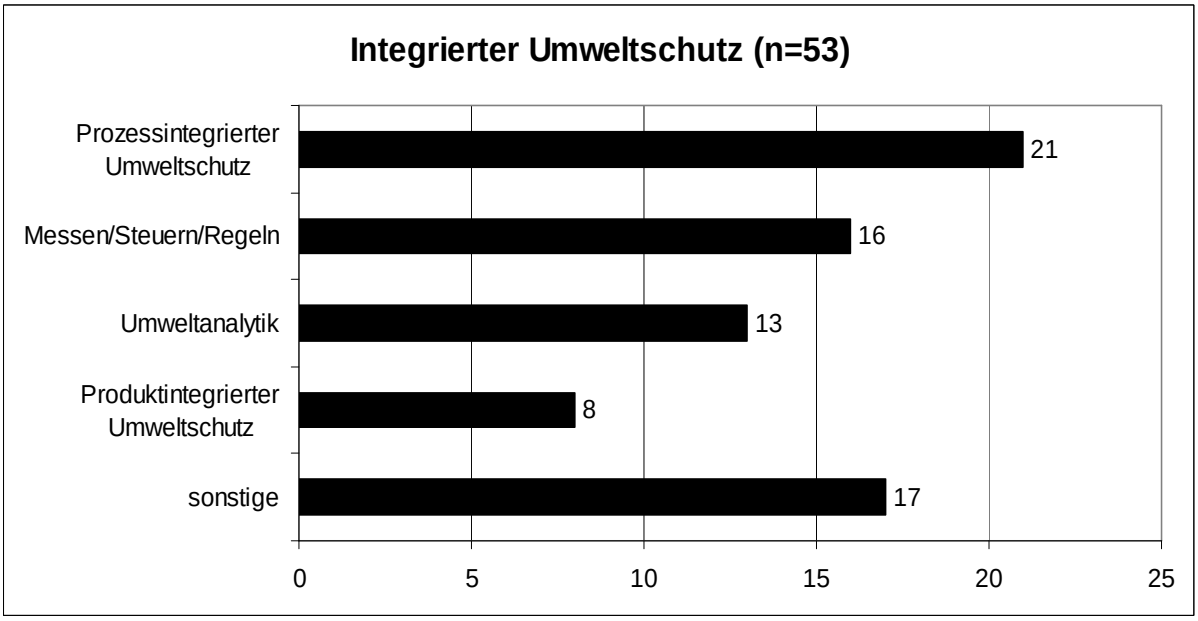


(Quelle: eigene Erhebung, Mehrfachnennungen möglich)

Die Unternehmen des nachsorgenden Umweltschutzes sind überwiegend in den Bereichen Abwasserbehandlung, Abfallwirtschaft und Luftreinhaltung tätig. Bodensanierung und Lärmbekämpfung werden hingegen weniger häufig angeführt.

Die Zuordnung der Unternehmen im Teilbereich „integrierter Umweltschutz“ ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

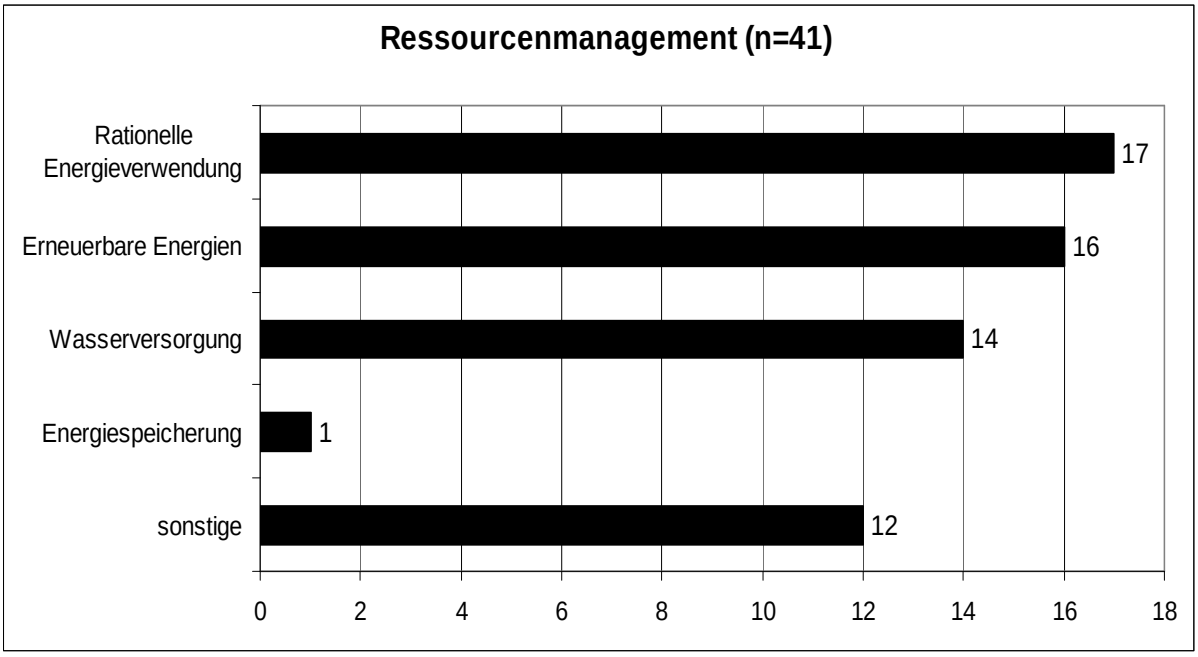
Abbildung 75: Integrierter Umweltschutz



(Quelle: eigene Erhebung, Mehrfachnennungen möglich)

Die Unternehmen ordnen sich überwiegend dem prozessintegrierten Umweltschutz zu, gefolgt von dem Bereich „Messen/Steuern/Regeln“ und der Umweltanalytik. Der produktintegrierte Umweltschutz hat demgegenüber im Berichtskreis nur einen begrenzten Anteil.

Abbildung 76: Ressourcenmanagement



(Quelle: eigene Erhebung, Mehrfachnennungen möglich)

Im Bereich Ressourcenmanagement ordnen sich die Unternehmen überwiegend dem Energiebereich zu, also der rationellen Energieverwendung und den Erneuerbaren Energien. Des Weiteren ordnen sich 14 Unternehmen dem Bereich Wasserversorgung zu.

Die Differenzierung nach Unternehmensgrößenklassen und Umweltmarktsegmenten ergab, dass die Verteilung der Größenklassen in allen drei Bereichen in etwa dem Anteil an der Grundgesamtheit entspricht.

In den einzelnen Segmenten können allerdings einige Differenzierungen festgestellt werden:

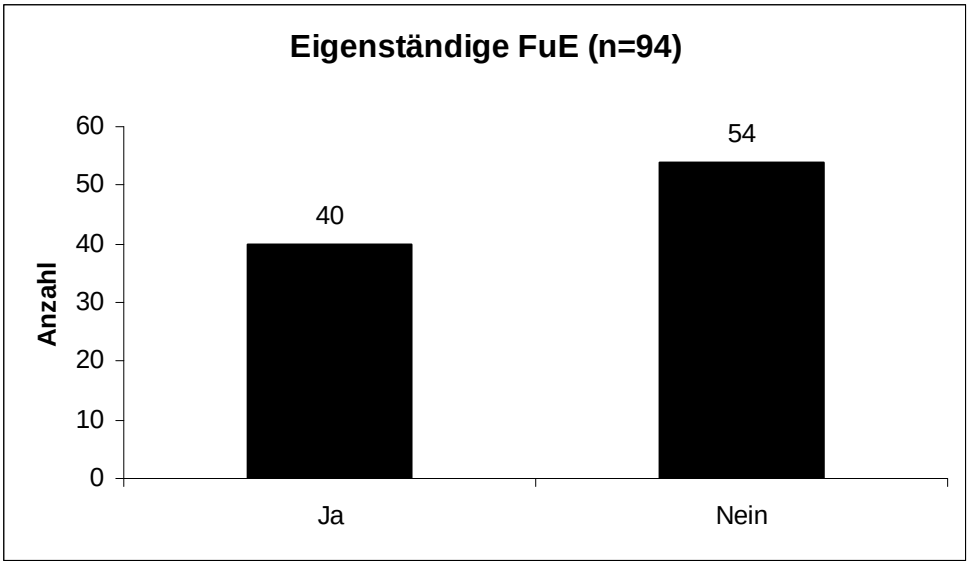
Im Bereich nachsorgender Umweltschutz sind die Kleinunternehmen überwiegend im Bereich Luftreinhaltung und Abwasserbehandlung tätig. Die Anteile der mittleren Unternehmen und der Großunternehmen im Bereich Lärmbekämpfung und der Abfallwirtschaft sind hingegen höher.

Im Bereich Integrierter Umweltschutz sind die Anteile der Kleinstunternehmen in den Bereichen Messen/Steuern/Regeln und Umweltanalytik besonders hoch. Die Anteile der Kleinunternehmen sind insbesondere in den Bereichen prozessintegrierter und der produktintegrierter Umweltschutz geringer.

Im Bereich Ressourcenmanagement sind die mittleren und Großunternehmen überrepräsentiert, die anderen Bereiche, also rationelle Energieversorgung und erneuerbare Energien sind in etwa entsprechend der Grundgesamtheit vertreten.

5.1.2.3.2 Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten der Unternehmen

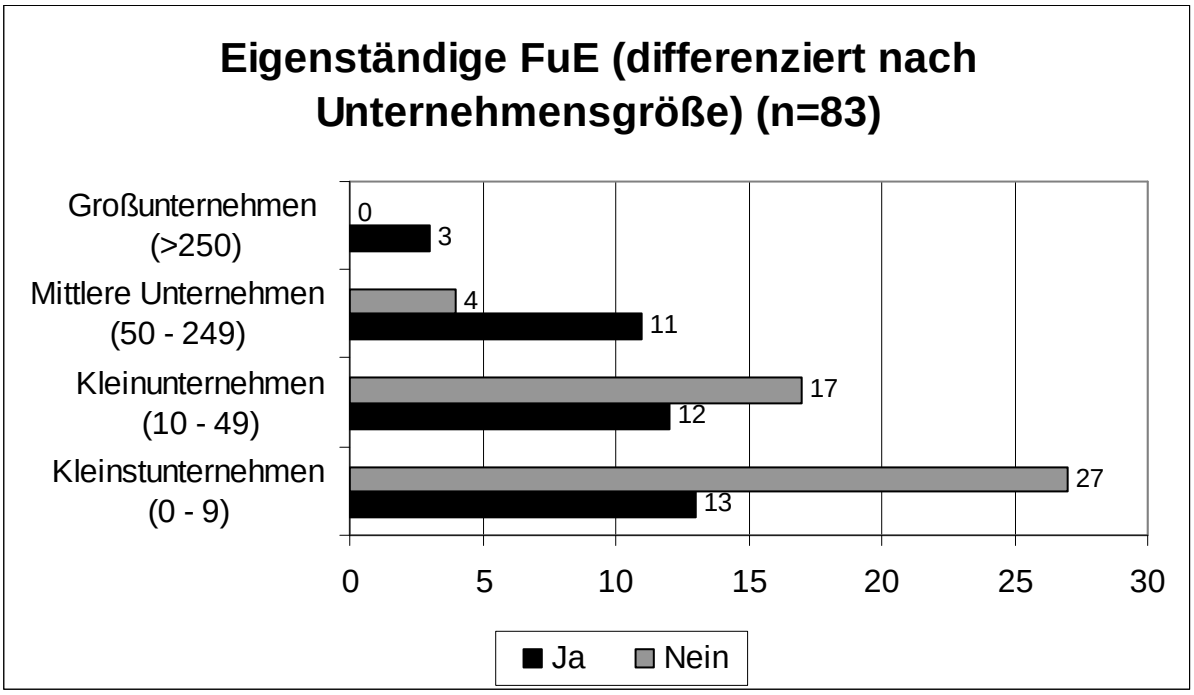
Abbildung 77: Eigenständige FuE



(Quelle: eigene Erhebung)

Von den 94 Unternehmen sind 40 Unternehmen im Bereich FuE aktiv, 54 Unternehmen geben an, keine eigenständige FuE zu betreiben. Diese Relation scheint für Unternehmen des Umweltmarktes eher ungewöhnlich zu sein, da der Anteil FuE betreibender Unternehmen des Umweltmarktes in anderen Umweltmarktstudien meist geringer ist. Insofern scheint die Grundgesamtheit eine „Positivauswahl“ zu sein, bei der insbesondere FuE betreibende Unternehmen an der Befragung teilgenommen haben. Oder weitergehend interpretiert: die Befragung nach Nanotechnologien hat insbesondere FuE aktive Unternehmen angesprochen.

Abbildung 78: Eigenständige FuE, differenziert nach Unternehmensgröße

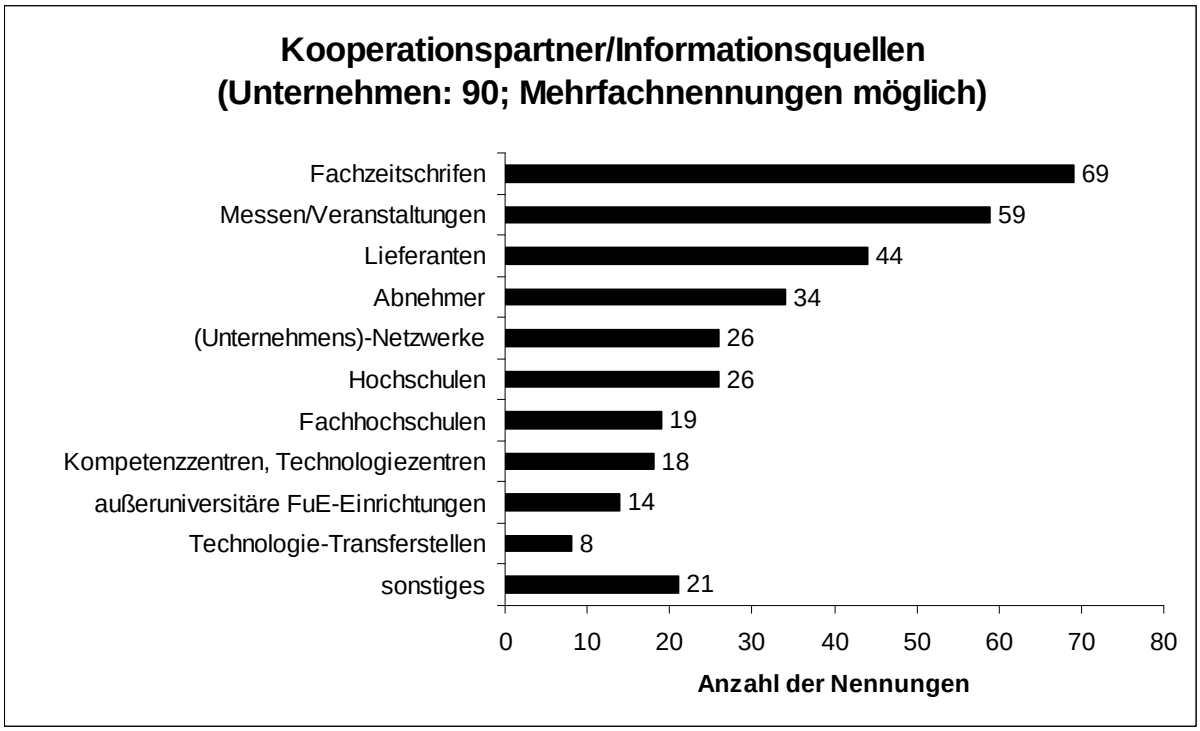


(Quelle: eigene Erhebung)

Differenziert nach Unternehmensgröße und eigenständigen FuE-Aktivitäten ist festzustellen, dass sich das folgende, aus anderen Untersuchungen bekannte, Bild ergibt: bei den Kleinstunternehmen überwiegen die Unternehmen ohne eigene FuE-Aktivitäten bei weitem. Bei den Kleinunternehmen nimmt diese Relation hingegen deutlich ab und kehrt sich bei den mittleren Unternehmen um.

5.1.2.3.3 Kooperationspartner und Informationsquellen der Unternehmen

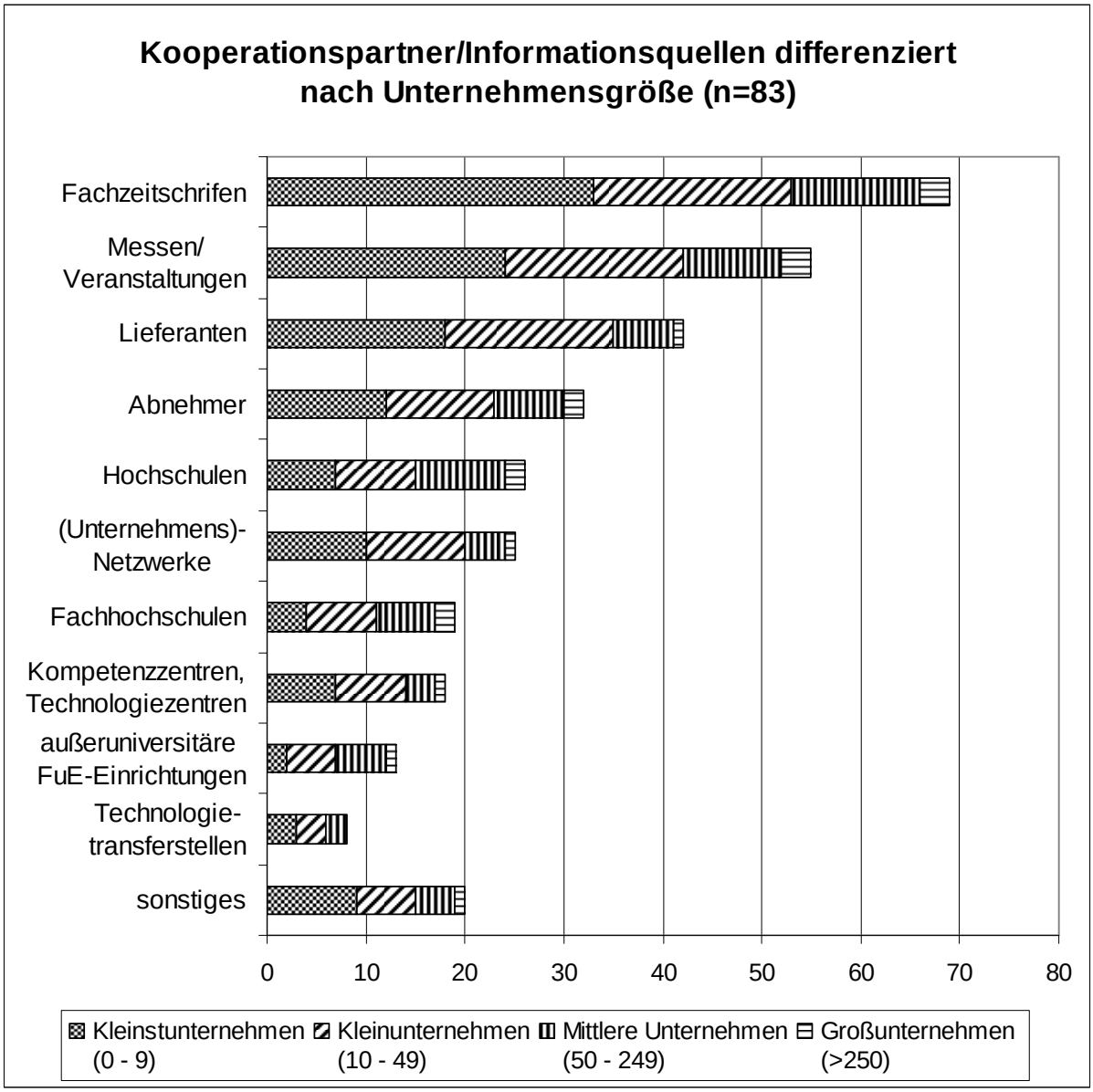
Abbildung 79: Kooperationspartner/Informationsquellen



(Quelle: eigene Erhebung)

Die Informationsquellen der Umweltunternehmen des Berichtskreises sind im Wesentlichen Fachzeitschriften sowie Messen/Veranstaltungen. Bei den Kooperationspartnern/Informationsquellen sind es vor allem die Lieferanten und Abnehmer, mit denen die Unternehmen kooperieren bzw. Informationen austauschen. Mit einer geringeren Zahl von Nennungen kommen danach Unternehmensnetzwerke und Hochschulen noch vor den Fachhochschulen und den außeruniversitären FuE-Einrichtungen. Technologietransferstellen werden von den wenigsten Unternehmen angegeben.

Abbildung 80: Kooperationspartner/Informationsquellen, differenziert nach Unternehmensgröße

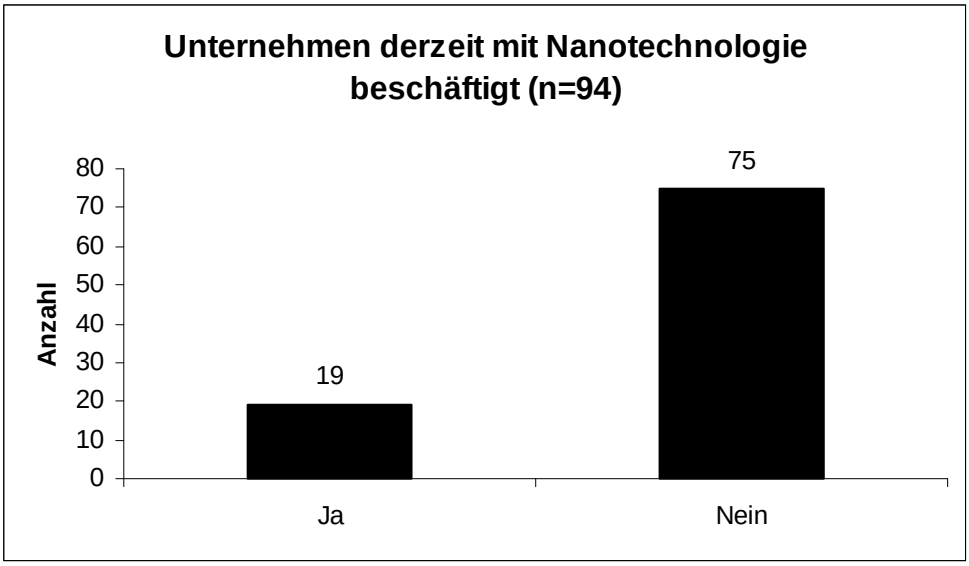


(Quelle: eigene Erhebung)

Differenziert nach Unternehmensgröße ist festzustellen, dass die wesentlichen anteilsmäßigen Unterschiede bzgl. der Kooperationspartner/Informationsquellen sich vor allem im Bereich der außeruniversitären FuE-Einrichtungen, den Fachhochschulen und den Hochschulen ergeben, bei denen die Kleinstunternehmen deutlich unterproportionale Anteile haben (vice versa sind dort die Anteile der anderen Größenklassen höher). Außeruniversitäre FuE-Einrichtungen, Fachhochschulen und Hochschulen stellen in besonderem Maße für die mittleren und Großunternehmen wesentliche Kooperationspartner dar.

5.1.2.3.4 Bezug der Unternehmen zu Nanotechnologie

Abbildung 81: Unternehmen derzeit mit Nanotechnologie beschäftigt

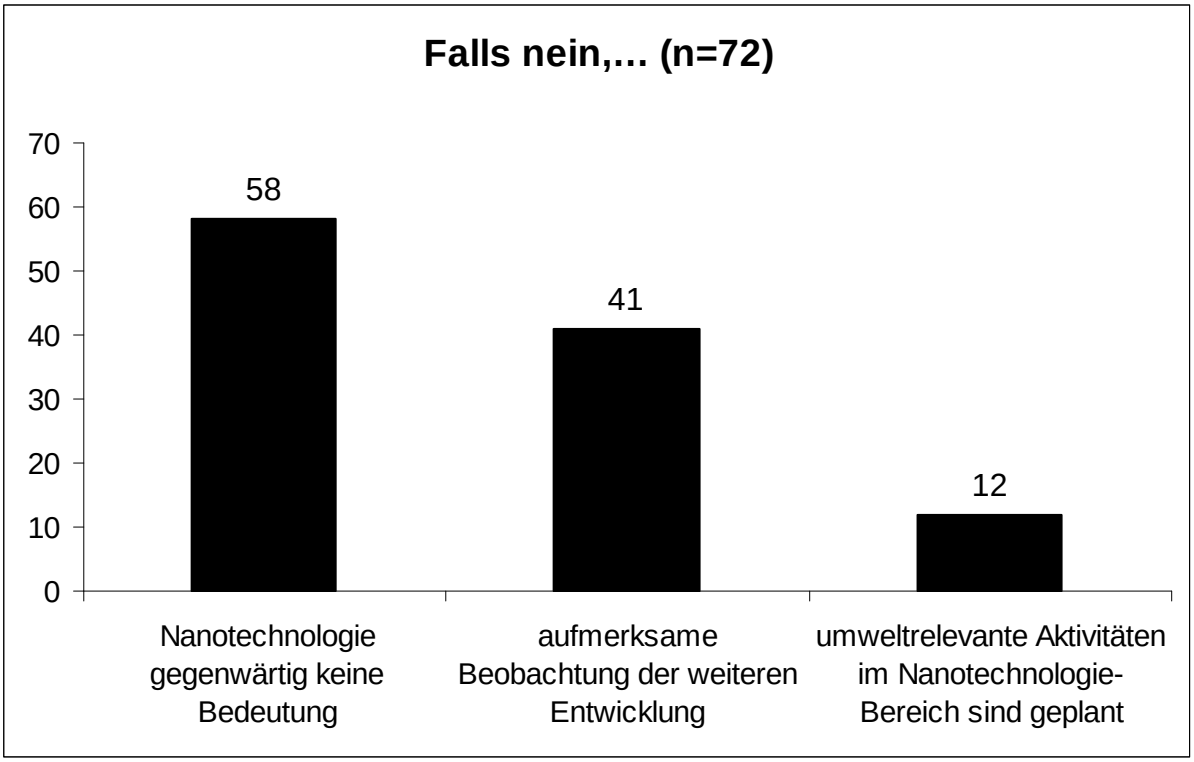


(Quelle: eigene Erhebung)

Von den Unternehmen des Berichtskreises befassen sich bislang allein 19 Unternehmen mit Nanotechnologie, 75 Unternehmen geben an, bislang nicht mit Nanotechnologie befasst zu sein. Hinsichtlich der Verteilung nach Unternehmensgrößenklassen ist festzustellen, dass es sich bei den Unternehmen, die sich mit Nanotechnologie befassen, vor allem um Kleinunternehmen mit 10- 49 Beschäftigten handelt.

Auf die Frage, weshalb die Unternehmen sich nicht mit Nanotechnologie befassen, wurde wie folgt geantwortet:

Abbildung 82: Falls nein...



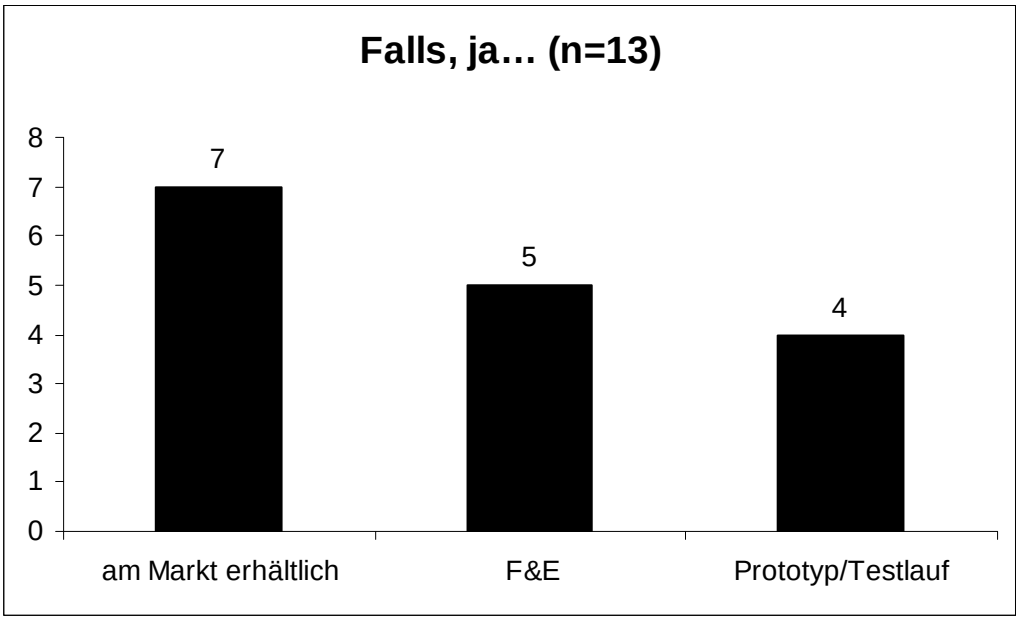
(Quelle: eigene Erhebung; Mehrfachnennungen möglich)

Da Mehrfachnennungen möglich waren, sollen diese kurz erwähnt werden. Nur 35 Unternehmen haben keine Bedeutung angegeben, 19 Unternehmen haben keine Bedeutung und aufmerksame Beobachtung der weiteren Entwicklung angegeben. 6 Unternehmen haben geplante Aktivitäten und aufmerksame Beobachtung angegeben.

In der Summe lässt sich festhalten, dass der wesentliche Teil der Unternehmen sich bislang nicht mit Nanotechnologien befasst hat, da die Relevanz der Nanotechnologien ihrer Ansicht nach gegenwärtig nicht gegeben ist. Gleichwohl wird der Nanotechnologie in der Perspektive Relevanz eingeräumt, da einerseits 12 Unternehmen angeben, dass umweltrelevante Aktivitäten im Nanobereich geplant sind und 41 Unternehmen die weitere Entwicklung beobachten. Von den 12 Unternehmen, die umweltrelevante Aktivitäten planen, wollen sich fünf Unternehmen kurzfristig, vier mittelfristig und drei langfristig in diesem Bereich engagieren.

Differenziert nach Unternehmensgrößen lassen sich nur begrenzt Aussagen generieren. Gleichwohl lässt sich in der Tendenz feststellen, dass gerade die Kleinunternehmen aktiver als die Unternehmen der anderen Größenklassen zu sein scheinen.

Abbildung 83: Falls ja...

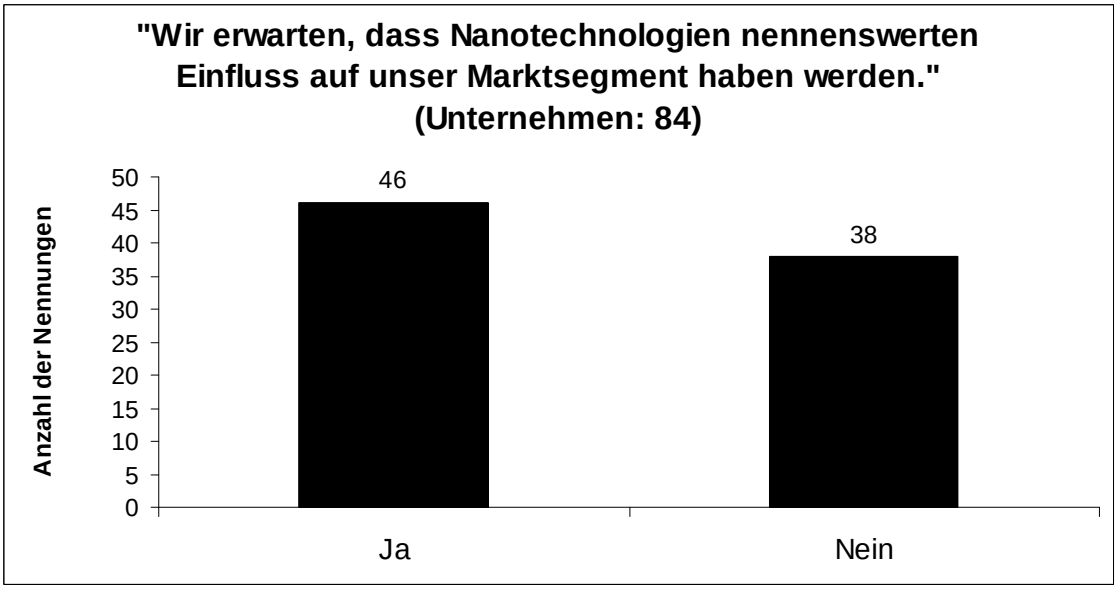


(Quelle: eigene Erhebung)

Von den wenigen Unternehmen, die sich bereits mit Nanotechnologie befassen, geben 7 Unternehmen an, dass sie bereits Produkte am Markt haben. Weitere vier Unternehmen gaben Prototypen/Testläufe an und weitere fünf Unternehmen betreiben FuE.

5.1.2.3.5 Einschätzung seitens der Unternehmen bezüglich des Einflusses der Nanotechnologie auf die jeweiligen Märkte der Unternehmen

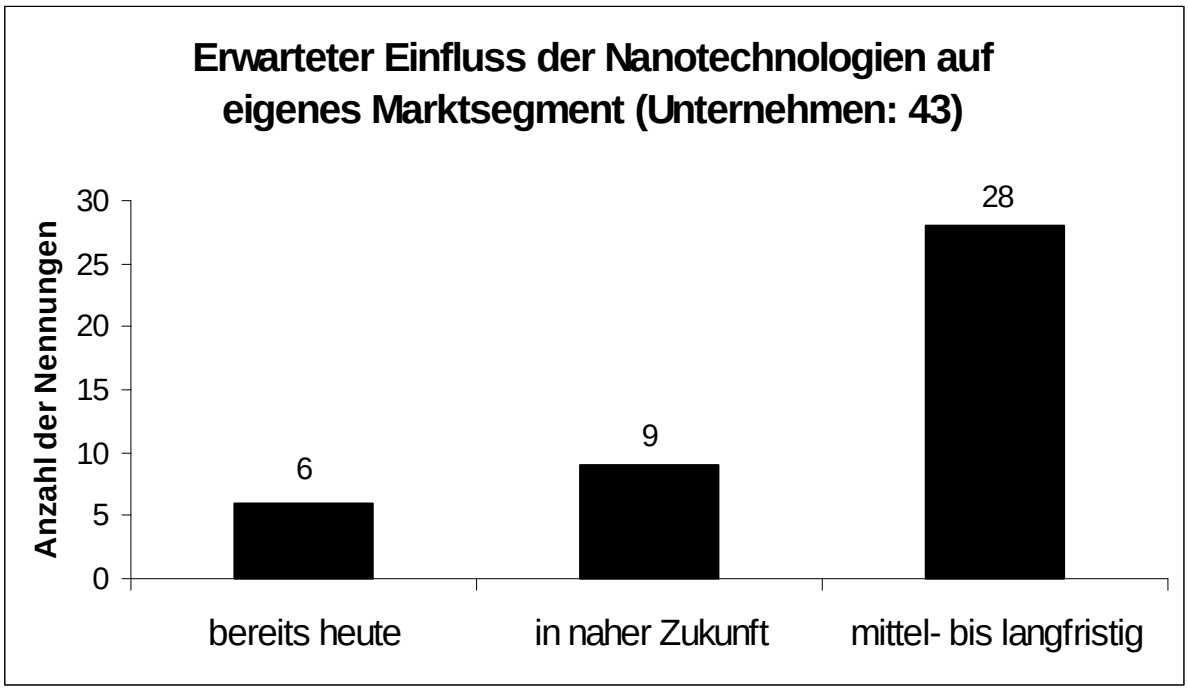
Abbildung 84: Erwartungen des Einflusses der Nanotechnologie auf das jeweilige Marktsegment



(Quelle: eigene Erhebung)

Die überwiegende Anzahl der Unternehmen (46) geht davon aus, dass Nanotechnologien einen nennenswerten Einfluss auf ihr Marktsegment haben werden. Allerdings gehen auch 38 Unternehmen davon aus, dass dies nicht der Fall sein wird.

Abbildung 85: Erwarteter Einfluss der Nanotechnologie auf unser Marktsegment



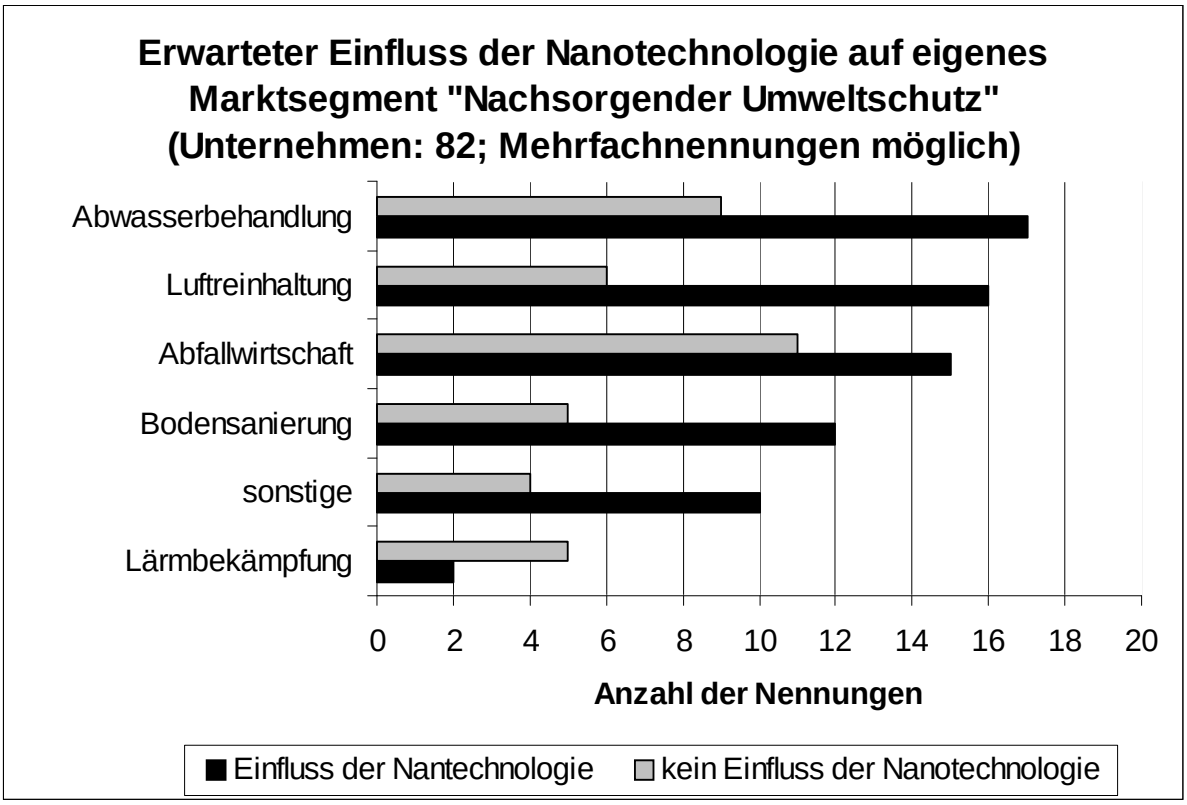
(Quelle: eigene Erhebung)

Gefragt nach den Zeiträumen, in denen die Nanotechnologie Einfluss auf das jeweilige Marktsegment haben wird, gibt die überwiegende Mehrheit der Unternehmen an, dass dies erst mittel- bis langfristig der Fall sein wird. Neun Unternehmen gehen davon aus, dass dies in naher Zukunft der Fall sein wird und sechs Unternehmen geben an, dass Nanotechnologien bereits heute Einfluss haben.

Differenziert nach Unternehmensgröße lässt sich feststellen, dass insbesondere Kleinunternehmen und Großunternehmen (bei geringem Anteil am Berichtskreis) davon ausgehen, dass Nanotechnologie Einfluss auf ihr jeweiliges Marktsegment haben wird.

In der Folge werden die Einschätzungen der Unternehmen dargestellt, inwieweit die Nanotechnologie einen Einfluss auf die einzelnen Umweltschutzbereiche hat.

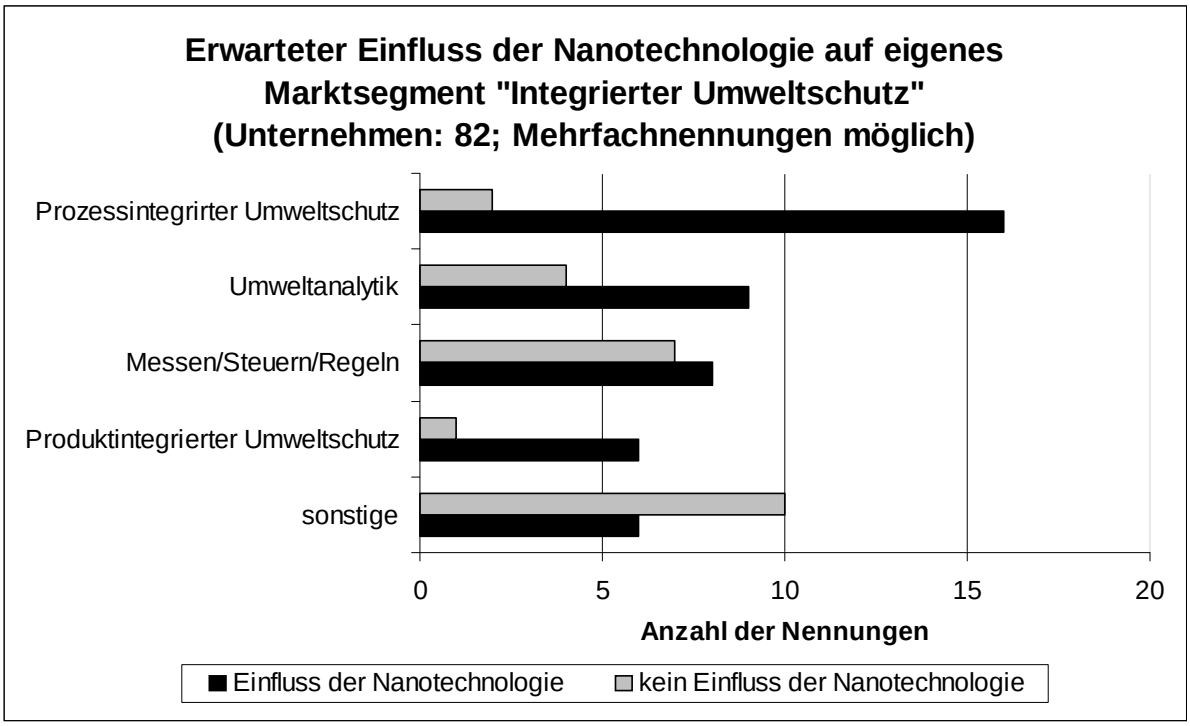
Abbildung 86: Nachsorgender Umweltschutz



(Quelle: eigene Erhebung)

Die Abbildung verdeutlicht, dass der Einfluss der Nanotechnologien in den unterschiedlichen Umweltmarktbereichen im nachsorgenden Umweltschutz differenziert betrachtet wird. Generell ist festzustellen, dass die Unternehmen, die einen Einfluss der Nanotechnologien erwarten, gegenüber den Unternehmen, die dies nicht vermuten, überwiegen. Dies ist besonders ausgeprägt in den Bereichen Luftreinhaltung, Abwasserbehandlung sowie Bodensanierung. In dem Bereich Abfallwirtschaft ist dies weniger der Fall. Lediglich im Falle der Lärmbekämpfung, bei einer geringen Zahl der Nennungen, überwiegt die Zahl der Unternehmen, die keinen Einfluss der Nanotechnologien erwarten.

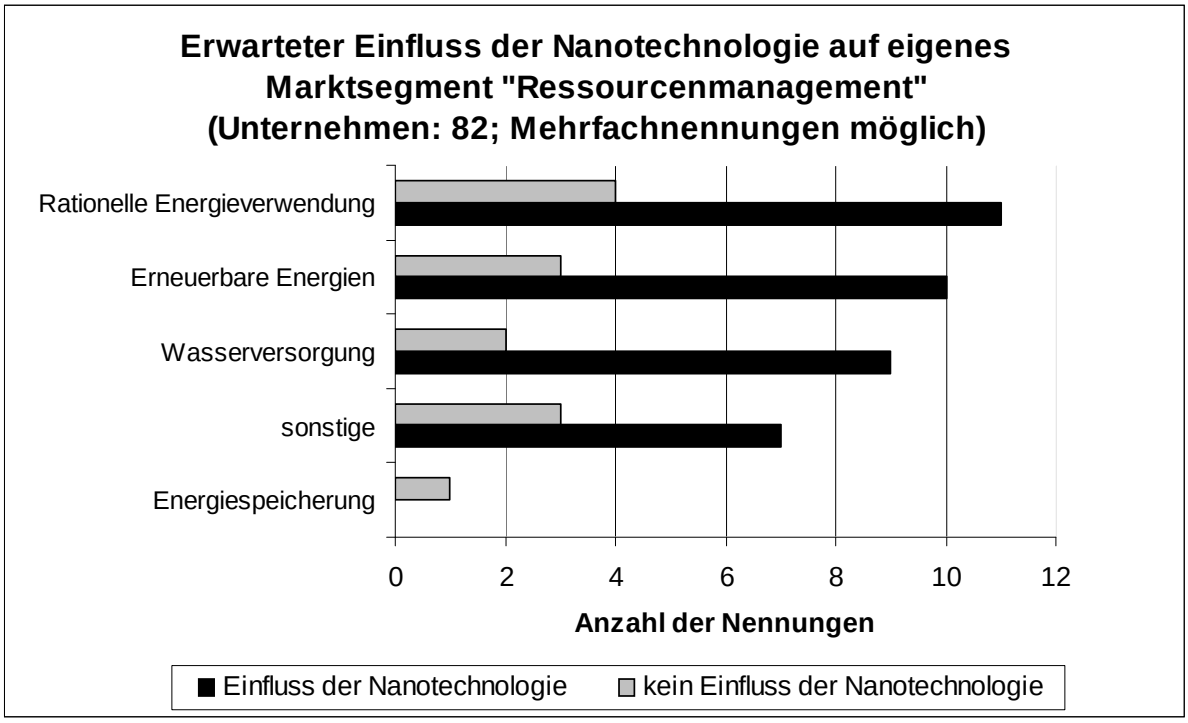
Abbildung 87: Integrierter Umweltschutz



(Quelle: eigene Erhebung)

Im Bereich des integrierten Umweltschutzes, bei allerdings einer geringeren Anzahl der Nennungen, erweisen sich die Angaben der Unternehmen als weniger homogen. Auf der einen Seite halten sich die unterschiedlichen Auffassungen im Bereich Messen/Steuern/Regeln fast die Waage, im Bereich der Umweltanalytik überwiegt die Einschätzung, dass die Nanotechnologien einen Einfluss haben werden. Im Bereich des produktintegrierten und noch ausgeprägter im Bereich des prozessintegrierten Umweltschutzes wird von den Unternehmen, die Angaben gemacht haben, fast durchgängig die Auffassung vertreten, dass Nanotechnologien eine Rolle spielen bzw. spielen werden.

Abbildung 88: Ressourcenmanagement

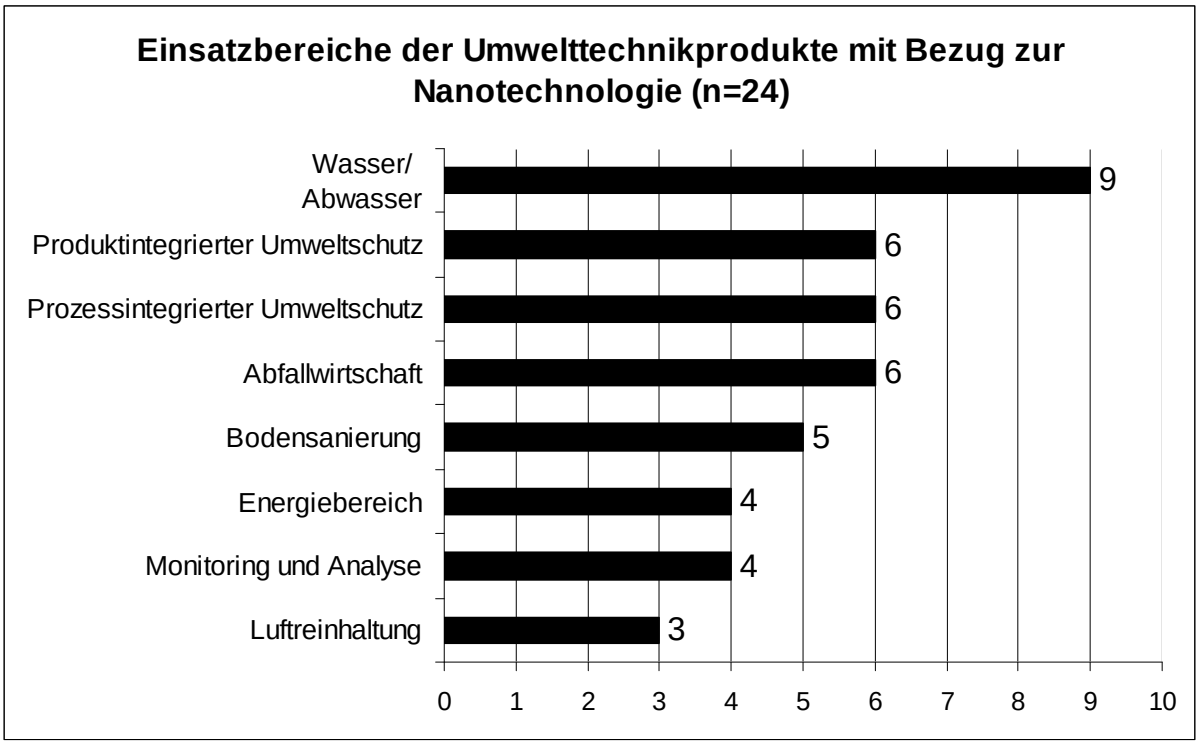


(Quelle: eigene Erhebung)

In den Kategorien des Ressourcenmanagements ist, ähnlich wie im Bereich integrierter Umweltschutz, festzustellen, dass die Unternehmen überwiegend von einem Einfluss der Nanotechnologien ausgehen.

Methodisch ist hinsichtlich der folgenden Auswertungen anzumerken, dass einige Unternehmen die folgenden Fragen auch beantwortet haben, obgleich sie weder Nanotechnologie einsetzen bzw. dieses planen. Damit fließen auch die Einschätzungen der Unternehmen ein, die sich ggf. erst in der Perspektive mit Nanotechnologien befassen wollen bzw. dieses Thema als nicht relevant betrachten.

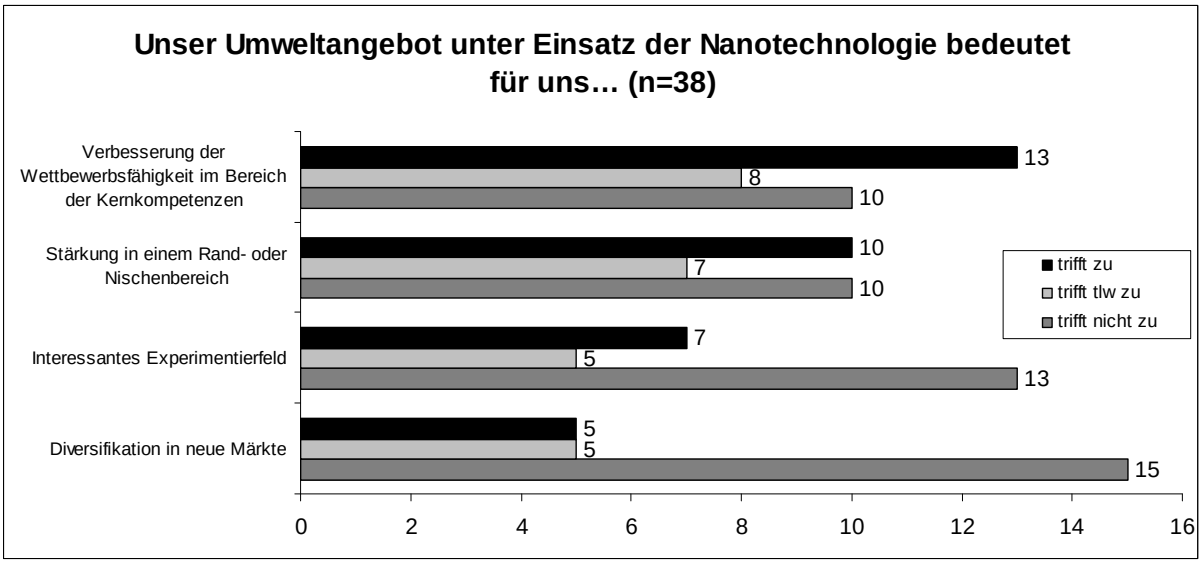
Abbildung 89: Einsatzbereiche der Umwelttechnikprodukte mit Bezug zur Nanotechnologie



(Quelle: eigene Erhebung)

Hinsichtlich der Zahl der Nennungen geben die Unternehmen des Berichtskreises an, dass insbesondere im Bereich Wasser/Abwasser mit neun Nennungen ein Einfluss der Nanotechnologie festzustellen ist. Anschließend kommen mit jeweils 6 Nennungen der produkt- und prozessintegrierte Umweltschutz sowie die Abfallwirtschaft. Danach werden Bodensanierung sowie Monitoring und Analyse angeführt.

Abbildung 90: Unser Umweltangebot unter Einsatz der Nanotechnologie bedeutet für uns...

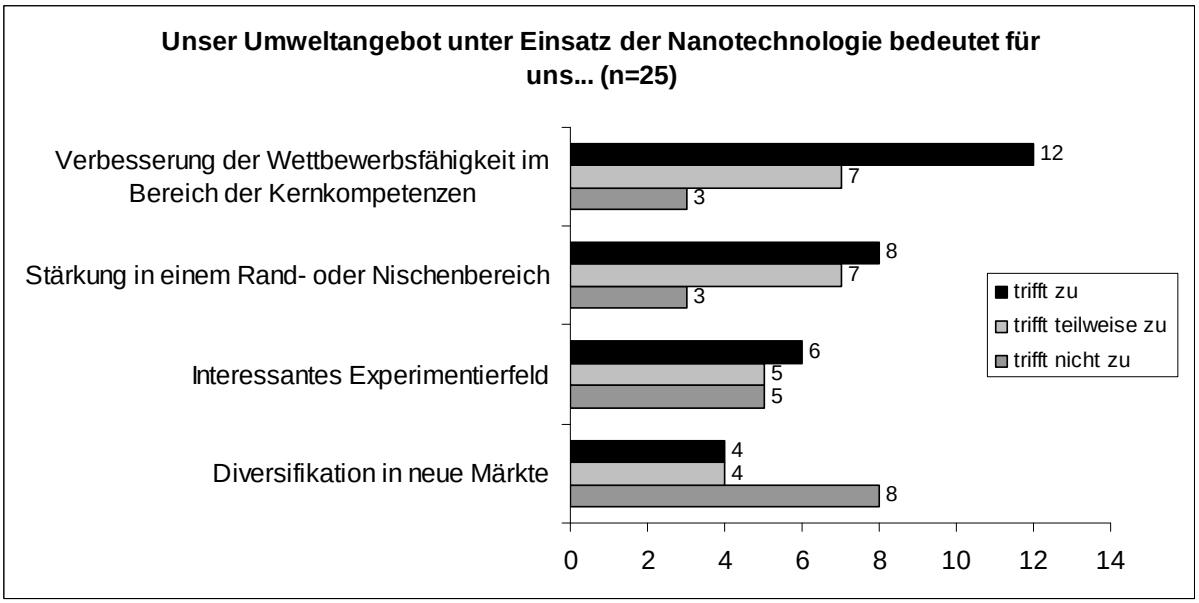


(Quelle: eigene Erhebung)

Die Unternehmen des Berichtskreises geben an, dass der Einsatz von Nanotechnologie vorrangig dazu dient, dass die Wettbewerbsfähigkeit im Bereich der Kernkompetenzen gestärkt werden soll. Die Stärkung des Unternehmens in einem Rand- oder Nischenbereich wird ebenfalls als wichtig angesehen, während die aktive Diversifikation in neue Märkte durch den Einsatz von Nanotechnologie überwiegend nicht angestrebt wird.

Dieses Bild relativiert sich, wenn nur die Unternehmen einbezogen werden, die bereits Nanotechnologien einsetzen bzw. dieses planen.

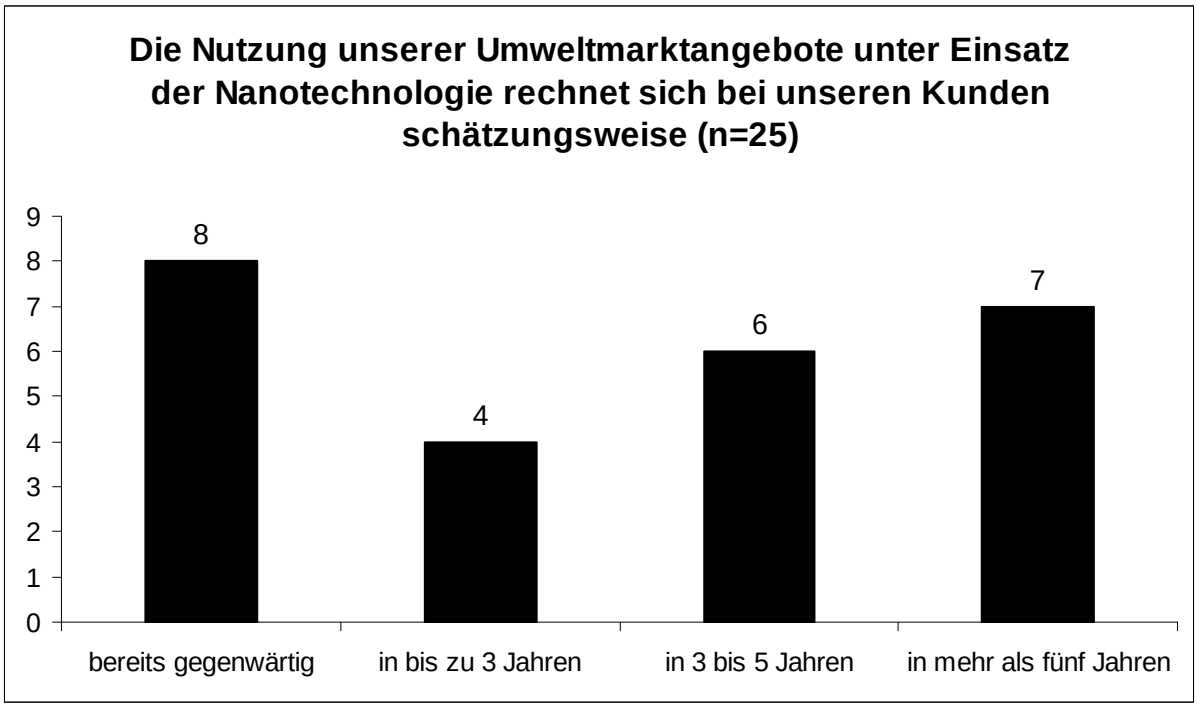
Abbildung 91: Unser Umweltangebot unter Einsatz der Nanotechnologie bedeutet für uns...



(Quelle: eigene Erhebung)

Im Unterschied zu der Auswertung, in der alle Nennungen mit berücksichtigt wurden, verändern sich die Ergebnisse deutlich, wenn allein die Unternehmen einbezogen werden, die bereits im Feld Nanotechnologie aktiv sind bzw. dies planen. Zwar ist die Zahl der Nennungen gering, dennoch wird deutlich, dass insbesondere die Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit sowie die Stärkung in einem Rand- bzw. Nischenbereich eine wichtige Rolle spielt.

Abbildung 92: Die Nutzung unserer Umweltmarktangebote unter Einsatz der Nanotechnologie rechnet sich bei unseren Kunden schätzungsweise

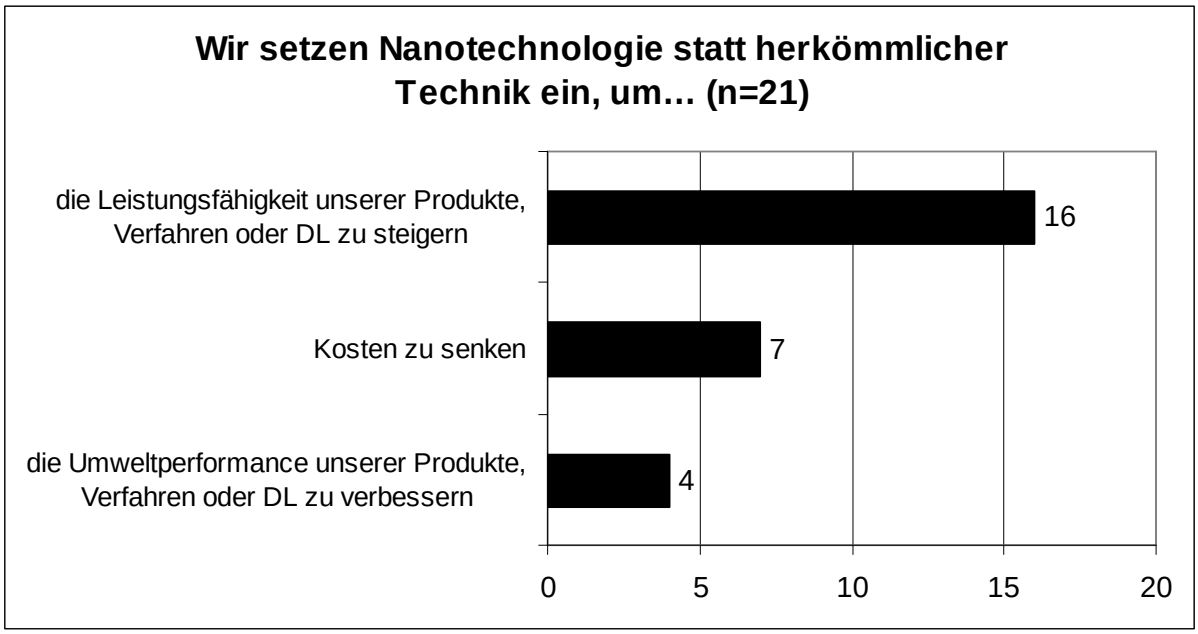


(Quelle: eigene Erhebung)

Die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von Nanotechnologien bei den Kunden wird sehr differenziert betrachtet. Immerhin geben acht Unternehmen an, dass sich der Einsatz von Nanotechnologie bereits heute rechnet, gleichzeitig geben sechs Unternehmen an, dass die Wirtschaftlichkeitsschwelle erst in drei bis fünf Jahren erreicht werden wird, weitere sieben Unternehmen gehen davon aus, dass dies erst in mehr als fünf Jahren der Fall sein wird.

5.1.2.3.6 Die Gründe für den Einsatz von Nanotechnologie

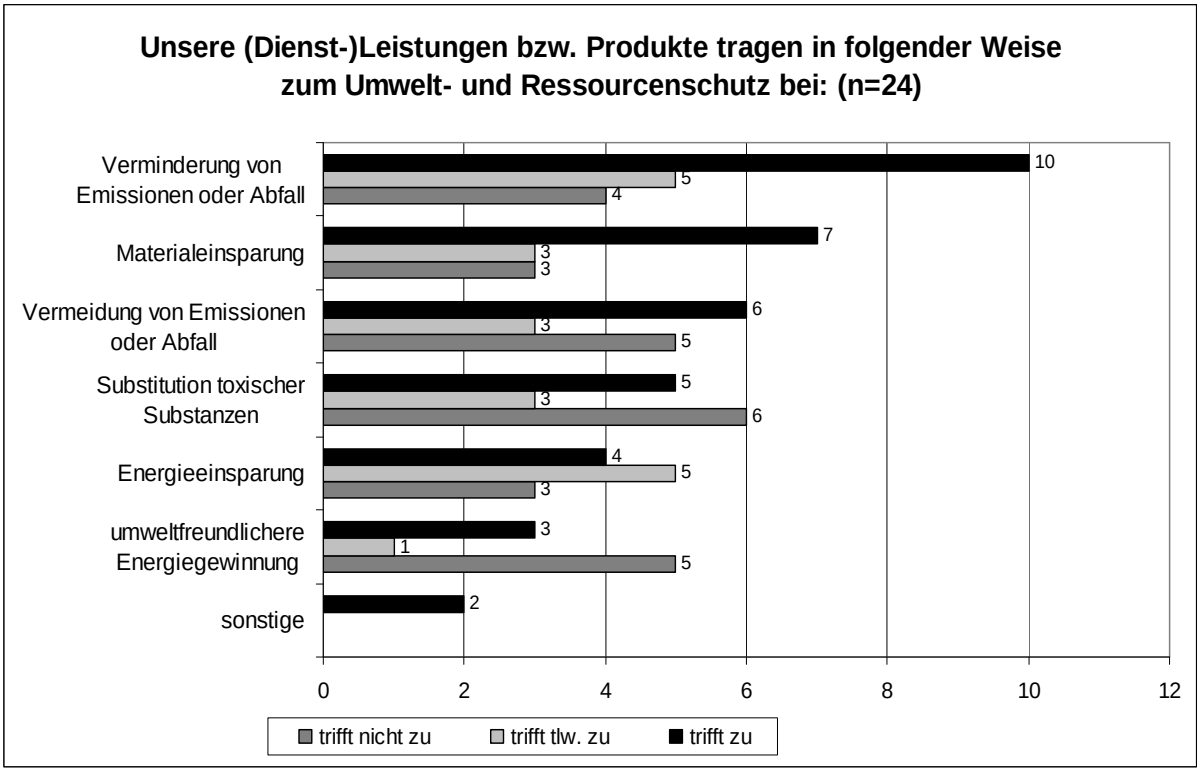
Abbildung 93: Wir setzen Nanotechnologie statt herkömmlicher Technik ein



(Quelle: eigene Erhebung)

Die Anzahl der Unternehmen, die zu dieser Frage Angaben gemacht haben, ist zwar eher gering, entsprechend der Zahl der Unternehmen, die überhaupt im Bereich Nanotechnologie aktiv sind. Gleichwohl wird deutlich, dass die zentrale Motivation des Einsatzes von Nanotechnologie darin liegt, die Leistungsfähigkeit des jeweiligen Angebots zu verbessern und die Kosten zu senken. Die Verbesserung der Umweltperformance spielt demgegenüber eine nur geringe Rolle. Relativierend ist festzustellen, dass die Verbesserung der Leistungsfähigkeit durchaus auch mit einer Verbesserung der Umweltperformance einhergehen kann, allerdings deuten diese Aussagen darauf hin, dass es vorrangig um die Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit geht.

Abbildung 94: Unsere Dienstleistungen bzw. Produkte tragen in folgender Weise zum Umwelt- und Ressourcenschutz bei



(Quelle: eigene Erhebung)

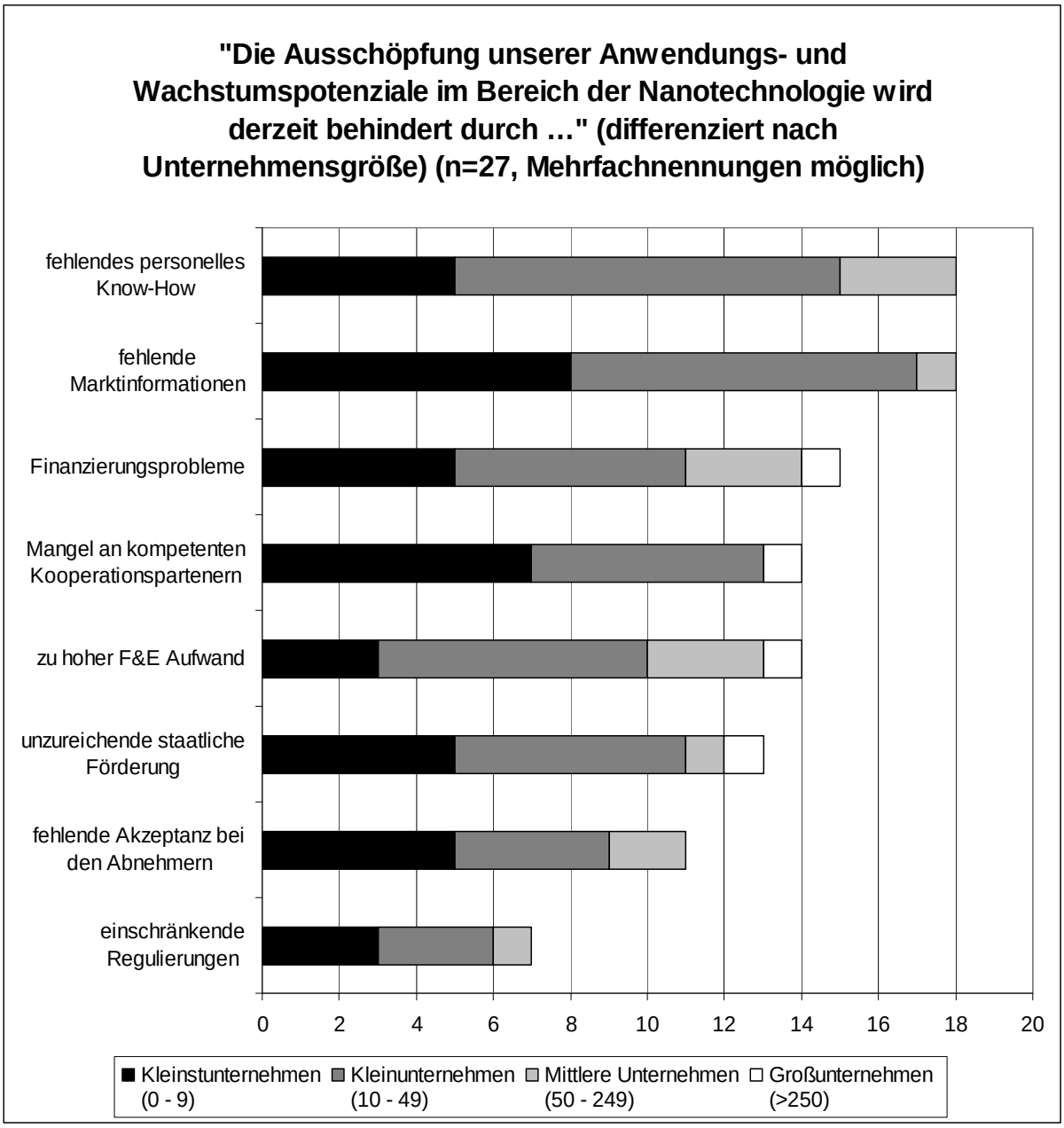
Die Unternehmen des Berichtskreises gehen davon aus, dass mit ihren Nanotechnologieangeboten Umweltenlastungspotenziale bzw. Beiträge zum Ressourcenschutz erreicht werden können. Als wichtigsten Beitrag benennen sie die Vermeidung und Verminderung von Emissionen oder Abfall vor der Materialeinsparung. Fasst man die beiden Bereiche „trifft zu“ und „trifft teilweise zu“, zusammen, dann werden durchgängig überwiegend positive Effekte erwartet. Die hohe Zahl von Nennungen (trifft nicht zu) im Bereich Substitution toxischer Substanzen und umweltfreundliche Energiegewinnung, dürfte im ersten Fall mit der Unsicherheit der Bewertung von Nanotechnologien zusammenhängen, im Bereich umweltfreundliche Energiegewinnung durch das Fehlen der Anbieter entsprechender Leistungen.

5.1.2.3.7 Hemmende Faktoren der Entwicklung und Anwendung aus Sicht der Unternehmen

Neben den Hemmnissen sind auch die *gewünschten Unterstützungsmaßnahmen* abgefragt worden, die nach Meinung der Umweltwirtschafts-Unternehmen eine bessere Ausschöpfung der Nanotechnologie-Potenziale ermöglichen würden. In Abbildung 95 sind die diesbezüglichen Ergebnisse dargestellt. Demnach wird die Förderung von FuE mit einigem Abstand als vorrangig angesehen, vor der Informationsbereitstellung und der gleichauf liegenden Einbindung in entsprechende Kompetenznetzwerke. Als wenig sinnvoll werden hingegen Cluster-

Initiativen eingestuft. Auch wenn hier etwas mehr Unternehmen Angaben gemacht haben, so muss dennoch betont werden, dass die Zahl eher gering ist und die Ergebnisse höchstens als Hinweise interpretiert werden dürfen!

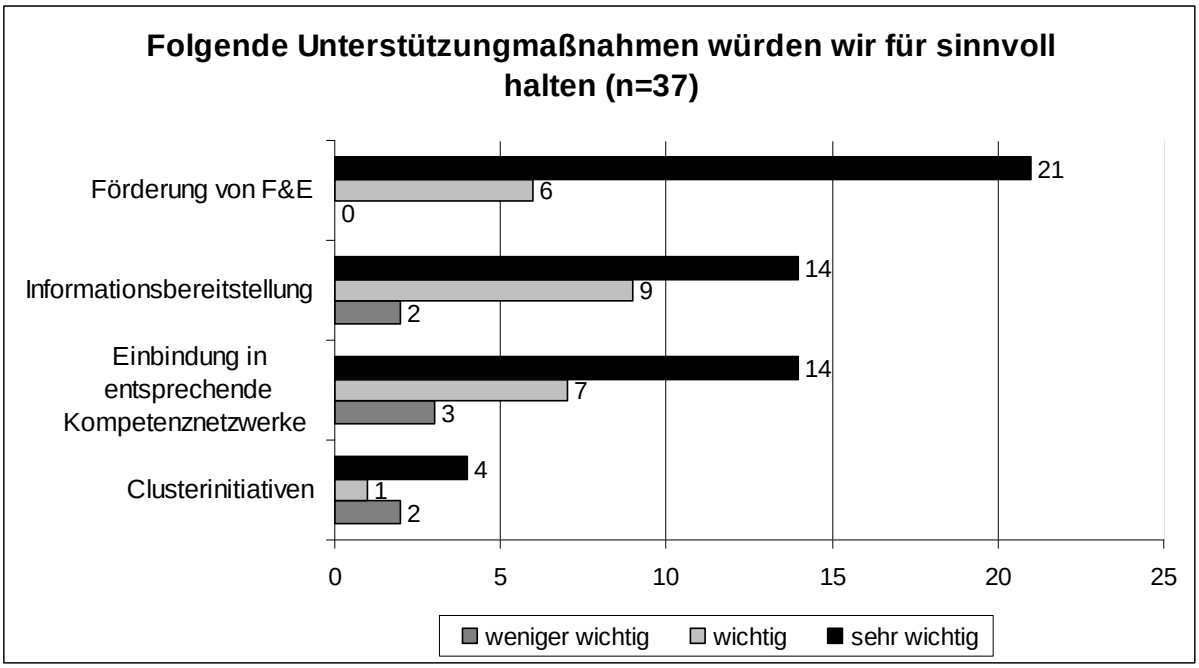
Abbildung 95: Innovationshemmnisse



(Quelle: eigene Erhebung)

5.1.2.3.8 Einschätzung von Fördermaßnahmen durch die Unternehmen

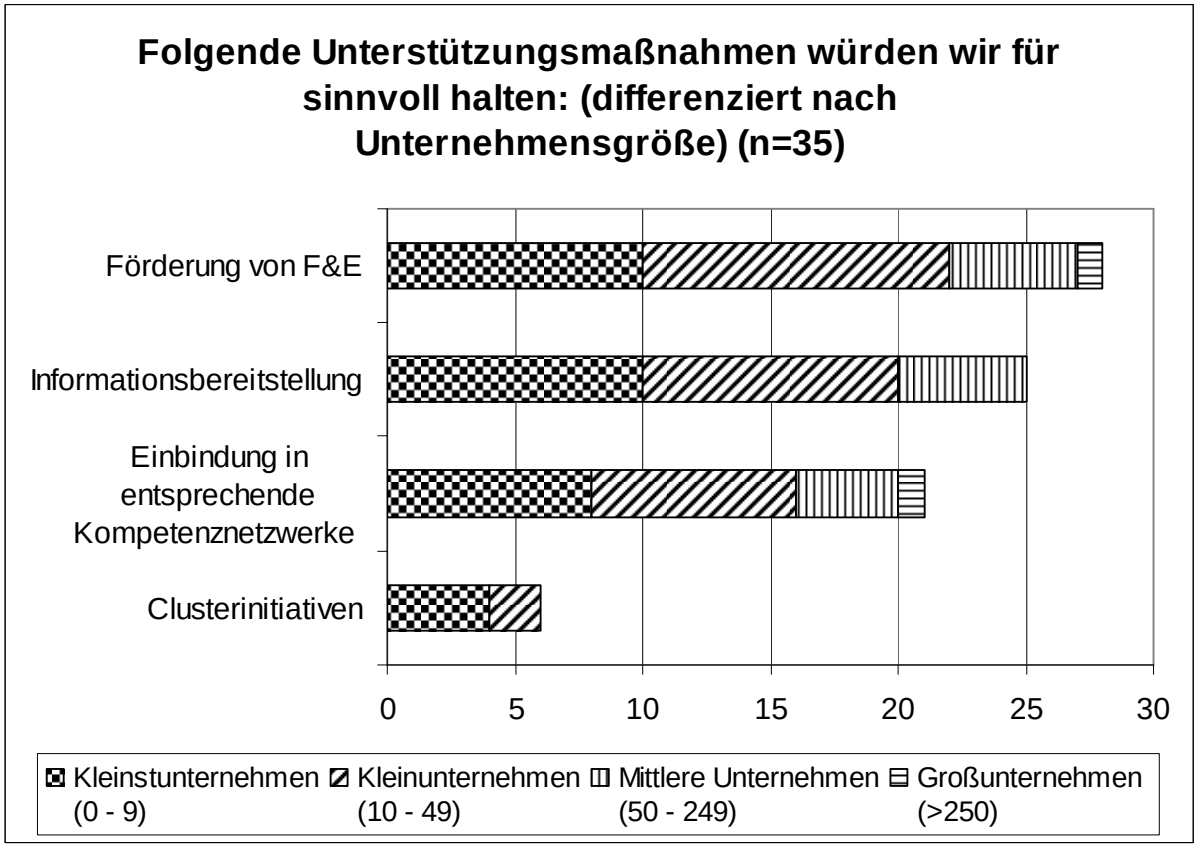
Abbildung 96: Folgende Unterstützungsmaßnahmen würden wir für sinnvoll erachten



(Quelle: eigene Erhebung)

Die Unternehmen geben an, dass insbesondere die Förderung von FuE aus ihrer Sicht sinnvoll wäre, deutlich vor der Informationsbereitstellung und der Einbindung in entsprechende Kompetenznetzwerke. Clusterinitiativen werden allein von 4 Unternehmen als sehr wichtig angesehen.

Abbildung 97: Folgende Unterstützungsmaßnahmen würden wir für sinnvoll erachten, differenziert nach Unternehmensgröße



(Quelle: eigene Erhebung)

Differenziert nach Unternehmensgröße ist festzustellen, dass Kleinunternehmen in besonderem Maße die FuE-Förderung und die Informationsbereitstellung und danach die Einbindung in Kompetenznetzwerke nennen. Dies gilt in ähnlicher Form auch für die mittleren Unternehmen.

5.1.2.4 Zusammenfassung der Aussagen des Berichtskreises Unternehmen des Umweltmarktes

1. **Berichtskreis**

   Der Berichtskreis der Unternehmen des Umweltmarktes setzt sich überwiegend aus KMU zusammen. Dies deckt sich durchaus mit den Ergebnissen einer Reihe weiterer Untersuchungen zum Umweltmarkt: Umweltunternehmen sind zumeist kleinbetrieblich organisiert.

2. **Umweltmarktsegmente**

   Die Unternehmen des Berichtskreises gliedern sich wie folgt in die vorgegebenen Kategorien des Umweltschutzmarktes: Der nachsorgende Umweltschutz spielt für die Unternehmen des Berichtskreises (Abwasserbehandlung, Abfallwirtschaft, Luftrein-

haltung, Bodensanierung, etc.) eine übergeordnete Rolle, noch vor dem integrierten Umweltschutz (Prozessintegrierter Umweltschutz, Messen/Steuern/Regeln und Umweltanalytik) und dem Ressourcenmanagement (Rationelle Energieverwendung, Erneuerbare Energien und Wasserversorgung).

3. **Bedeutung der Nanotechnologie für die Umweltunternehmen**

   Die Einschätzungen der Umweltunternehmen bzgl. der Relevanz der Nanotechnologien sind unterschiedlich. Zum einen im Hinblick auf die Bedeutung in einzelnen Umweltmarktfeldern und zum anderen im Hinblick auf die Einschätzung durch die Unternehmen. *Nachsorgender Umweltschutz*: Abwasserbehandlung wird als ein wesentlicher Bereich angesehen, in dem ein gesteigerter Einfluss der Nanotechnologien erwarten wird. In der Folge werden Luftreinhaltung, Abfallwirtschaft (allerdings mit einer hohen Zahl an gegenteiligen Auffassungen) und Bodensanierung angegeben.

   Integrierter Umweltschutz: der Einfluss der Nanotechnologien wird vor allem im Gebiet der Umweltanalytik und dem Bereich Messen/Steuern/Regeln gesehen.

   Ressourcenmanagement: Die Auffassung, dass Nanotechnologien Einfluss auf die entsprechenden Kategorien haben werden, ist kaum umstritten.

4. **FuE-Aktivitäten**

   Die Mehrzahl der Unternehmen verfügt nicht über eigene FuE-Aktivitäten. Gleichwohl ist festzustellen, dass immerhin 40 Unternehmen des Berichtskreises über eigene FuE-Aktivitäten verfügen, ein für Unternehmen des Umweltmarktes durchaus hoher Anteil, wobei auch in diesem Fall die größenspezifischen Unterschiede deutlich werden: größere Unternehmen stellen sich meist forschungsintensiver dar. Gleichwohl ist auch festzuhalten, dass eine Reihe von Kleinstunternehmen im Bereich FuE aktiv ist.

5. **Unternehmen des Umweltmarktes und Nanotechnologie**

   Die Anzahl von Umweltunternehmen, die im Bereich Nanotechnologien aktiv sind, ist gering. Allein 19 Unternehmen des Berichtskreises befassen sich mit diesem Technologiefeld.

6. **Gründe für die Nicht-Befassung mit Nanotechnologien**

   Unternehmen des Umweltmarktes befassen sich nicht mit den Nanotechnologien, da sie die Auffassung vertreten, dass diese gegenwärtig für ihr Geschäftsfeld keine Bedeutung haben. Allerdings merken eine Reihe von Unternehmen an, dass Aktivitäten im Nanotechnologiebereich geplant sind. Die meisten dieser Unternehmen geben allerdings an, dass die Nanotechnologieentwicklung intensiv verfolgt wird.

7. **Unternehmen des Berichtskreises noch kaum mit Produkten am Markt**
   Unternehmen des Umweltmarktes, die im Feld Nanotechnologien aktiv sind, stellen eine deutliche Minderheit dar. Allein sieben Unternehmen geben an, dass sie mit Nanotechnologieaktivitäten bereits am Markt vertreten sind, weitere vier Unternehmen sind mit Prototypen bzw. Testläufen aktiv, wohingegen nanorelevante FuE-Aktivitäten von fünf Unternehmen verfolgt werden.
8. **Einfluss von Nanotechnologien auf die jeweiligen Marktsegmente der Unternehmen**
   Die überwiegende Mehrheit der Unternehmen (46) gibt an, dass Nanotechnologien ihr Marktsegment beeinflussen werden, 38 Unternehmen erwarten dies hingegen nicht. In zeitlicher Hinsicht wird von den Unternehmen überwiegend angemerkt, dass sie den Einfluss der Nanotechnologien erst mittel- bis langfristig erwarten. Nur wenige Unternehmen sehen einen Einfluss bereits heute bzw. in naher Zukunft.
9. **Einsatzbereiche der Umweltprodukte mit Bezug zur Nanotechnologie**
   Bei einer insgesamt geringen Zahl der Nennungen wird der Bereich Wasser/Abwasser am häufigsten genannt, gefolgt von dem produktintegrierten und prozessintegrierten Umweltschutz sowie der Abfallwirtschaft.
10. **Gründe für das Nanotechnologieangebot**
    Die Gründe für die Beschäftigung mit den Nanotechnologien werden vor allen Dingen in der Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit in den Kernkompetenzen des Unternehmens gesehen, gefolgt von der Stärkung in einem Rand- bzw. Nischenbereich. Die Diversifikation in neue Märkte spielt dabei kaum eine Rolle, ebenso wird den Nanotechnologien nicht der Stellenwert eines interessanten Experimentierfeldes zugewiesen. Die alleinige Verbesserung der Umweltperformance des Angebots steht dabei nicht im Fokus.
11. **Wirtschaftlichkeit der Umweltmarktangebote unter Einsatz der Nanotechnologie**
    Die Wirtschaftlichkeit der Angebote für die Kunden wird teilweise bereits gegenwärtig als gegeben angesehen. Allerdings werden fast ebenso häufig Angaben gemacht, wonach sich dieser Aspekt erst in mittlerer Frist rechnen wird.
12. **Nanoangebote und Beiträge zum Umweltschutz**
    Die Verminderung von Emissionen oder Abfall sowie die Materialeinsparung spielen nach Angaben der Unternehmen die zentrale Rolle. Vermeidung von Emissionen oder Abfall wird ebenfalls häufig benannt. Eine recht hohe Anzahl von Unternehmen gibt jedoch an, dass dies nicht zutreffend sei. Hinsichtlich der Substitution toxischer Subs-

tanzen sind die Einschätzungen unterschiedlich: eine knappe Mehrheit der Unternehmen geht davon aus, dass eine Substitution nicht die gewünschten Effekte habe, eine ähnlich hohe Zahl sieht dies als sehr wohl gegeben.

13. **Markthemmnisse**

    Die Unternehmen sehen vor allem die unzureichende staatliche Förderung als Hemmnis. Danach folgen fehlende Marktinformationen sowie der Mangel an kompetenten Kooperationspartnern, sowie Finanzierungsprobleme. Insbesondere die KMU sehen wesentliche Barrieren in dem Mangel an kompetenten Kooperationspartnern und den fehlenden Marktinformationen.

14. **gewünschte Unterstützungsmaßnahmen**

    Die Förderung von FuE wird als vorrangig angesehen, noch vor der Informationsbereitstellung und der Einbindung in entsprechende Kompetenznetzwerke.

5.1.3 Zusammenfassung der Befragung der Nanotechnologieunternehmen und der Unternehmen des Umweltmarktes

Als erstes erfolgt ein Vergleich der Nanotechnologieunternehmen und Unternehmen des Umweltmarktes hinsichtlich der Charakterisierung der Berichtskreise.

Nanotechnologieunternehmen

Die Zusammensetzung des Berichtskreises nach Unternehmensgrößenklassen der Nanotechnologieunternehmen ist heterogen: neben kleineren Unternehmen haben Großunternehmen einen bemerkenswert hohen Anteil. Vergleicht man dies bspw. mit dem Bereich Biotechnologie, so wird deutlich, dass im Bereich Nanotechnologie Großunternehmen bereits frühzeitig einen bedeutenden Stellenwert erreichen.

Nanotechnologieunternehmen sind forschungsorientiert und sehen in dem Einsatz dieser Technologie einen wesentlichen Aspekt für ihre marktliche Weiterentwicklung. Im Allgemeinen wird davon ausgegangen, dass die Bedeutung der Nanotechnologie bzw. deren Einsatzes zunehmen wird, was sich auch in ökonomischen Indikatoren niederschlägt (Umsätze etc.). Der Einsatz der Nanotechnologien erweist sich für diese Unternehmen somit als wichtiger Faktor für die Wettbewerbsfähigkeit. Darauf verweisen auch die Angaben der Unternehmen im Hinblick auf Patentanmeldungen etc.

Charakteristisch ist dabei auch, dass die Unternehmen eng mit den Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen kooperieren. Zudem sind sie in starkem Maße in internationale Austauschprozesse eingebunden. Die Vorteile der Wettbewerber sehen die Nanotechnologieunternehmen insbesondere in dem besseren Zugang zu Finanzierungsmög-

lichkeiten (besonders in stärkeren öffentlichen Förderungsmöglichkeiten), den Angebotsvorteilen (Preis) der Wettbewerber, dem besseren Vertrieb und der größeren Nanotechnologiekompetenz.

Hinsichtlich des Fokus Umwelt ist festzustellen, dass die Nanotechnologieunternehmen besonders dem Bereich Ressourcenschutz zuzuordnen sind. Hier sehen die Unternehmen durch den Einsatz der Nanotechnologien die Möglichkeiten, neben der Erschließung neuer Funktionalitäten, auch zur Effizienz von Produkten und Verfahren beizutragen und damit - vor dem Hintergrund der steigenden Ressourcenpreise - auch eindeutige ökonomische Vorteile durch den Einsatz von Nanotechnologien zu erzielen.

Umweltmarktunternehmen

Bei den Unternehmen des Umweltmarktes handelt es sich überwiegend um Klein- und Kleinstunternehmen. Im Bereich FuE sind relativ viele Unternehmen engagiert (40), wobei auch forschungsintensive KMU vertreten sind. Die überwiegende Anzahl der Unternehmen befasst sich bislang nicht mit Nanotechnologien. Als Hauptgrund wird angegeben, dass die Nanotechnologien für ihr jeweiliges Marktsegment bislang noch nicht von Bedeutung sind. Es existieren allerdings Erwartungen, dass dies mittel- bis langfristig der Fall sein wird. Die Unternehmen beobachten dabei überwiegend die Entwicklung der Nanotechnologien. Ein deutlicher Unterschied zu den Unternehmen im Berichtskreis ist dabei im Hinblick auf die Kooperationspartner bzw. die Informationsquellen zu sehen. Haben bei den Nanotechnologieunternehmen Hochschulen und außeruniversitäre FuE-Einrichtungen eine wesentliche Bedeutung, so sind die Kooperationspartner und Informationsquellen der Umweltmarktunternehmen im Wesentlichen Fachzeitschriften und Messen/Veranstaltungen, sowie die Lieferanten und Abnehmer. Dies entspricht in etwa dem Verhalten von weniger forschungsintensiven Unternehmen. Nach Ansicht der Unternehmen des Umweltmarktes sind hemmende Faktoren der Entwicklung vor allem die unzureichende staatliche Förderung aber auch der Mangel an kompetenten Kooperationspartnern, fehlende Marktinformation und ein Mangel an personellem Know-how. Als Konsequenz werden von den Unternehmen des Umweltmarktes folgende Unterstützungsmaßnahmen gewünscht: die FuE-Förderung, die Verbesserung der Informationsbereitstellung und die Einbindung in entsprechende Kompetenznetzwerke.

Die Beiträge der Nanotechnologien zum Umweltschutz werden gegenwärtig noch eher verhalten angesehen, allerdings wird angemerkt, dass in der Perspektive die Bedeutung für den Umweltschutz zunehmen wird. Für die Unternehmen des Umweltmarktes, also bspw. Membran- und Filtertechnikhersteller oder der Analytikanbieter ist allerdings charakteristisch, dass diese Produkte und Verfahren z.T. von staatlich „geschaffenen“ Märkten abhängen und

insofern die Umweltregulierung eine wichtige Rolle als Innovationsmotor darstellt. Gelingt es einerseits Nanotechnologien für den Umweltschutz weiter zu entwickeln und andererseits die Nutzung entsprechender verbesserter Verfahren auch marktseitig zu erschließen, dann könnte dies für den Umweltschutz ein wichtiger Beitrag darstellen.

Fazit

Die Förderung der Nanotechnologien für den Umwelt- und Ressourcenschutz muss letztlich an den unterschiedlichen Unternehmensgruppen (Nanotechnologieunternehmen, Unternehmen des Umweltmarktes) ansetzen und zusätzlich die unterschiedlichen Unternehmensgrößenklassen beachten.

Die Erschließung und Ausschöpfung der Umwelt- und Ressourcenschutzpotenziale der Nanotechnologieunternehmen sollte - so die Ergebnisse der Befragung - vor allem auf die Verifizierung der Umwelt- und Ressourceneffekte abzielen und insbesondere gezielt im Bereich der FuE, der Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen ansetzen. Die relativ enge Kooperation der Nanotechnologieunternehmen mit eben diesen Einrichtungen würde den Transfer in der Folge sicherstellen und fördern. Da die Umwelt- und Ressourceneffekte für die Nanotechnologieunternehmen bereits eine relativ große Rolle spielen, könnte die stärkere Fokussierung der Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen einen wichtigen Hebel darstellen.

Gegenwärtig ist festzustellen, dass generell von einer quasi automatischen Beziehung zwischen der Entwicklung der Nanotechnologien und den Ressourcen- und Umweltschutzeffekten ausgegangen wird. Dies gilt sicher insoweit, als dass mit steigenden Ressourcenkosten (auch bspw. der erwartbaren klimapolitischen Instrumente) Anreize zur entsprechenden Entwicklungsrichtung der Nanotechnologien gesetzt werden. Soweit diese Anreize nicht existieren, werden die potenziellen Entlastungswirkungen des Einsatzes von Nanotechnologien nicht erschlossen werden.

Für die KMU sind zudem besondere Fördermaßnahmen erforderlich. Zwar sind die Unternehmen des Berichtskreises generell mit FuE befasst, darunter auch eine Reihe von forschungsintensiven KMU, gleichwohl sind die KMU stärker auf Informationsvermittlung angewiesen.

Für die Unternehmen des Umweltmarktes sind hingegen andere Strategien erforderlich. Aus Sicht der Gutachter geht es zunächst vor allem um die Vermittlung bzw. Kommunikation potenzieller Möglichkeiten der Nanotechnologien für die Umweltmarktunternehmen. Deren Kommunikationspartner/ Informationsquellen bestehen im Wesentlichen aus den „traditionel-

len“ Bereichen: Fachzeitschriften/Messen aber auch Zulieferer/Abnehmer. Die Kooperation mit Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen ist hingegen wenig entwickelt. Dementsprechend werden von den Unternehmen vorrangig die FuE-Förderung angesprochen und die Informationsbereitstellung, sowie die Einbindung in entsprechende Kompetenznetzwerke gewünscht.

5.2 Unternehmensinterviews

5.2.1 Vorgehen und Methoden

Im Rahmen der vorliegenden Studie sind zur Validierung der Daten aus den Literaturstudien sowie aus den Unternehmensumfragen flankierend leitfadengestützte, persönliche Interviews mit VertreterInnen von Unternehmen geführt worden. Der vollständige Leitfaden, welcher bei allen Interviews zum Einsatz kam, jedoch situationsbedingt jeweils leichte Anpassungen erfahren hat, findet sich im Anhang VI.

Die Auswahl der Unternehmen erfolgte zunächst über die Liste der identifizierten Nanotechnologieunternehmen Deutschlands (siehe Kapitel 5.1.1.1). Dabei ist versucht worden, die Bandbreite unterschiedlicher Unternehmen hinsichtlich der Größe (kleine, mittlere, große) der Branche sowie des Tätigkeitsfeldes (Hersteller, Zulieferer, Dienstleister, Anwender, Forschungsintensität etc.) möglichst gut abzudecken. Dass diesem Anspruch in der Realisierung jedoch von vornherein Grenzen gesetzt waren, ergibt sich aus folgender Betrachtung: Insgesamt konnten über 850 Nanotechnologieunternehmen aus fast 20 Branchen identifiziert werden. Bezüglich der Mitarbeiterzahl (MA) bzw. des Umsatzes (€) sind dabei Unternehmen zwischen 2 MA bzw. unter 0,5 Mio. € und fast 0,5 Mio. MA bzw. 100 Mrd. € vertreten. Darüber hinaus finden sich in allen Branchen und Größengruppen der identifizierten Unternehmen Hersteller, Zulieferer, Dienstleister sowie Anwender von Nanotechnologie. Damit wird deutlich, dass eine irgendwie repräsentativ angelegte Interviewkonzeption nicht möglich war.

Um dennoch eine Auswahl von zu interviewenden Unternehmen zusammenstellen zu können, die eine Bearbeitung der wesentlichen Fragestellungen der Studie ermöglicht, sind weitere Auswahlkriterien angewandt worden. Auch wenn Informationen aus Unternehmen außerhalb Nordrhein-Westfalens (NRW) an der einen oder anderen Stelle sicherlich interessante Einblicke auch für NRW hätten geben können, ist die Auswahl der Interviewpartner dennoch nur auf Unternehmen mit Sitz oder einer Filiale in NRW beschränkt worden. Diese Beschränkung ist deshalb gerechtfertigt, weil Unternehmen aus NRW ganz besonders im Fokus der

vorliegenden Studie liegen und sich so die Grundgesamtheit der infrage kommenden Unternehmen auch auf eine sinnvolle Anzahl reduzieren ließ.

Ein weiteres Kriterium war die Stärke des Nanotechnologiebezuges des jeweiligen Unternehmens. Hierbei gab es nämlich deutliche Divergenzen: Während bei vielen Unternehmen aufgrund der im Internet verfügbaren Informationen schnell deutlich wurde, welche Nanotechnologieprodukte/-verfahren von dem jeweiligen Unternehmen hergestellt oder angewendet werden, blieb bei einigen Unternehmen völlig unklar, weshalb sie in der Nano-Map-Datenbank oder in anderen der recherchierten Quellen gelistet waren. Letztere sind nicht als Interviewpartner berücksichtigt worden, da davon ausgegangen werden musste, dass sich die Unternehmen nur aus rein marketingtechnischen Gründen in die Datenbanken haben aufnehmen lassen[41] oder dass die Unternehmen keinerlei Auskunft über ihre nanotechnologierelevanten Tätigkeiten geben wollen, so dass sie auch keine geeigneten Interviewpartner abgeben würden.

In den besonderen Fokus bei der Auswahl von potenziell zu interviewenden Unternehmen gelangten darüber hinaus solche, die einen Bezug zu umweltrelevanten Bereichen aufwiesen. Nanotechnologieunternehmen die bspw. ausweislich in den Bereichen Medizin oder Pharmazie tätig sind, fanden keine Berücksichtigung.

Des Weiteren sind bevorzugt solche Unternehmen als Interviewpartner ausgewählt worden, die nachweislich entweder bereits Nanotechnologieprodukte/-verfahren am Markt anbieten bzw. in deren Entwicklung schon weit vorangeschritten waren oder solche Produkte/Verfahren anwenden. Von diesen Unternehmen konnte erwartet werden, dass sie Erfahrungen in mehreren Phasen des Innovationsprozesses gesammelt hatten und somit einen größeren Beitrag zur Beantwortung der in dieser Studie verfolgten Fragestellungen leisten konnten. Da jedoch bereits aus den Literaturstudien bekannt war, dass die große Mehrheit der Nanotechnologieprodukte/-verfahren noch in der Forschung und Entwicklung befindlich ist, sind auch Unternehmen ohne am Markt befindliche Produkte/Verfahren in die engere Wahl aufgenommen worden.

Neben den genannten Kriterien, die auf alle der identifizierten Nanotechnologieunternehmen angewendet wurden, konnte bei der Auswahl der Interviewpartner bereits auf die Ergebnisse der schriftlichen Unternehmensumfrage zurückgegriffen werden. Zum einen konnten alle diejenigen Unternehmen aus der Grundgesamtheit gestrichen werden, die – in Reaktion auf die Zusendung des Fragebogens – rückgemeldet hatten, sie hätten keinen Bezug zur Nano-

[41] Von mindestens einem Unternehmen ist bekannt, dass es als Werbeagentur Firmenauftritte entwickelt und anbietet. Da sich das Angebot des Unternehmens auch an Firmen der Nanotechnologie richtet, war es in der Datenbank vertreten. Im Sinne der vorliegenden Studie kann ein solches Unternehmen jedoch keinesfalls als Nanotechnologieunternehmen gelten.

technologie[42]. Zum anderen rückten insbesondere die über 30 Unternehmen aus NRW ins nähere Blickfeld, die den Fragebogen ausgefüllt zurück gesendet und darin detaillierte Angaben zu ihren Aktivitäten im Bereich Nanotechnologie gemacht hatten. Fanden sich in dem ausgefüllten Fragebogen eines Unternehmens konkrete Hinweise auf vorhandenes Erfahrungswissen, das zur Klärung wichtiger Aspekte der vorliegenden Studie beitragen könnte, kam dieses Unternehmen in die engere Wahl. Beispiele für solche Hinweise sind: sehr schlechte oder sehr gute Bewertung der Fördermöglichkeiten, sehr negative oder sehr positive Einschätzung der weiteren Entwicklung der Nanotechnologie(-märkte), sehr große Umweltrelevanz der angebotenen/angewandten nanotechnologischen Produkte/Verfahren etc.

Im Ergebnis des Auswahlverfahrens konnte etwa die Hälfte der ca. 150 für NRW identifizierten Nanotechnologieunternehmen als potenzielle Interviewpartner eingestuft werden. Bei der sich anschließenden telefonischen Kontaktaufnahme stellte sich jedoch heraus, dass eine große Zahl dieser Unternehmen nicht bereit war, im Rahmen eines persönlichen Interviews detailliert Auskunft zu ihren jeweiligen Aktivitäten im Bereich Nanotechnologie zu geben. Mitunter wurde dies sogar direkt geäußert und als Gründe bspw. Verschwiegenheitsabkommen mit Auftraggebern oder – meist bei Großunternehmen – zu hoher administrativer Aufwand bei der Ermittlung von geeigneten Interviewpartnern oder die restriktive Informationspolitik der Firma angegeben. Häufiger jedoch ließ der wenig kooperative Umgang mit den Interviewanfragen darauf schließen, dass kein Interesse an einem Interview bestand[43]. Bei einigen Firmen stellte sich im Zuge der telefonischen Interviewanfragen noch heraus, dass entgegen den bis dahin vorliegenden Informationen keine Aktivitäten (mehr) im Bereich Nanotechnologie verfolgt wurden.

Schließlich konnten mit insgesamt 16 Firmen Interviewtermine vereinbart und Interviews durchgeführt werden. Bei einer Firma musste das Interview aus Termingründen telefonisch erfolgen. Die interviewten Firmen repräsentieren weitgehend das Spektrum von Nanotechnologieunternehmen und erfüllen zu einem hohen Grad die oben genannten Auswahlkriterien. Es waren also sowohl Hersteller, Zulieferer und Anbieter als auch Anwender sowie For-

[42] Interessanterweise waren darunter auch Unternehmen, die nach Informationen aus dem Internet – tlw. auf der firmeneigenen Homepage – oder aus anderen Quellen nanotechnologische Produkte/Verfahren entwickelten, herstellten, vertrieben oder anwendeten. Eine mögliche Erklärung für die evtl. unzutreffende Rückmeldung der Unternehmen könnte sein, dass sie schlichtweg keine weitergehenden Informationen im Rahmen einer Umfrage herausgeben wollten oder, aufgrund von vertraglichen Regelungen mit Auftraggebern, dürften. Eine weitere mögliche Erklärung, die insb. bei Großunternehmen infrage käme, ist der mitunter sehr große administrative Aufwand in solchen Firmen, die im Fragebogen abgefragten Daten zu ermitteln und die Erlaubnis der zuständigen Stellen für die Herausgabe dieser Daten zu erhalten. In beiden Fällen konnte aber davon ausgegangen werden, dass die Unternehmen, ob sie nun Nanotechnologieaktivitäten nachgingen oder nicht, auch im Rahmen eines Interviews keine relevanten Auskünfte hätten geben können, wollen oder dürfen.

[43] Vielfach kam es vor, dass darauf verwiesen wurde, nur die Geschäftsleitung käme für ein solches Interview infrage. Diese konnte dann aber – trotz rechtzeitiger Anfrage seitens des IÖW – aufgrund von Terminschwierigkeiten nicht im Interviewzeitraum nicht zur Verfügung stehen.

schungs- und Entwicklungsunternehmen vertreten. Auch gab es jeweils einen direkten oder indirekten Bezug zum Umwelt- und Ressourcenschutz der angebotenen Leitungen der Unternehmen. Schließlich waren sowohl Kleinst- und kleine als auch mittlere und Großunternehmen unter den Interviewten. Was die Branchenzugehörigkeit betrifft, so konnten nicht alle Branchen und Untergruppen berücksichtigt werden. Neben der bereits oben erwähnten Medizin- und Pharmabranche wurde auch kein Unternehmen aus dem Bereich Halbleiterelektronik sowie Biotechnologie befragt – in allen genannten Fällen aufgrund des mangelnden Bezugs zur Umwelttechnik oder des geringen Ressourcen-Einsparpotenzials sowie aus Kapazitätsgründen. Befragt werden konnten hingegen Vertreter von Unternehmen der Oberflächentechnik/Beschichtung, der Membrantechnik, der Grundstoff- und Feinchemie, der Mikro-/Nanotechnik (MEMS/NEMS), der Analytik (Gerätehersteller und Dienstleister), der Solartechnik, der Filtertechnik, der Katalyseforschung sowie der Herstellung von Leichtmetallwerkstoffen. Daneben sind auch Interviews mit einer auf Nanotechnologie sowie mit einer auf Membrantechnik spezialisierten Firma der Unternehmensberatung geführt worden.

Mitunter äußerten sich einige der Unternehmen zwar sehr bereitwillig zu Fragen der öffentlichen Förderung oder zu generellen Einschätzungen der gegenwärtigen und zukünftigen Entwicklung von Nanotechnologie, nicht aber zu den konkreten Produkten und Verfahren, die sie selbst herstellen oder anwenden. Das Vertrauen in die vertrauliche Behandlung der in den Interviews preisgegebenen Informationen durch Forschungsinstitute ist tlw. offenbar sehr gering bzw. das wirtschaftliche Risiko, die Informationen an Konkurrenten gelangen zu lassen zu hoch. Auch wurden in diesem Zusammenhang mitunter keine Angaben zum Entwicklungsstand der Produkte/Verfahren gemacht, was im Wesentlichen zwei Schlüsse zulässt: (1) Die Entwicklungen stehen kurz vor der Markteinführung oder (2) es gibt Schwierigkeiten und die Entwicklungen kommen nicht im gewünschten Tempo voran. Schließlich wurden in einigen Fällen auch Angaben zu den Zulieferern und Abnehmern der jeweiligen Produkte der interviewten Firmen gemacht, wobei hier vertragliche Regelungen ein häufiger Grund waren.

Im Folgenden sind die Ergebnisse aus den Unternehmensinterviews anhand ausgewählter Leitfragen zusammengefasst. Besonderer Wert wurde dabei auf die Darstellung weitgehend übereinstimmender sowie stark divergierender Aussagen der Interviewpartner bezüglich einzelner Aspekte der Forschung und Entwicklung, der Herstellung und Vermarktung sowie der Anwendung und der zukünftig zu erwartenden Entwicklungen nanotechnologischer Produkte und Verfahren gelegt. Aus datenschutzrechtlichen Gründen müssen sämtliche Angaben jedoch in einer Weise erfolgen, die keinerlei Rückschlüsse auf konkrete Unterneh-

men oder Personen zulassen. Dennoch können aus den folgenden Darstellungen ohne weiteres aufschlussreiche Einsichten aus und zu Unternehmen der Nanotechnologie gewonnen werden.

Abschließend sei noch angemerkt, dass das oben beschriebene Auswahlverfahren und die daraus resultierende Nicht-Repräsentativität der Interviews bei der Interpretation der Interviewaussagen unbedingt berücksichtigt werden muss. Die unten gemachten Ausführungen geben zwar wertvolle, aber doch nur Hinweise und keine ohne weiteres verallgemeinerbaren Fakten zur Lage in den und Einschätzung der Unternehmen bezüglich nanotechnologischer Produkte und Verfahren sowie zur Nanotechnologie selbst.

5.2.2 Ergebnisse

5.2.2.1 Wettbewerber (allgemein)

Bezüglich der Wettbewerber machten die interviewten Unternehmen sehr gemischte Angaben. Während einige (noch) keine Wettbewerber hatten, da sie in ausgesprochenen Nischenmärkten anbieten, sahen sich andere einer breiten und vielfältigen Konkurrenz ausgesetzt. Mitunter wurde aber auch angegeben, dass es nur einige wenige direkte Wettbewerber gab, die dann gut bekannt waren. Die Wettbewerbssituation wurde hier erst einmal bezogen auf das gesamte Tätigkeitsfeld des betreffenden Unternehmens abgefragt. In der überwiegenden Zahl der Unternehmen stellten Aktivitäten der Nanotechnologie nur einen kleinen bis sehr kleinen Teil des gesamten Spektrums der geschäftlichen Tätigkeiten des Unternehmens dar.

5.2.2.2 Wettbewerber hinsichtlich nanotechnologischer Produkte/Verfahren

Die Frage nach den Wettbewerbern bezüglich der von der befragten Firma angebotenen Nanotechnologieprodukte/-verfahren wurde häufig mit dem Verweis darauf beantwortet, dass zum jetzigen Zeitpunkt noch gar kein Produkt/Verfahren am Markt sei und damit auch die Wettbewerbssituation nicht eingeschätzt werden könne. In den Fällen, in denen es bereits Produkte/Verfahren am Markt gab, waren in der Regel nur wenige oder keine weiteren Wettbewerber bekannt. Ursache hierfür war, dass meist Nischenmärkte bedient wurden, die keine diversifizierten Anbieterstrukturen zuließen. In zwei Fällen gaben die Befragten auch an, als erste und bisher einzige das betreffende Nanotechnologieprodukt/ -verfahren entwickelt zu haben und anbieten zu können. In diesen Fällen wurde aber mittelfristig mit dem Auftreten von Konkurrenten gerechnet.

5.2.2.3 Zulieferer und Abnehmer (allgemein)

Ähnlich wie bei den allgemeinen Wettbewerbern gestaltet sich die Situation hinsichtlich der Zulieferer und Abnehmer der interviewten Firmen bezogen auf ihr gesamtes Tätigkeitsfeld

eher gemischt. Während einige Firmen die Wertschöpfungskette weitgehend selbst abdeckten, waren andere auf eine Vielzahl unterschiedlicher Zulieferer angewiesen. Wieder andere griffen nur auf wenige Zulieferer zurück. Bezüglich der Abnehmer gab eine Mehrzahl der befragten Unternehmen an, über eine größere Anzahl unterschiedlicher Abnehmer zu verfügen.

5.2.2.4 Zulieferer hinsichtlich nanotechnologischer Produkte/Verfahren

Bezüglich der Zulieferer für die nanotechnologischen Produkte und Verfahren, an denen die befragten Firmen arbeiten bzw. die sie anbieten, wurden tlw. keine Aussagen gemacht. Als Gründe wurden entsprechende Vereinbarungen mit den Zulieferern oder Betriebsgeheimnisse zur Wahrung eigener ökonomischer Vorteile angegeben. Ansonsten gaben die Unternehmen überwiegend an, insbesondere die Nanotechnologiekomponenten (in erster Linie Nanopartikel) zuzukaufen. Konkrete Nennungen der entsprechenden Firmen wurden dann jedoch abgelehnt. Angegeben wurde jedoch zumindest, dass die Firmen tlw. aus dem Ausland (USA und Asien) tlw. aber auch aus Deutschland stammten. Eine leichte Mehrheit der Zulieferer sind nach Angaben der Befragten kleine oder sogar Kleinstunternehmen, welche die benötigten Nanokomponenten nur in kleiner Menge oder kleinen Stückzahlen produzieren (was mitunter auch als Problem eingestuft wurde). Eine Minderheit gab an, die Zulieferer seien (deutsche) Großunternehmen (meist aus der Chemieindustrie). Die geringe Verfügbarkeit insbesondere von Nanopartikeln wurde tlw. bemängelt.

5.2.2.5 Abnehmer hinsichtlich nanotechnologischer Produkte/Verfahren

Wie bereits erwähnt, können einige der befragten Unternehmen noch nicht mit marktreifen nanotechnologischen Produkten/Verfahren aufwarten. Diese konnten dementsprechend auch noch keine Abnehmer nennen. Dort, wo bereits Produkte/Verfahren am Markt waren, wurde mit diesen auf dieselben Abnehmer wie die der anderen, nicht nanotechnologischen Produkte und Verfahren gezielt. Allerdings kamen fast immer nur einige wenige bestimmte Abnehmer infrage, da das angebotene Nanotechnologieprodukt/-verfahren in der Regel eine Nischenanwendung darstellte, die mit höheren Kosten als bei vergleichbaren Produkten/Verfahren verbunden und daher nur für bestimmte Abnehmer interessant ist. Beispiele hierfür wären Farben oder Filter mit Nanopartikeln, die nur an bestimmte Farb- oder Filterabnehmer aus der großen Gruppe der Farb- und Filterabnehmer der jeweiligen Firmen verkauft werden.

5.2.2.6 Forschung und Entwicklung

Alle der befragten Unternehmen betreiben selbst Forschung und Entwicklung (FuE). Der Anteil der FuE variierte dabei von Unternehmen zu Unternehmen zwischen ca. 5% des

Umsatzes bzw. der MitarbeiterInnen bis zu reinen FuE-Unternehmen. In allen Fällen betrafen die FuE-Aktivitäten auch nanotechnologische Entwicklungen, in den meisten Fällen jedoch nur als eine von (vielen) anderen FuE-Aktivitäten. Häufig war der Anteil der Nanotechnologie-FuE sogar relativ klein im Verhältnis zur gesamten FuE.

Der Entwicklungsstand der jeweiligen nanotechnologischen Produkte und Verfahren variiert recht stark. Während einige Unternehmen sich noch im Stadium der Grundlagenforschung befinden, bieten andere bereits Nanotechnologieprodukte/-verfahren am Markt an und arbeiten derzeit an Weiterentwicklungen dieser Produkte/Verfahren. Obwohl sich Aussagen zu einzelnen Bereichen hinsichtlich des Entwicklungsfortschritts der Nanotechnologie aufgrund der geringen Fallzahlen kaum machen lassen, zeichnet sich tendenziell ab, dass Low-Tech-Produkte insgesamt weiter entwickelt sind als High-Tech-Produkte. Beispiele für die erste Gruppe wären Farben und Beschichtungen mit Nanopartikeln (Filter/Membranen), während zur zweiten Gruppe komplexe technische Systeme wie nanotechnologiebasierte Solarzellen oder Katalysesysteme zählen.

Hinsichtlich der Herausforderungen bzw. Probleme in der FuE gab es keine einheitlichen Aussagen der Interviewpartner. Vielmehr gab es hier und da sehr produkt-/verfahrensspezifische Herausforderungen/Probleme oder vereinzelt Schwierigkeiten mit den Rahmenbedingungen wie bspw. Finanzierungsmöglichkeiten, passende Kooperationspartner oder qualifizierte Fachkräfte. Mehrfach wurde die Verfügbarkeit und Handhabbarkeit der Nanokomponenten (in der Regel Nanopartikel) bzw. deren Analyse als Problem genannt, allerdings gab es diesbezüglich auch gegenteilige Aussagen.

Die im FuE-Prozess benötigten Informationen beziehen die interviewten Unternehmen aus den klassischen Quellen wissenschaftlicher Forschungs- und Entwicklungsarbeit wie Literatur, Artikel- und Patentdatenbanken, Kongressen und Messen sowie aus dem Internet und branchenspezifischen Informationsmedien wie Newslettern. Auch Kooperationspartner wie Universitäten, Fachhochschulen, außeruniversitäre FuE-Einrichtungen sowie andere Unternehmen versorgen die Befragten mit (Nanotechnologie) relevanten Informationen.

5.2.2.7 Rolle der Nanotechnologie in den nanotechnologischen Produkten/Verfahren

Gefragt nach der Rolle sowie den spezifischen Vor- und Nachteilen des Einsatzes der Nanotechnologie in den jeweiligen Produkten und Verfahren der betreffenden Firma, wurde häufig geantwortet, dass es sich um eine Verbesserung bestehender Produkteigenschaften handelt, welche den Mehrwert des Produktes insgesamt steigert. Kaum wurde jedoch angegeben, dass die verwendete Nanotechnologie zu komplett neuen Eigenschaf-

ten/Funktionen bestehender oder sogar zu ganz neuen Produkten/Verfahren verhelfen würde. Nanotechnologie befähige damit also eher eine evolutive Produkt- und Verfahrensentwicklung und trage weniger zu revolutionären Neuerungen bei. Immer wieder wurde im Rahmen der Interviews betont, dass man als Unternehmen keine Technologie – also auch keine Nanotechnologie – sondern immer nur ein funktionierendes Produkt oder Verfahren verkaufen könne. Beispielsweise seien die in der Tat beeindruckenden Eigenschaften diverser Nanopartikel für Unternehmen wertlos, so lange es nicht gelingt, die Partikel in Produkte/Verfahren zu integrieren und dort ihre herausragenden Eigenschaften zu erhalten und nutzbar zu machen. Darüber hinaus dürften mit den neuen Eigenschaften/Funktionen keine der Bestehenden eingeschränkt werden oder gar wegfallen – wichtig sei immer der zusätzliche Nutzen gegenüber allen bestehenden (nicht auf Nanotechnologie beruhenden) Produkten/Verfahren. Schließlich sollte das Nanotechnologieprodukt/-verfahren entweder weniger oder mindestens gleich viel wie das vergleichbare nicht nanotechnologische Produkt/Verfahren kosten. Kostet es dennoch mehr, muss ein mindestens gleichwertiger Mehrwert geschaffen werden. Derzeit erfüllen noch nicht sehr viele nanotechnologische Entwicklungen diese betriebs- und marktwirtschaftlichen Anforderungen. Insbesondere die Integrierbarkeit von Nanokomponenten bei gleichbleibenden oder sinkenden Kosten sei derzeit noch eine Herausforderung.

5.2.2.8 Treiber der Entwicklung nanotechnologischer Produkte/Verfahren

Abgesehen von stark variierenden und sehr branchen- oder anwendungsspezifischen Treibern, konnten in den Interviews auch einige allgemeine Treiber identifiziert werden. Diese sind jedoch meist nicht nanotechnologiespezifisch, sondern gelten für Produkt- und Verfahrensinnovationen allgemein. Zu nennen wäre hier insbesondere das Zusammenspiel von Marktnachfrage („market pull“) sowie Technologieangebot („technology push“). Tendenziell gaben mehr Unternehmen an, dass zunächst einmal die Nanotechnologie neue technologische Möglichkeiten anbiete, die dann in marktfähige Produkte und Verfahren umgesetzt werden könne. Allerdings gibt es in bestimmten Bereichen auch eine konkrete Marktnachfrage, bspw. nach kratzfesten Oberflächenbeschichtungen mit hochglänzenden Eigenschaften, die dann entsprechende Entwicklungen nach sich ziehen, die schließlich in der Nanotechnologie münden. Wie oben bereits erläutert, sei entscheidend, dass „am Ende des Tages“ ein funktionierendes Produkt angeboten werden könne, dessen Preis den Mehrwert des Produktes rechtfertige und wo ein Markt für das Produkt be- oder entsteht. Dort, wo dies durch Nanotechnologie gelingt, werden entsprechende Produkte erfolgreich sein. Andernfalls wird Nanotechnologie keine Anwendung finden.

Im Falle von umweltrelevanten Produkten/Verfahren, wie bspw. Filtern/Membranen sowie Energietechnik, wurde angegeben, dass eine entsprechende Umweltgesetzgebung hier fördernden Einfluss ausüben könne. Ansonsten spielen Umweltaspekte laut den Äußerungen der befragten Unternehmen als Treiber kaum eine Rolle. Wenn durch nanotechnologische Produkte/Verfahren Ressourceneinsparungen erreicht werden können, dann wirken eher damit verbundene mögliche Kosteneinsparungen, nicht aber positive Umwelteffekte als Treiber hinter der Entwicklung und Vermarktung dieser Produkte.

Als einer der wenigen nanotechnologiespezifischen positiven Wirkungen auf die Entwicklung nanotechnologischer Produkte und Verfahren wurde von den Interviewten das positive Image der Nanotechnologie bei Anwendern und in der Öffentlichkeit genannt. In einem Fall wurde sogar angegeben, dass die Entwicklung eines bestimmten Produktes unter der Maßgabe, Nanotechnologie einzusetzen erfolgte, weil das Produkt dann unter diesem „Label“ vermarktet werden könne. Hätte eine andere technologische Lösung zum selben Produkt geführt, wäre der Nanotechnologievariante dennoch der Vorzug gegeben worden. Mehrere der Befragten äußerten jedoch, dass das positive Image der Nanotechnologie leicht ins negative kippen könne. Beispiele aus der Vergangenheit hätten gezeigt, dass „Skandale“ im Zusammenhang mit Produkten einer bestimmten Technologie schnell die gesamte Technologie und damit all deren Produkte in Verruf bringen könnten. Die Unternehmen mahnen daher einen vorsichtigen Umgang mit dem Begriff „Nanotechnologie“ an. In einem Fall ist geäußert worden, dass Standardisierung sowie Labeling von Nanotechnologie hier zu einer größeren Sicherheit bezüglich des positiven Images der Nanotechnologie beitragen könne.

5.2.2.9 Hemmnisse der Entwicklung nanotechnologischer Produkte/Verfahren

Analog zu den Treibern (s. o.) der Entwicklung nanotechnologischer Produkte und Verfahren, wurden von den befragten Unternehmen vor allem allgemein für sämtliche Produkt- und Verfahrensinnovationen geltende Hemmnisse genannt. Dies betrifft bspw. die Trägheiten im Innovationssystem: Verbesserungsinnovationen, die bestehende Produkte und Verfahren ablösen sollen, richten sich an solche Abnehmer/Anwender, die bereits etablierte Produkte/Verfahren nutzen, mit welchen sie umfangreiche Erfahrungen gemacht haben. Die neuen, verbesserten Produkte/Verfahren hingegen müssen sich erst bewähren, und häufig wird vom Anbieter der neuen Produkte/Verfahren verlangt, dass dieser deren Überlegenheit nachweist. Da es jedoch am Beginn der Markteinführung logischerweise noch keine Erfahrungen mit dem neuen Produkt gibt, reagieren die potenziellen Abnehmer/Anwender zurückhaltend, was die weitere Marktdurchdringung nur langsam in Schwung kommen lässt. Ein besonders gutes Beispiel für diesen Effekt bilden Fassadenfarben: Deren Anwendungsbereich ist die Baubran-

che, die traditionell eher mittelfristig orientiert ist. Eine Fassadenfarbe soll zehn Jahre oder länger an der Fassade ihre Aufgaben erfüllen bevor eine Erneuerung vorgenommen wird. Zum einen dauert es also mindestens diese Zeit, bis die Überlegenheit einer Fassadenfarbe mit Nanopartikeln erprobt werden kann. Zum anderen will eine zehn Jahre währende Investition gut überlegt sein und Risiken werden in diesem Bereich eher vermieden.

Ein weiteres, typisches Innovationshemmnis sind die zunächst höheren Kosten für das neue Produkt/Verfahren. Entwicklungskosten müssen sich erst amortisieren und in der Regel sinken die Stückkosten mit den Stückzahlen (Skaleneffekt), letztere sind jedoch am Beginn der Produktion/Markteinführung naturgemäß noch sehr klein. Dies trifft auch auf nanotechnologische Produkte und Verfahren zu.

Allerdings konnten in den Interviews auch nanotechnologiespezifische Hemmnisse identifiziert werden. Zum einen gaben einige Unternehmen an, dass es noch eine ganze Reihe von technischen Schwierigkeiten hinsichtlich der Nanokomponenten selbst sowie deren Integration in entsprechende Produkte und Verfahren gäbe. Hierzu sei noch viel Forschung und Entwicklung nötig, um die Probleme lösen zu können. Bspw. weisen Nanopartikel vielfach ein ganz anders Strömungs- und Aggregationsverhalten als Mikro- oder noch größere Partikel auf. Hierauf müssen Herstellungs- und Verarbeitungstechnik sowie -verfahren erst noch angepasst werden. Des Weiteren gäbe es, wie erwähnt, tlw. Probleme bei der Verfügbarkeit der Nanokomponenten, insb. der -partikel. Dies ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass es Up-Scaling-Probleme bei den Herstellungsverfahren und -techniken gibt.

Besonders auffällig war die häufige Nennung von Risiken sowie des Umgangs mit diesen als Hemmnis nanotechnologischer Produkte und Verfahren. Obwohl die Interviewpartner zunächst nicht direkt auf Risiken der Nanotechnologie angesprochen worden sind, äußerten sich viele selbstständig zu Risiken und benannten diese als wesentliche potenzielle Hemmnisfaktoren bei der (weiteren) Entwicklung von Nanotechnologie. Zwar habe die Nanotechnologie derzeit noch ein positives Image, doch in der Wahrnehmung der Unternehmen häufen sich mehr und mehr Veröffentlichungen, die der Nanotechnologie kritisch gegenüber stehen und (vermeintliche) Risiken als Gründe für diese Kritik angeben. Die Interviewpartner bemängelten vielfach, dass in der öffentlichen, aber auch der Fachdiskussion häufig nicht genügend differenziert würde, wenn von Risiken in der Nanotechnologie die Rede sei. Von den meisten der Befragten wurde zwar nicht ausgeschlossen, dass es Risiken insbesondere von freien Nanopartikeln geben könne. Allerdings ist man der Ansicht, dass diese Risiken ohne größere Schwierigkeiten handhabbar seien. In vielen Fällen, in denen über Risiken der Nanotechnologie berichtet werde, seien die Darstellungen stark übertrieben oder sogar unsinnig, meinten

einige der Interviewpartner. Viele der befragten Unternehmen sprachen sich daher dafür aus, die Risikodebatte offensiv anzugehen und insbesondere die Öffentlichkeit sachlich und differenziert über etwaige Risiken und den verantwortungsvollen Umgang mit diesen zu informieren. Insgesamt schätzen alle der Interviewten die Risiken der Nanotechnologie als deutlich geringer als die Chancen ein.

Schließlich wurde in den Interviews einige Male geäußert, dass „falsche", also nicht wirklich auf Nanotechnologie beruhende Produkte und Verfahren, die aber unter dem Label „Nano" beworben werden, der Nanotechnologie insgesamt einen Imageschaden zufügen und damit die Entwicklung und den Absatz „echter" Nanotechnologieprodukte und -verfahren behindern könnten. Auch hier wurde empfohlen, technische Standards zu schaffen und entsprechende gesetzlich geschützte Siegel einzuführen.

5.2.2.10 Öffentliche Förderung

Bezüglich der öffentlichen Förderung mit Bezug auf Nanotechnologieentwicklung gab es relativ übereinstimmende Aussagen seitens der Interviewten. In vielen Fällen wurde beanstandet, dass der Verwaltungsaufwand bei der Teilnahme an öffentlichen Förderprogrammen (deutlich) zu hoch sei. Viel zu viel „Papierkram" sei zur Antragstellung erforderlich, deren Bearbeitung insbesondere in kleinen und mittleren Unternehmen insb. personelle Ressourcen erfordere, die nicht vorhanden seien. Zudem bemängelten insbesondere kleinere und mittlere Unternehmen, dass die Förderquoten nicht ausreichten. Darüber hinaus wurde kritisiert, dass die Zeiträume zwischen Antragstellung und -bewilligung häufig zu groß seien – im Innovationsprozess sei Schnelligkeit eine Wettbewerbsvorteile sichernde Größe und Verzögerungen von vielen Monaten bis zu einem Jahr und mehr seien schlichtweg nicht hinnehmbar. Auch die tlw. schwer erfüllbaren Vorgaben bezüglich der Zusammensetzung der Konsortien sind als Kritikpunkt genannt worden. Sinnvoller sei, diejenigen zu fördern, die tatsächlich für die Entwicklung eines Produktes zusammenarbeiten müssen, und nicht die, die gerade im Fokus der Forschungs-/Wirtschaftsförderung stehen. Schließlich wurde noch die Unsicherheit bei der Geheimhaltung von Firmendaten sowie bei den Verwertungsrechten als negativ eingestuft. Eine Sicherung über Patente könne tlw. aufgrund der Veröffentlichungspraktiken insbesondere von öffentlichen Hochschulen und Forschungseinrichtungen nicht garantiert werden.

Die genannten Kritikpunkte wurden insbesondere von kleinen und mittleren Unternehmen genannt. Für manche der Unternehmen stellten einer oder mehrere der genannten Punkte einen Grund dar, gar keine öffentliche Förderung in Anspruch zu nehmen. In der Bewertung schnitten dabei die EU- und die Landesförderung NRW schlechter ab als die Bundesförde-

rung, wobei das BMBF häufig positiv erwähnt wurde. Bezüglich der Landesförderung NRW wurde mehrfach geäußert, dass die neue Wettbewerbsorientierung der Forschungsförderung eine Verschlechterung darstelle. Als positive Beispiele gelungener Landesförderprogramme wurde hingegen Bayern genannt.

5.2.2.11 Einschätzung der weiteren Entwicklung der Nanotechnologie

Die weitere Entwicklung der Nanotechnologie wurde insgesamt als positiv bewertet. Alle der befragten Unternehmen rechnen für die Zukunft mit mehr nanotechnologischen Produkten (auch aus dem eigenen Unternehmen) sowie mit steigenden Absätzen bestehender Produkte. Allerdings schätzen die Befragten, dass sich die Nanotechnologie erst nach und nach in entsprechenden Produkten und Verfahren manifestieren wird. Einen schlagartigen Durchbruch mit revolutionärem Charakter erwartet hingegen niemand. Wichtig sei jedoch, dass die Risiken nicht überbewertet würden und insgesamt die Technikfreundlichkeit und -offenheit insb. innerhalb der deutschen Öffentlichkeit noch stärker zunehme.

5.2.2.12 Zusammenfassung Unternehmensinterviews

Bei den interviewten Unternehmen handelt es sich um eine Positivauswahl von Unternehmen, da alle Unternehmen FuE betreiben und eindeutig einen Bezug zur Nanotechnologie haben. Generell wurde aus den Unternehmensinterviews deutlich, dass der Einsatz von Nanotechnologien in Verfahren und Produkte noch weitgehend am Anfang steht, wenn man von den eher klassischen Verfahren und Produkten absieht, in denen bspw. Nanopartikel schon seit längerem eingesetzt werden. Aber auch in diesen Bereichen ist festzustellen, dass die Nutzung der Nanoeigenschaften, also über die bislang eher implizite Nutzung hinaus, erhebliche Herausforderungen an die bestehenden Produktionsverfahren stellt und von daher keineswegs ein Selbstläufer ist.

Deutlich wird das frühe Stadium des Einsatzes der Nanotechnologien bereits dadurch, dass bzgl. der Verfügbarkeit geeigneter Nanopartikel mehrfach geäußert wurde, dass es Zulieferprobleme gäbe, sowohl hinsichtlich der Mengen als auch der Qualitäten.

Ebenso wurde aus den Unternehmensinterviews deutlich, dass die Markteinführung von nanotechnologischen Produkten/Verfahren nicht als Selbstläufer angesehen werden kann, da einerseits die verfahrenstechnische Hemmnisse (bspw. die Integration der Nanotechnologie in bestehende Produkte und Verfahren) dazu führen, dass ein erheblicher Entwicklungsaufwand erforderlich ist und damit die Risiken der Einführung von Nanotechnologie in Produkte und Verfahren hoch sind und bislang i.d.R. auch zu höheren Kosten führt. Es ist allerdings darauf hinzuweisen, dass dies keineswegs ein nanotechnologiespezifisches Problem darstellt, es geht

letztlich darum Angebote zu entwickeln, die sich am Markt durchsetzen können. Insofern ist es entscheidend, dass die nanotechnologischen Produkte und Verfahren im Preis-/Leistungsverhältnis mit existierenden Produkten/Verfahren konkurrieren können. Damit kann der Erschließung der neuen Funktionalitäten der nanotechnologischen Produkte und Verfahren sich nur dann rechnen, wenn den zusätzlichen Funktionalitäten nicht erhebliche zusätzliche Kosten gegenüberstehen.

Nanotechnologien ermöglichen allerdings, dass neue Funktionalitäten erschlossen werden können, die insbesondere in bestimmten Nischenbereichen zum Einsatz kommen können, nämlich dann, wenn die neuen Funktionalitäten nur durch den Einsatz der Nanotechnologien bereit gestellt werden können und die Nachfrage nach entsprechenden Produkten/Verfahren (zumeist verbunden mit zusätzlichen Kosten) existiert, also Produkten/Verfahren die wenig preissensitiv sind. Dies ist im Grundsatz kein spezifisches Problem der Nanotechnologien, da dies zu Beginn von Innovationsprozessen generell zu beobachten ist, dass sich neue Technologien gegen bestehende Ansätze durchsetzen müssen.

Mit dem Einsatz der Nanotechnologien wird, so die Aussage der Interviewpartner, versucht bestehende Produkt- bzw. Verfahrenslinien zu verbessern und es wird weniger versucht neue Märkte zu erschließen. Damit zielen die Angebote auf den mehr oder weniger bekannten Abnehmerkreis. Bemerkenswert ist allerdings, dass die Unternehmen mit ihren nanotechnologischen Produkten und Verfahren (gleich ob sie sich noch im Stadium der FuE befinden oder bereits am Markt sind) sich als Pioniere einschätzen, Wettbewerber in diesem Stadium der Entwicklung (noch) nicht bekannt sind, wobei die Unternehmen dies als ein Zwischenstadium auffassen. Gleichwohl deutet dies darauf hin, dass gegenwärtig die Weichen für die künftige Wettbewerbsfähigkeit gestellt werden. Die Erschließung von Nischenmärkten, in denen den teilweise höheren Kosten der Integration der (neuen Funktionalitäten der) Nanotechnologien in die Produkte/Verfahren eine entsprechende Zahlungsbereitschaft gegenüber steht ist die Vorbedingung für die breitere Einführung der Nanotechnologien.

Nanotechnologien haben nach Einschätzung der Interviewpartner ein positives Image, welches die Markteinführung entsprechender Produkte/Verfahren unterstützen kann. Allerdings wird darauf verwiesen, dass der öffentliche Risikodiskurs bzgl. der Nanotechnologien sich als ein Hemmnis für die Entwicklung der Nanotechnologien erweisen kann und dementsprechend sei eine offensive Kommunikation der Chancen erforderlich. Die Interviewpartner selbst gehen dabei davon aus, dass mit dem Einsatz von Nanotechnologien keine besonderen Risiken einhergehen.

Die Aussagen der Interviewpartner zu der öffentlichen Förderung sind weitgehend mit den bekannten Aussagen kompatibel. So wird vor allem hervorgehoben, dass der Aufwand um entsprechende Förderprogramme nutzen zu können vielfach zu hoch ist und dass die Förderquoten zu gering ausfielen und die Fristen zwischen Antragstellung und Bewilligung zu lang seien. Konkret auf NRW bezogen bestand zum Zeitpunkt der Befragungen eine erhebliche Unsicherheit bzgl. der Landesförderung, die sich im Umbruch befindet und stärker wettbewerbsorientiert ausgestaltet wird, was zu weniger positiven Aussagen bzgl. der NRW Förderung führte. Mehrfach wurde hingegen als positive Beispiele die Förderansätze in den südlichen Bundesländern und vor allem Bayern erwähnt.

Generell wird von den Interviewpartnern davon ausgegangen, dass die Entwicklungsperspektiven der Nanotechnologien bzw. des Einsatzes der Nanotechnologien in Produkten und Verfahren gut seien, dass allerdings ein eher kontinuierlich ablaufender Prozess erwartet wird, in dem sich nanotechnologische Verfahren/Produkte zunehmend auf dem Markt durchsetzen werden.

5.3 Fazit

Als Fazit ist festzuhalten, dass vor dem Hintergrund der generellen Aussagen der Unternehmensbefragungen aus den Interviews ergänzende und meist auf die Unternehmen bezogene Informationen generiert werden konnten.

Generell lässt sich feststellen, dass der Einsatz von Nanotechnologien und die Bedeutung der Nanotechnologien für die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen zunehmen wird, eine durchgängige Erwartung ist. Hinsichtlich der zeitlichen Fristen sind allerdings bereits Unterschiede feststellbar: die Nanotechnologieunternehmen gehen davon aus, dass die Bedeutung der Technologien sowohl hinsichtlich der Indikatoren Umsatz und Beschäftigung bereits in den kommenden drei Jahren zunehmen wird. Die Unternehmen des Umweltmarktes, sind bislang nur in geringem Umfang mit Nanotechnologien befasst und erwarten eher mittel- bis langfristig eine Bedeutungszunahme dieses Technologiebereichs für ihre jeweiligen Tätigkeitsfelder.

Die Unternehmensinterviews haben verdeutlicht, dass hinsichtlich des Einsatzes der Nanotechnologien differenziert werden muss. So sind Anwendungsfelder wie Materialien und Oberflächen und Katalyse, bereits seit langem etabliert und erhalten durch die Nanotechnologieforschung zusätzliche Impulse, während ihr Einsatz in anderen Produkten und Verfahren erst am Anfang steht. Dementsprechend müssen die Aussagen zum Einsatz von Nanotechnologien differenziert werden. Die Integration dieser Technologien in Produkte

und Verfahren erweist sich vor dem Hintergrund der Unternehmensinterviews als keineswegs trivial. Zum einen müssen technologische Hemmnisse überwunden werden, zum anderen müssen diese Produkte und Verfahren wettbewerbsfähig gemacht werden. D.h. die Erschließung der neuen Funktionalitäten, die durch den Einsatz der Nanotechnologien ermöglicht werden, müssen sich letztlich auch „rechnen".

Der Zugang zu Finanzierungsmöglichkeiten und zu öffentlicher Förderung wird generell von den Unternehmen als Hemmnis gesehen und dies vor allem im Hinblick auf die konkurrierenden Unternehmen. So wird von den Nanotechnologieunternehmen angegeben, dass die Wettbewerber allgemein einen besseren Zugang zu Finanzierungsmöglichkeiten hätten und zusätzlich über bessere öffentliche Fördermöglichkeiten verfügen. Als mögliche Konsequenz daraus können preisgünstigere Produkte angeboten werden. Die Unternehmen des Umweltmarktes sehen vor allem in der unzureichenden staatlichen Förderung eine Entwicklungsbarriere. Bei den Unternehmen des Umweltmarktes werden aber insbesondere auch die fehlenden Marktinformationen und der Mangel an kompetenten Kooperationspartnern hervorgehoben.

Das Problem der unzureichenden öffentlichen Förderung wird in den Interviews vor allem im Hinblick auf die öffentlichen Förderprogramme konkretisiert, die vor allem auch durch deren Ausgestaltung (erheblicher Aufwand der Antragstellung, zu geringen, der zu langen Zeiträume zwischen Antragstellung und Bewilligung und die eigenen Geheimhaltungsinteressen) problematisch seien. Konkret auf NRW bezogen wurde die Veränderung der Förderlandschaft auf eine stärkere Wettbewerbsorientierung angeführt. Anzumerken ist dabei, dass die Befragungen in einem Zeitraum erfolgten, als die Umgestaltung der NRW Förderung anstand. Gleichwohl wurden in den Interviews mehrfach insbesondere Bayern als Beispiel für eine gelungenere Förderpolitik erwähnt.

Im Hinblick auf die Umweltrelevanz geben die Unternehmen, die Nanotechnologieunternehmen und die Unternehmen des Umweltmarktes sowohl in den schriftlichen Befragungen, als auch in den Interviews an, dass mit dem Einsatz der Nanotechnologien Umweltentlastungspotenziale erschlossen werden können. Im Rahmen der Interviews wurde deutlich, dass Risiken des Einsatzes dieser Technologien im Wesentlichen nicht gesehen werden. Allerdings wird der öffentliche Diskurs um Risiken als problematisch angesehen. Es sei erforderlich, dass eine offensive Kommunikation der Chancen von Nanotechnologien auf den Weg gebracht werden müsse.

6 Marktpotenziale nanotechnologischer Produkte und Verfahren

Nicht zuletzt aufgrund der schwierigen Ab- und Eingrenzbarkeit und der starken Dynamik in dem sich noch entwickelnden Feld Nanotechnologie gibt es derzeit nur wenige Studien, die sich mit Marktanalysen und -prognosen der Nanotechnologie befassen. Als Querschnitts- und „enabling" Technologie spielt die Nanotechnologie (potenziell) in sämtlichen Branchen eine Rolle – die Marktentwicklung aller Branchen für Aussagen zur Nanotechnologie heranzuziehen, ist jedoch wenig zielführend. Die Konzentration auf „reine" Nanotechnologieprodukte/-verfahren, wie bspw. Nanopartikel, greift jedoch ebenfalls zu kurz. Eine umfassende und gleichzeitig differenzierte und detaillierte Analyse bestehender und Prognose zukünftiger Nanotechnologiemärkte ist daher relativ schwierig und aufwändig. Hinzu kommt, dass es neben den wenigen öffentlich zugänglichen Studien auch kommerzielle Marktstudien gibt, die uns jedoch (aufgrund der hohen Preise für diese Studien) im Rahmen dieses Projekts nicht (vollständig) zur Verfügung standen.[44]

Zur Betrachtung der Marktchancen wird im Allgemeinen zwischen am Markt befindlichen, kurzfristig verfügbaren (nächsten 5 Jahre) Produkten, mittelfristigen (5-10 Jahren) sowie langfristigen (> 10 Jahre) Produktrealisierungen unterschieden.

6.1 Methodische Besonderheiten

Die uns vorliegenden Marktpotenzialvoraussagungen schwanken tlw. sehr stark, was mit den methodischen Besonderheiten bei der Untersuchung von Nanotechnologiemärkten erklärt werden kann. Das BMBF definiert die Nanotechnologie (Nano Initiative Aktionsplan 2010) wie folgt: „Die Nanotechnologie beschreibt die Untersuchung, Anwendung und Herstellung von Strukturen, molekularen Materialien und Systemen mit einer Dimension oder Fertigungstoleranz typischerweise unter 100 Nanometern." (BMBF 2006, S. 11) Anhand dieser Definition lässt sich eine besondere Schwierigkeit im Zusammenhang mit der Marktabschätzung von Nanotechnologien veranschaulichen. Typischerweise wird impliziert, dass auch Technologien oder Produkte zur Nanotechnologie zugerechnet werden können, die dimensional größer als 100nm sind. Einheitliche Abgrenzungen werden vielfach nicht vorgenommen. Oftmals werden bspw. Firmen der Mikrotechnik, die an der Schnittstelle zur Nanotechnik arbeiten, zur Nanotechnologie hinzugerechnet. Diese Abgrenzung der Nanotechnologie zu anderen Technikfeldern ist schwierig, hat aber direkte Auswirkungen auf die Ergebnisse der Marktanalysen.

[44] Beispiele sind: LUX Research, The Nanotech Report™; BCC Research, div.; Cientifica, div.

Bei der Betrachtung des zukünftigen Marktvolumens der Nanotechnologie gehört auch die kritische Untersuchung der zukünftigen Produkte und Verfahren auf ihren Nanotechnologieanteil. Manche Katalyseprozesse werden bspw. erst durch die Nanopartikel bezahlbar und somit neu eingeführt, während andere nur eine inkrementelle Verbesserung des Prozesses darstellen. Bei diesem Untersuchungsaspekt ist auch interessant, wie viele Prozesse schon seit langer Zeit mit Nanopartikeln durchgeführt werden, jedoch nicht als solche benannt sind.
Der Einfluss bspw. der Nanopartikel auf die jeweiligen Endprodukte lässt sich neben deren Produktanteil, auch auf den Veredlungsprozess festhalten. So ist die Gefahr der monetären Mehrfacherfassungen der Nanoprodukte im Produktveredlungsprozess stets gegeben. Der Qualitätsanstieg durch Nanopartikel in Produkten kann somit durchaus einen höheren Preisanstieg rechtfertigen, als die durch den Einsatz von Nanopartikel entstandenen Kosten. Somit birgt die Erfassung des erwarteten Umsatzvolumens große Schwierigkeiten, die durch die teilweise noch visionären Produktvorstellungen und den entstehenden Nanozwischenprodukten verstärkt werden. Als Beispiel soll hier die Dünnschichtsolarzelle erwähnt werden, in der mehrere Nanoanwendungen genutzt werden können. Neben der eigentlichen Dünnschicht, ist die Verwendung von „anti-fog“-Beschichtungen sowie selbstreinigenden Glasbeschichtungen denkbar. Werden nun die Solarzellen sowohl dem Bereich Oberflächenfunktionalisierung als auch dem Bereich photoaktive Nanoschichten zugerechnet, erfolgt eine Doppel- und damit Überbewertung der Nanotechnologiemärkte insgesamt.

Die Verdrängung der alten Produktionsweise oder des alten Produkts durch die neue Technologie kann bei der Untersuchung von Marktpotenzialen häufig nur schwer mit einbezogen werden. So kann es bei einer Nettoerfassung durchweg zu Verlusten bzw. bedeutend niedrigerem Marktpotenzial kommen als bei einer Bruttobetrachtung. Speziell die inkrementellen Verbesserungen durch Nanopartikel bergen diese Gefahr, da hier bestehende Produkte/Verfahren lediglich verbessert, nicht aber neu in Märkte eingeführt werden. Wenn bspw. alle Fahrzeuge zukünftig nur noch mit Nanolacken behandelt werden, dann bietet das bei der großen Anzahl von Fahrzeugen auf der Welt ein sehr hohes Potenzial, was selbst bei den kleinen Anteilen, die die Nanopartikel im „Nanolack“ haben, einen hohen Umsatz ausmachen würde. Jedoch kommt es hierbei nur zu einer Verdrängung des Lackumsatzes von „normalem“ Lack hin zu „Nanolack“. Auch kann es bei diesem Beispiel passieren, dass aufgrund der versprochenen besseren Haltbarkeit und Robustheit des Lackes die Lackierungszyklen länger werden und somit der Gesamtumsatz der Lackhersteller sinkt. Anhand dieses Beispiels soll lediglich verdeutlicht werden, dass der Umsatz der Nanotechnologieprodukte/-verfahren durchweg stark steigen kann, jedoch Substituierungseffekte nicht auszuschließen sind und bei

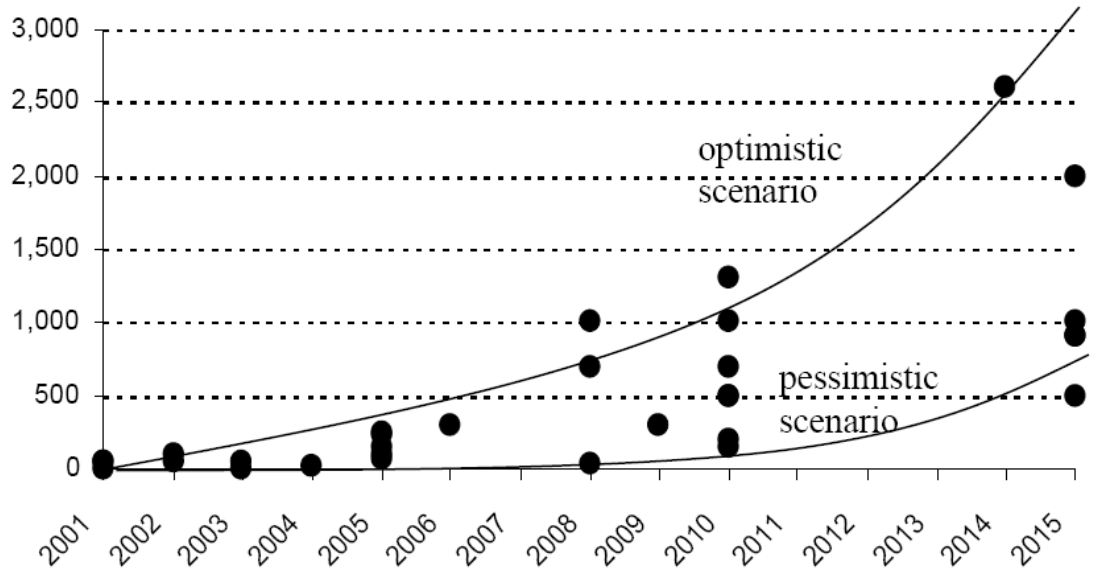
dem Versuch der monetären Erfassung der Produkte/Verfahren diese Schwierigkeiten bei der Interpretation bedacht werden müssen.

6.2 Prognosen bezüglich der Nanotechnologiemärkte

Gesamtmarkt für Nanotechnologien

Bei der Betrachtung der zukünftigen Marktpotenziale der Nanotechnologie lässt sich, wie in Abbildung 98 zu sehen, von einer sehr großen Bandbreite sprechen, die von sehr optimistisch bis eher verhalten reicht.

Abbildung 98: Weltmarktprognose für Nanotechnologie in Mrd. US-$



(Quelle: Hullmann 2006)

Die meisten der in der Grafik vermerkten Marktpotenzialanalysen stammen aus den letzten fünf bis sechs Jahren (Hullmann 2006). Im verhaltenen Verlauf wird im Jahre 2015 von einem Umsatz von ca. 500 Mrd. US-$ ausgegangen und im optimistischen Verlauf mit ca. 2.600 Mrd. US-$ im Jahr 2014 (Lux 2006). Einen moderaten Verlauf sieht dagegen die „National Science Foundation (NSF) of the United States“, welches von einem Umsatz von 1.000 Mrd. US-$ im Jahre 2015 ausgeht. (NSF 2001) Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geht von einer ähnlichen Entwicklung aus und schätzt das Marktpotenzial für nanobasierte Produkte, in seinem 2006 veröffentlichen Beitrag „Nano-Initiative – Aktionsplan 2010“, auf bis zu 1 Billionen Euro im Jahre 2015. (BMBF 2006)

Die hier zutage getretenen Unterschiede der Schätzungen beruhen neben verschiedenen Annahmen der Definition von Nanotechnologie auch auf der Bewertung der Nanotechnologie am Endprodukt und auf weitere schon oben genannte Faktoren.

Die verzeichneten Abschätzungen unternehmen teilweise eine Aufspaltung der Umsätze nach unterschiedlichen Nanobereichen. Dabei kommen sie auf unterschiedlichste Ergebnisse, die sich jedoch aufgrund der verschiedenen Untersuchungsinstitute, der Wahl ihrer Analysemethoden und Definitionen der Nanobereiche schwer/nicht vergleichen lassen.

Teilmärkte insbesondere mit Umweltbezug

Im Rahmen der umfassenden VDI Studie „Nanotechnologien als wirtschaftlicher Wachstumsmarkt“ wurden aufwändige Untersuchungen bzgl. der Marktvolumina verschiedener Produkte unternommen, die in Anhang V dargestellt sind. Dabei lässt sich festhalten, dass es innerhalb der Produktgruppen große Unterschiede zu dem Umfang des Marktpotenzials einzelner Verfahren gibt und, soweit vorhanden, hohe Steigungsraten eines Produktes vorausgesagt werden (ZTC 2004).

BCC Research geht von einer jährlichen Wachstumsrate bei der Anwendung von Nanopartikeln in der Energiewirtschaft von 8,4% bis ins Jahr 2012 aus. Dabei steigt das erwartete Umsatzvolumen von 4,73 Mrd. US-$ im Jahre 2007 auf bis zu 7,12 Mrd. US-$ 2012. Der dominierende Anteil dieses Marktes wird über Industrieenzyme erwirtschaftet dessen Anteil jedoch von heute 57,8% auf 46,9% 2012 fallen wird. (BCC 2007c) Bei Nanoverbundstoffen wird von einem Anstieg des Marktvolumens von 252 Mio. US-$ (2005) hin zu 857 Mio. US-$ im Jahre 2011 ausgegangen. Dabei wird den Tonverbundstoffen das größte Potenzial zugesprochen, die ihren Marktanteil von 24% auf 44% nahezu verdoppeln können. Im Anwendungsbereich von Nanoverbundstoffen wird dem Bereich Verpackungen ein hoher Marktanteil (28%) zugesprochen, gefolgt von dem Bereich der Energieanwendungen mit 26% im Jahre 2011 (BCC 2006). Einem anderen Nanoprodukt werden zurzeit sehr hohe Zuwachsraten zugesprochen. Dabei handelt es sich um sogenannte Carbon-Nano-Tubes denen ein jährliches Wachstum von bis zu 73,8% unterstellt wird. Eine Umsatzentwicklung von 50,9 Mio. US-$ Ende 2006 hin zu einen Marktvolumen von 807,3 Mio. US-$ im Jahr 2011 ist laut BCC Research möglich. (BCC 2007a)

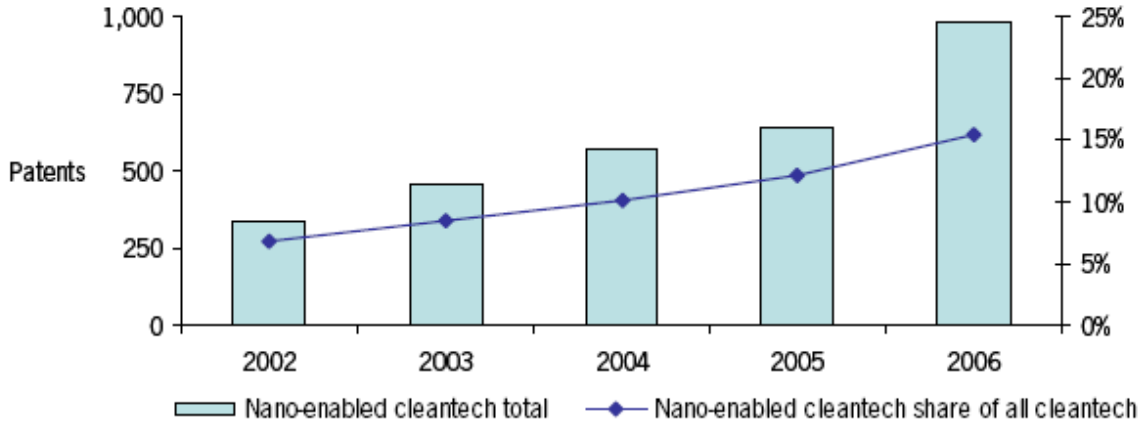
Obwohl sich die Prognosen in der Höhe des zukünftigen Marktvolumens teilweise deutlich unterscheiden, lässt sich bei allen ein überdurchschnittliches Wachstum festhalten, welches klar über den normalen durchschnittlichen Wachstumsraten des BIP der Industrienationen liegt. Im Durchschnitt wird von einer jährlichen Wachstumsrate von ca. 15% des Nanotechnologiemarktes bis 2015 ausgegangen. (Hullmann 2006)

Im Rahmen der VDI-Studie (ZTC 2004) werden der Nanotechnologie zugehörige deutsche Unternehmen nach deren Einschätzung zum Potenzial der Nanotechnologie in verschiedenen

Bereichen befragt, darunter auch die Bereiche Umwelt (inkl. Recycling) und Energie(-versorgung). Zwar sahen die Unternehmen im Bereich IuK, Chemie/Werkstoffe/Verfahrenstechnik und Medizintechnik/Gesundheit die größte Bedeutung für die Zukunft. Dennoch kam dem Bereich Umwelt (incl. Recycling) eine mittelgroße Bedeutung zu, während Energie(-versorgung) im hinteren Drittel landete (VDI 2004, Abb. 5.27) Damit lässt sich festhalten, dass die Firmen in Deutschland, die sich mit Nanotechnologie beschäftigen, momentan ein höheres Marktpotenzial in anderen Anwendungsbereichen sehen als in der Umweltwirtschaft. Gemessen an den Dimensionen der zukünftig erwarteten Nanotechnologie-Marktvolumina, ergibt sich dennoch ein großes Potenzial auch für nanotechnologische Produkte und Verfahren der Umwelttechnik und für den Umweltschutz.

Bereits heute lässt sich eine Dynamik bezüglich der Nanotechnologien im Umweltsektor erkennen, die allerdings auf einem niedrigen Niveau stattfindet (Lux Research 2007). So ist nach Analysen von Lux Research die Anzahl der publizierten Patente im Bereich der Umwelttechnologien[45] zwischen 2002 und 2006 um 7% gestiegen, wohingegen die Anzahl der Umwelttechnologie-Patente mit einem Bezug zu Nanotechnologien um 31% gewachsen ist (Abbildung 99).

Abbildung 99: Umwelttechnologie-Patente mit einem Bezug zu Nanotechnologie

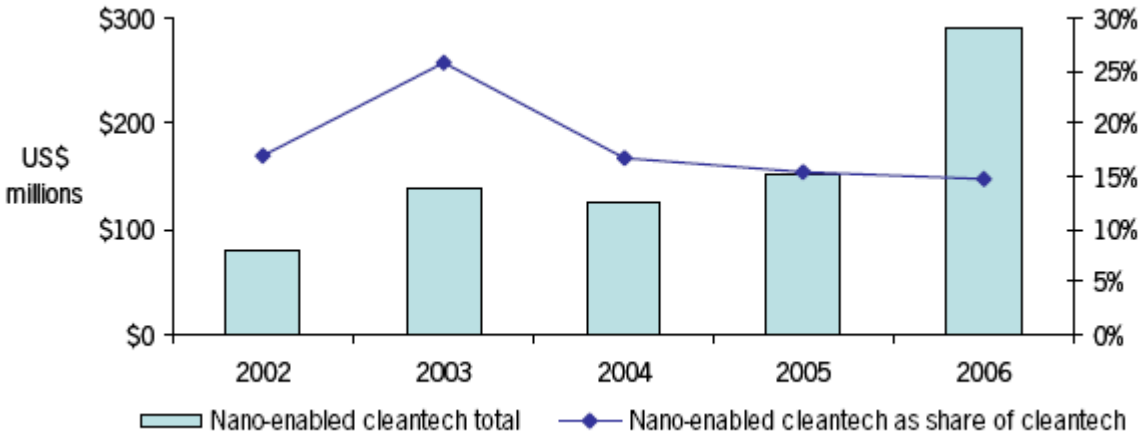


(Quelle: Lux Research 2007, S. 10)

In diesem Zeitraum sind auch die Investitionen des Risikokapitals in die Umwelttechnologie-Unternehmen mit einem Nanobezug stark gewachsen (Abbildung 100). Obwohl die Investitionen in Absolutzahlen gestiegen sind, ist allerdings der Anteil an gesamten Risikokapital-Investitionen in den Umweltschutzmärkten über die Zeit konstant geblieben.

[45] Die Autoren bezeichnen Umwelttechnologien als „cleantech". Darunter subsumieren sie „innovative Technologien, die dazu dienen, den Verbrauch natürlicher Ressourcen zu optimieren und Umweltauswirkungen zu reduzieren" (Lux 2007, S. 4)

Abbildung 100: Risikokapital-Investitionen in Umwelttechnologien mit einem Bezug zu Nanotechnologie



(Quelle: Lux Research 2007, S. 12)

Auch an den Börsen lassen sich erste Dynamiken im Bereich der Nano-Umweltschutzunternehmen beobachten. 2005 gab es unter 19 Börsengängen im Bereich der Umwelttechnologien ein Unternehmen, das auch Nanotechnologien einsetzt[46], 2006 waren es bereits drei Nano-Umwelttechnik-Unternehmen, die einen Börsengang vorgenommen haben[47] (Lux Research 2007, S. 11).

Diese Entwicklungen befinden sich aber auf einem niedrigen Niveau. Der Nanotechnologie in der Umwelttechnik/Energie wird daher mittel- bis langfristig eine große Zukunft bescheinigt. Auf kurzer Sicht (bis 2010) liegt der Einfluss der Nanotechnologie auf der Verbesserung und Effizienzsteigerung vorhandener Produkte und Ressourcen. Erst auf langer Sicht (ab 2010) wird mit neuen Prozessen oder Energiequellen zu rechnen sein, die sich bspw. im Solarbereich, der Wasserstoffspeicherung oder im Batteriebereich bilden. (Cientifica 2007a).

Eine schon am Markt befindliche und angewendete Nanotechnologie im Umweltsektor sind Nanomembranen, z.B. im Einsatz bei der Reinigung von Abwässern. Viele andere Technologien die direkt der Umwelttechnik zuzurechnen sind, befinden sich zurzeit noch in der Anwendungsphase bzw. technischen Realisierung und stehen erst mittelfristig zur Verfügung. So werden der zukünftigen Generation von Farbstoff-/Dünnschichtsolarzellen aufgrund einer höheren Energieeffizienz beträchtliche Marktchancen eingeräumt. Bei der Entwicklung des Marktes für Nanofiltration wird mit einem jährlichen Wachstum von 26,1% bis 2012 gerechnet, wobei ca. dreiviertel dieses Sektor durch den Einsatz von Filtern in der Wasseraufberei-

[46] Das Unternehmen heißt „Oxonica“ (www.oxonica.com)
[47] Es sind: Cap-XX (http://www.cap-xx.com/): das Unternehmen stellt Energiespeichermedien her; ItN Nanovation AG (www.itn-nanovation.com): das Unternehmen spezialisiert sich auf Filtersysteme; Catalytic Solutions Inc (http://www.catalyticsolutions.com/): es stellt Materialien für Katalysatoren her.

tung abgedeckt werden. Der Rest wird in den Bereichen Nahrungsindustrie, der Pharmazeutischen Industrie sowie sonstigen erwirtschaftet. Der prognostizierte Umsatz steigt von 89,1 Mio. (2006) über 97,5 Mio. Ende 2007 auf bis zu 310, 5 Mio. US-$ im Jahre 2012. (BCC 2007b)

Neben den genannten direkten Innovationen im Umwelttechnikbereich, gibt es auch Umweltentlastungseffekte die durch die Anwendung von Nanopartikeln in anderen Bereichen erzielt werden. Die Umweltentlastung durch geringere Reinigungszyklen von nanobeschichteten Materialien, sowie Gewichtseinsparung durch Einsatz von Nanolacken, welche aufgrund ihrer Nanostruktur besseren Schutz bei einer geringeren Lackschicht aufweisen, sowie den Einsatz von Nanoverbundstoffen (Carbon-Nano-Tubes) sollen hier beispielhaft erwähnt werden.

6.3 Prognosen des Umweltwirtschaftsmarktes

6.3.1 Bestandsaufnahme

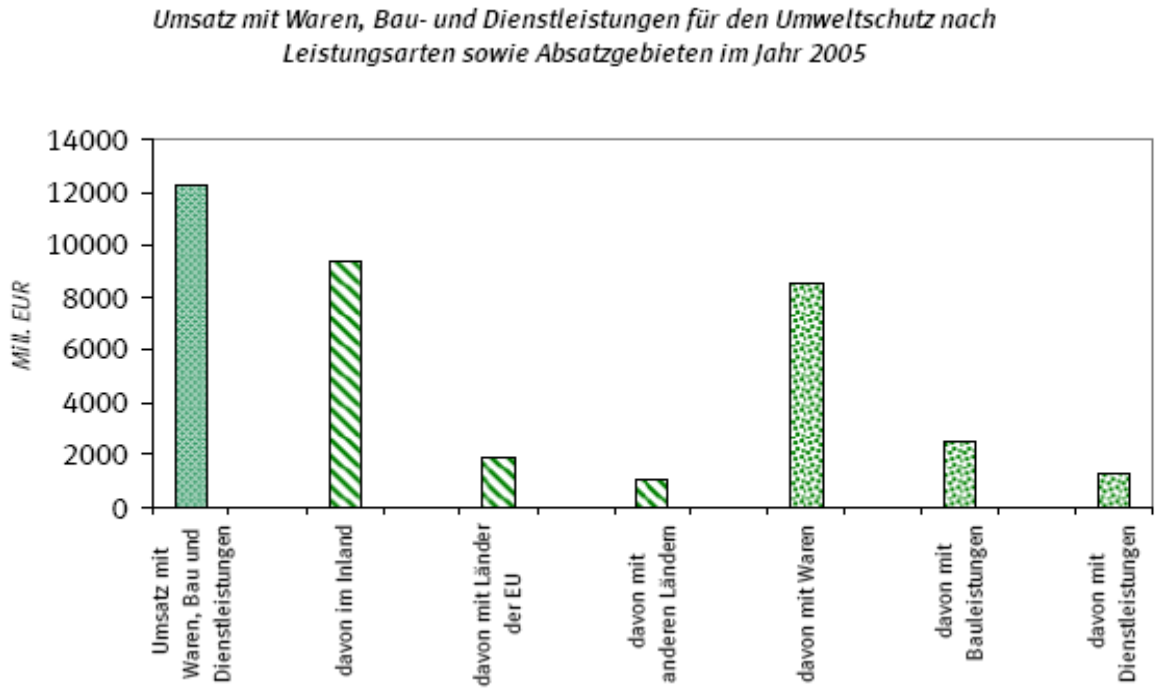
6.3.1.1 Inland

Bereits seit den 1970er Jahren wachsen die Umsätze auf den Umweltmärkten kontinuierlich (Blien et al. 2000). Weil Umwelttechnik eine „typische Querschnittstechnologie [ist], die weder einem technologischen Kernbereich, noch einer Branche eindeutig zugeordnet werden kann“ (Legler et al. 2006, S. 15), können Zahlen über den Umfang der Umwelttechnikmärkte nicht einer amtlichen Statistik entnommen werden, sondern müssen in mehr oder weniger komplexen Verfahren geschätzt werden. Entsprechend kursieren unterschiedliche Einschätzungen, die sich auf Grund der unterschiedlichen Abgrenzung der Branchen, die zum Umweltschutz gehören, unterscheiden.

Einen sehr engen Ansatz wählt das Statistische Bundesamt. Es befragt im Rahmen der Erhebungen zur ökonomischen Bedeutung des Umweltschutzes Unternehmen nach ihrem Umsatz mit Waren, Bau und Dienstleistungen, die *ausschließlich* dem Umweltschutz dienen. Nach Angaben der Statistiker handelt es sich in Deutschland dabei um weniger als 5000 Unternehmen, sodass alle Unternehmen befragt werden (im Berichtsjahr 2005 waren es 4098 Einheiten, vgl. Statistisches Bundesamt 2007, S. 15).

Für das Jahr 2005 ermittelten die Statistiker einen Gesamtumsatz von 12 Milliarden Euro (Abbildung 101).

Abbildung 101: Umatz mit Waren, Bau- und Dienstleistungen für den Umweltschutz nach Leistungsarten



(**Quelle: Statistisches Bundesamt 2007, S. 7)**

Rund 70% des Umsatzes wurden mit Waren erwirtschaftet, rund 20% mit Bauleistungen und etwa 10% mit Dienstleistungen. Großteil dieses Umsatzes mit Gütern, die ausschließlich dem Umweltschutz dienen, erwirtschafteten die Unternehmen im Inland (76%), ein Viertel (24%) stammte aus Exporten.

Wenn man die Umweltbereiche betrachtet, in denen die Umsätze mit ausschließlich dem Umweltschutz dienenden Gütern erwirtschaftet wurden, so nehmen die Bereiche Gewässerschutz (37%) und Luftreinhaltung (32%) die größten Umsatzanteile ein (Abbildung 102).

Abbildung 102: Umsatz für den Umweltschutz insgesamt nach Umweltbereichen

(Quelle: Statistisches Bundesamt 2007, S. 12)

Die Erhebungen des Statistischen Bundesamtes sind sehr eng in dem Sinne, als sie sich auf eine Liste von Waren, Bau- und Dienstleistungen konzentrieren, die ausschließlich dem Umweltschutz dienen[48]. Dabei handelt es sich überweigend um additive Umweltschutztechnik, die integrierten Technologien werden durch diese Erhebungen kaum erfasst, also zum Beispiel Solaranlagen[49].

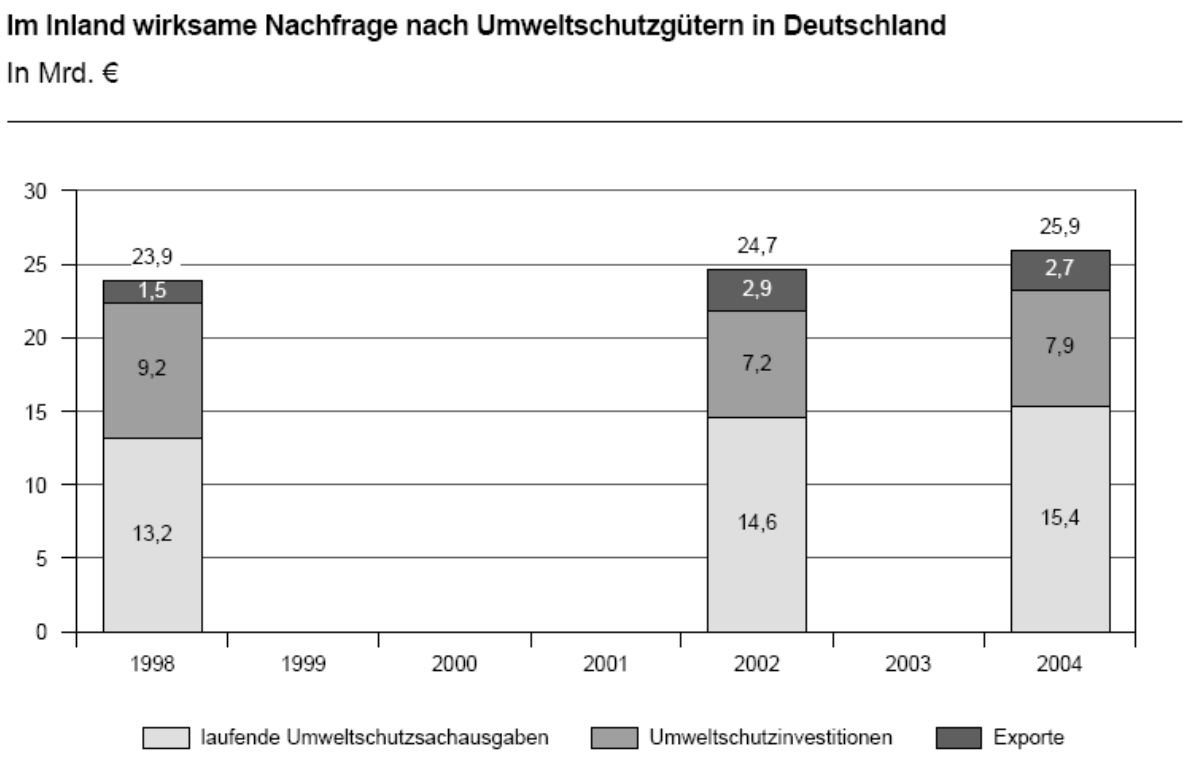
Einen anderen Ansatz wählt das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung (DIW). Ausgehend von der OECD-Klassifizierung der umwelt- und ressourcenschutzrelevanten Tätigkeiten (vgl. Abbildung 103) versucht man, eine im Inland wirksame Nachfrage nach Umweltschutzgütern zu ermitteln. „Die Umweltschutznachfrage besteht aus Gütern,

- die für den Umweltschutz investiert werden (Umweltschutzinvestitionen),
- die zum Betrieb von Umweltschutzanlagen benötigt werden (Umweltschutzaufwendungen)
- die aus dem Ausland nachgefragt werden (Auslandsnachfrage nach Umweltschutzgütern)“ (Edler und Blazejczak 2006, S. 7).

Für das Jahr 2004 schätzten die Autoren eine Nachfrage in Höhe von rund 26 Milliarden Euro (Abbildung 103):

[48] Die genaue Auflistung der Waren, Bau- und Dienstleistungen, die vom Statistischen Bundesamt als ausschließlich dem Umweltschutz dienend anerkannt werden, findet sich im Anhang jeder Fachserie, vgl. z.B. Statistisches Bundesamt 2007, Anhang Erhebungsformulare.
[49] zur Kritik vgl. Legler et al. 2006, S. 24f.

Abbildung 103: Im Inland wirksame Nachfrage nach Umweltschutzgütern in Deutschland



(**Quelle: BMU 2007a, S. 41)**

Den größten Teil (60%) nehmen dabei Umweltschutzaufwendungen ein, 30% entfallen auf Investitionen im Inland und 10% der Nachfrage stammt aus dem Ausland. Seit 1998 nahm die Nachfrage um 2 Milliarden zu.

6.3.1.2 Weltmarkt

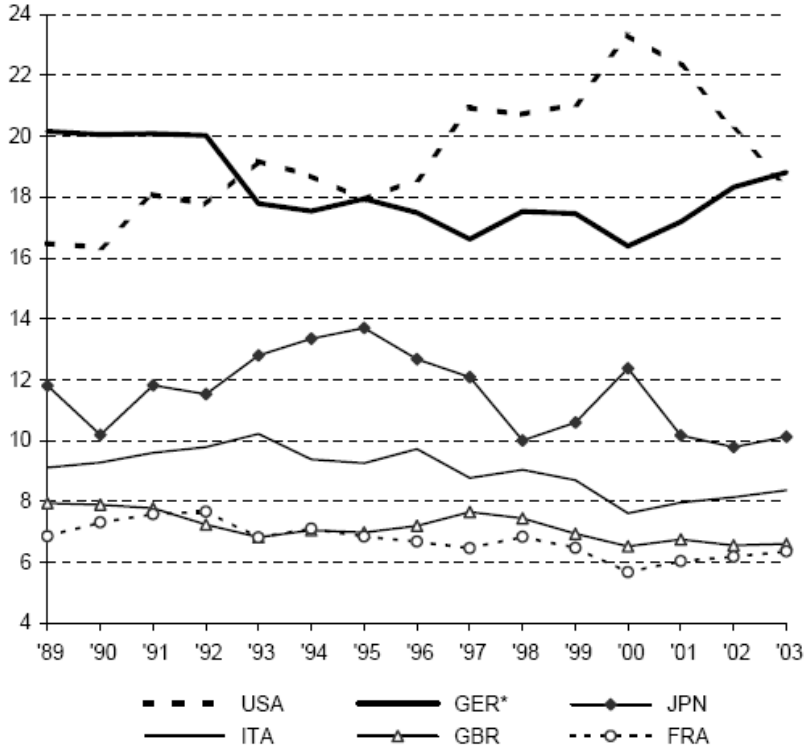
Die Angaben über die Größe des Weltmarktes und über den Anteil der deutschen Unternehmen daran variieren ebenfalls in Abhängigkeit vom gewählten Verständnis der Umweltschutzmärkte. Nach dem engen Ansatz des Statistischen Bundesamtes betrugen die deutschen Exporte von Umweltschutzgütern im Jahr 2004 2,7 Milliarden Euro (UBA 2007a, S. 43). Einen umfassenderen Ansatz wählten Legler et al. (2006), um die internationale Wettbewerbsposition deutscher Umweltschutzunternehmen einzuschätzen. Ihren Ansatz bezeichnen die Autoren als „potenzialorientiert“ (Legler et al. 2006, S. 17f.): Sie wollen nicht nur Güter, die ausschließlich dem Umweltschutz dienen, berücksichtigen, sondern auch so genannte „dual use“-Güter, also Güter, die ihrer Art nach dem Umweltschutz dienen können, aber auch für andere Zwecke eingesetzt werden können[50]. Nach einer Aktualisierung der von Legler et

[50] Beispiele sind: Pumpen, Leitungen, Mess- und Regelgeräte etc.

al. (2006) vorgeschlagenen Methode für das Jahr 2004, haben deutsche Unternehmen in diesem Jahr potenziell dem Umweltschutz dienende Güter im Wert von 42 Mrd. Euro exportiert (UBA 2007a, S.42). Wenn man davon ausgeht, dass ca. 33% der potenziellen Umweltschutzgüter tatsächlich im Umweltschutzbereich eingesetzt wird[51], ergibt sich ein Exportvolumen von 14 Milliarden Euro für das Jahr 2004.

Den Weltmarktanteil deutscher Unternehmen am Handel mit potenziellen Umweltschutzgütern[52] schätzen Legler et al. (2006) für das Jahr 2003 auf 19% am Welthandel der OECD-Länder. Dies entsprach in etwa dem Anteil der USA (18%), und ist mehr als der Anteil Japans (10%) (Abbildung 104).

Abbildung 104: Welthandelsanteile von potenziellen Umweltschutzgütern 1989-2003[53]



(Quelle: Legler et al. 2006, S. 42)

Entsprechend ergibt sich ein Weltmarktvolumen von potenziell dem Umweltschutz dienenden Gütern von 231 Milliarden Euro (UBA 2007a, S. 42) und ein tatsächliches Weltmarktvolumen von 77 Milliarden Euro[54].

[51] Zur Diskussion dieser Zahl vgl. Legler et al. 2006, UBA 2007a.

[52] Zu „potenziellen Umweltschutzgütern" gehören auch so genannte „dual use"-Waren, also Waren wie Pumpen, Leitungen, die nicht ausschließlich den Umweltschutzzwecken dienen können. Zur Problematik in der Abgrenzung vgl. Legler et al. 2006, S. 17

[53] Welthandelsanteile sind Anteile der Ausfuhren eines Landes an den Ausfuhren der OECD-Länder insgesamt (es wird geschätzt, dass der Handel innerhalb der OECD-Länder 93% des weltweiten Handels ausmacht).

[54] Wenn unterstellt wird, dass 33% der potenziellen Umweltschutzgüter tatsächlich im Umweltschutzbereich eingesetzt werden.

Ein noch weiteres Verständnis von Umwelttechnik und entsprechend auch von Umweltschutzmärkten unterstellen die Autoren der UBA 2007b-Studie. Dazu zählen die Autoren die Bereiche Energieerzeugung, Energieeffizienz, Rohstoff- und Materialeffizienz, nachhaltige Wasserwirtschaft, nachhaltige Mobilität und Kreislaufwirtschaft, die im Jahr 2005 ein Weltmarktvolumen von rund 1.000 Milliarden Euro erwirtschafteten (UBA 2007b S. 18). Der Unterschied in den Zahlen resultiert daraus, dass Legler et al. Güter, bei denen der tatsächliche Bezug zum Umwelt- bzw. Klimaschutz schwach ausgeprägt ist, die lediglich ein hohes Potenzial aufweisen, nicht berücksichtigt. Zu solchen Gütern gehören beispielsweise Güter der Mobilität (Verbesserung der Effizienz der Motoren) (Legler et al. 2006, S. 22). Die Autoren der UBA 2007b-Studie ziehen hingegen ausdrücklich Bereiche der Mobilität mit in die Betrachtung ein.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Angaben bezüglich der Marktvolumina bezüglich der Umweltschutztechnik je nach unterstelltem Verständnis variieren. Für den Inlandsmarkt liegen die Schätzungen zwischen 12 und 26 Milliarden Euro. Exporte werden in einem Bereich zwischen 2,7 und 42 Milliarden Euro geschätzt. Für die Größe des Weltmarktes werden Zahlen zwischen 77 und 1.000 Milliarden Euro genannt.

6.3.2 Dynamiken

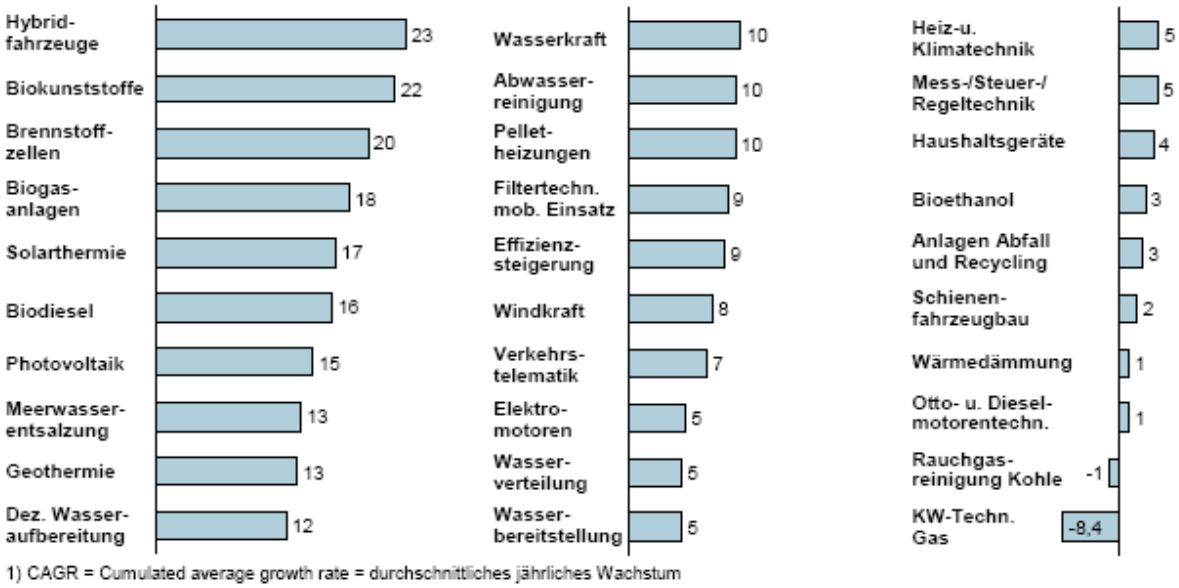
Die integrierten und additiven Umwelttechnologien werden voraussichtlich unterschiedlichen Dynamiken unterliegen. Nach Schätzungen von Horbach (2003) sind die Inlandsmärkte für additive Umwelttechnik (das sind insbesondere Luftreinhaltung, Abwasserreinhaltung und Abwasserbeseitigung) inzwischen gesättigt. Deswegen sind dort im Inland keine Wachstumschancen zu erkennen. Anders sieht es dagegen auf den Märkten für integrierte Umwelttechnik (z.B. Mess-, Analyse- und Regeltechnik) aus. In diesem Bereich stellte Horbach (2003) überdurchschnittlich hohe Innovationstätigkeit fest (S. 296), was auf hohe Dynamik dieser Märkte hindeutet.

Die Dynamiken auf den Umweltmärkten werden einen Auftrieb auf Grund der veränderten Wahrnehmung der Gefahren des Klimawandels erfahren. So konnte nach einer Umfrage im Sommer 2007 die Mehrheit der Bevölkerung Deutschlands sich vorstellen, durch ein verändertes Verhalten einen aktiven Betrag zum Klimaschutz zu leisten (Berenberg Bank und HWWI 2007). Man spricht von der Notwendigkeit einer „dritten industriellen Revolution“, die einem Durchbruch von Umweltschutztechnologien („GreenTech“) verhelfen soll, um die Folgen des Klimawandels abzumildern[55].

[55] vgl. beispielsweise das Vorwort von Umweltminister Gabriel in BMU 2007

Nach Projektionen von UBA 2007b werden Weltmärkte für Umwelttechnologien bis zum Jahr 2020 insgesamt mit einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 5,4% wachsen. Ihre Projektionen basieren im Wesentlichen auf telefonischen Umfragen von Experten. Die höchsten Erwartungen sprechen die Autoren Hybridfahrzeugen, Biokunststoffen und Biogasanlagen zu (vgl. Abbildung 105).

Abbildung 105: Erwartete durchschnittliche jährliche Wachstumsraten in Umwelttechnikbereichen



(Quelle: UBA 2007b, S. 20)

Noch optimistischer sind die Prognosen bezüglich des Wachstums der so genannten „GreenTech"-Märkten, also Märkten, auf denen Technologien gehandelt werden, die der Emissionsreduzierung dienen. Schätzungen von Berenberg Bank und HWWI ergeben, dass der Markt für „GreenTech" mit einer Rate von 8% doppelt so stark wie die Rate der Weltwirtschaft wachsen kann (Berenberg Bank und HWWI 2007, S. 51).

Die erwarteten Wachstumsraten auf Umwelttechnikmärkten werden aber voraussichtlich nicht gleichmäßig allen Umwelttechnologien zugute kommen. Vielmehr werden einige Umwelttechnologien sich besonders dynamisch entwickeln, während andere unterdurchschnittlich schnell wachsen werden. Als Leitmärkte, also Märkte, auf denen eine besonders hohe ökonomische Dynamik erwartet wird, werden folgende Bereiche betrachtet:

- *Umweltfreundliche Energieerzeugung*

Damit sind insbesondere Märkte für regenerative- und CO_2-neutrale Energiequellen gemeint. Die EU strebt an, bis zum Jahr 2020 einen Anteil von 20% CO_2-neutraler Energie an der Primärenergiegewinnung zu erreichen, die VR China hat das Ziel von 15% (Berenberg Bank und HWWI 2007). Roland Berger prognostiziert ein jährliches Wachstum in Bereich

der Solarthermie von 23%, Photovoltaik von 20%, Windkraft von 9% und Brennstoffzellen von 20% (BMU 2007).

- *Energieeffizienz*

  Darunter fallen Technologien, die zu einer effizienteren Verwendung des Energieeinsatzes führen. Besonders relevant sind diese Technologien im Baubereich (Wärmedämmung), Mess-, Steuer- und Regeltechnik, Elektromotoren und Haushaltsgeräte (Berenberg Bank und HWWI 2007, BMU 2007). BMU (2007) schätzt, dass das Volumen dieser Märkte sich von 450 Mrd. Euro im Jahr 2005 auf 900 Mrd. Euro im Jahr 2020 verdoppeln wird.

- *Rohstoff- und Materialeffizienz*

  Märkten, auf denen Materialien gehandelt werden, die aus nachwachsenden Rohstoffen bzw. mit geringem Ressourceneinsatz hergestellt werden, wird ein hohes Wachstumspotenzial zugesprochen. Beispielsweise schätzt das BMU die jährliche Wachstumsrate von Biokunststoffen auf 22%, die von Arzneipflanzen und Biokosmetik auf 11% (BMU 2007). Nicht zu vernachlässigen sind die Einsparungen in den traditionellen Branchen wie Chemieindustrie, Anlagenbau oder Metallbranche. Das technische Einsparpotenzial durch Materialeinsparungen wird auf 27 Mrd. Euro jährlich geschätzt (BMU 2007).

- *Kreislaufwirtschaft*

  Der Markt für Anlagen für Abfall und Recycling soll bis zum Jahr 2020 jährlich um 3% wachsen, der Markt für Technologien zur automatischen Stofftrennung um 15% (BMU 2007).

- *Nachhaltige Wasserwirtschaft*

  Besonders stark sind deutsche Unternehmen in Bereichen der Meerwasser-Entsalzung, bei der Abwasserbehandlung, dezentralem Wassermanagement, bei der Entwicklung von Techniken zur effizienten Nutzung von Wasser. Heute wird das jährliche Weltmarktvolumen auf circa 190 Mrd. Euro geschätzt und in allen diesen Bereichen soll es bis zum Jahr 2020 mit jährlichen Wachstumsraten zwischen 5% und 15% auf ein Volumen von 480 Mrd. Euro wachsen (UBA 2007b, S. 20). Beispielsweise werden die Märkte für Membrantechnologien, zu denen insbesondere auch für Membranen für Nanofiltration gehören, voraussichtlich mit 10% jährlich wachsen (UBA 2007b, S. 141).

- *Nachhaltige Mobilität*

  Da Zukunftsprojektionen darauf hindeuten, dass die Mobilität bis zum Jahr 2020 ansteigen wird, wird auch die Nachfrage nach umweltfreundlichen Transportmethoden zu-

nehmen. So schätzt das BMU, dass der Markt für Biodiesel um 20% jährlich, der Markt für Dieselpartikelfilter um 27%, der für Hybridfahrzeuge um 22% und für die Verkehrstelematik um 7% wachsen wird (BMU 2007). Allerdings sind die Markvolumina vergleichsweise klein.

In fast allen der genannten Umwelttechnikmärkte finden sich direkte oder indirekte Bezüge zu nanotechnologischen Produkten und Verfahren der Nanotechnologie, die sehr wahrscheinlich vom Wachstum der Umweltmärkte profitieren werden. In den Bereich umweltfreundlicher Energiegewinnung fallen bspw. Solarzellen, die zu den bisher schon weit fortgeschrittenen und weiterhin vielversprechenden Anwendungen der Nanotechnologie zählen (anorganische Dünnschicht-, Farbstoff- und organische Solarzellen). Erst mittel- bis langfristig wird der Durchbruch der Brennstoffzellentechnologie erwartet. Jedoch kann auch hier die Nanotechnologie als „enabling technology“ wirken (nanoporöse Wasserstoffspeicher, nanostrukturierte Ionentransportmembranen).

Im Bereich Energieeffizienz gibt es ebenfalls nanotechnologische Anwendungen mit hohem Potenzial (BMU 2007, S. 68): Nanoschäume und nanoporöse Aerogele (Wärmedämmung), Leuchtdioden (sind bereits erfolgreich am Markt eingeführt), Treibstoffeffizienz durch Nanoadditive und (längerfristig) Kohlenstoffröhren basierte Bildschirmtechnologien.

Im Bereich Rohstoff- und Materialeffizienz kann die Nanotechnologie grundsätzlich aufgrund der Miniaturisierung (Nanoschichten, Nanodevices) einen entscheidenden Beitrag leisten). Ebenso existieren Anwendungen für die Bereiche Wasserwirtschaft (nanoporöse Filter, Nanopartikel; BMU 2007, S. 127) und Mobilität (Nanotechnologie basierte Batterien, Brennstoffzelle, Solarzellen, Leichtbau, Abgaskatalysatoren; BMU 2007, S. 145).

6.4 Fazit

Die Entwicklung der Umweltmärkte wird mittlerweile durchgängig als positiv bis sehr positiv bewertet. Vor allem in den Bereichen Energie und Wasser werden erhebliche Wachstumspotenziale vorhergesagt. Die Erwartungen im Hinblick auf Energie speisen sich vor allem aus den aktuellen Preisentwicklungen auf den Energiemärkten und den zu erwartenden Klimapolitiken (u.a. Zertifikatehandel und Effizienzorientierungen). Im Bereich Wasser sind es insbesondere die globale Entwicklungen der Wasserknappheit, die zumindest erwarten lässt, dass entsprechende internationale Aktivitäten initiiert werden, um diesem Problemen zu begegnen. Wie die Abbildung 105 verdeutlicht, werden in den energie- und wasserrelevanten Umwelttechnikbereichen weit überdurchschnittliche Wachstumsraten erwartet. Zwar kommt diese Studie nicht zu dem Ergebnis, dass Nanotechnologien in den unterschiedlichen Tech-

nikbereichen kurzfristig wesentliche Entwicklungsimpulse geben können, gleichwohl ist zu erwarten, dass die entsprechenden Wachstumsraten in den genannten Feldern in Verbindung mit den aufgezeigten Möglichkeiten zu einem Entwicklungsschub der Nanotechnologien führen werden und damit die Markt- aber auch die umweltentlastende Relevanz der Nanotechnologien erhöhen wird. Dementsprechend sind geeignete Förderstrategien erforderlich um die relevanten Umweltmarktpotenziale zu erschließen.

7 Vertiefungsstudien

Im Rahmen der schriftlichen Befragungen der Nanotechnologieunternehmen wie auch im Rahmen der Literaturanalysen wurde deutlich, dass gegenwärtig vor allem Bereiche wie neue Materialien, Oberflächen aber auch Katalyse und Membranen die zentralen umweltrelevanten Bereiche der Anwendung der Nanotechnologien darstellen. Im Rahmen von Kurzfallstudien werden in der Folge die Bereiche Katalyse und Oberflächen behandelt. Dies mit dem Ziel wesentliche Entwicklungslinien aufzuzeigen und die NRW Relevanz aufzuzeigen. Diese Kurzfallstudien sind gleichwohl von begrenzter Reichweite, da einerseits die FuE-Aktivitäten in den jeweiligen Feldern hochgradig heterogen sind, andererseits unklar ist welche FuE-Aktivitäten letztlich marktrelevant sein werden.

7.1 Katalyse

7.1.1 Einleitung

In gewisser Weise stellt der Begriff „Nanokatalyse“ ein Pleonasmus dar (Henry 2008). Denn katalytische Prozesse laufen grundsätzlich an den Grenzflächen zwischen dem Katalysator und dem umzuwandelnden Stoff oder sogar zwischen nur zwei Molekülen ab – in beiden Fällen also in räumlichen Dimensionen von wenigen oder sogar unterhalb eines Nanometers. Daher könnte jeder katalytische Prozess bzw. jeder Katalysator auch als „Nanotechnologie/-technik“ und die Erforschung derselben als „Nanowissenschaft“ bezeichnet werden.

Was jedoch aktuell unter dem Begriff „Nanokatalyse“ (Englisch: „nanocatalysis“) beschrieben und verstanden wird (ausführlich und umfassend in Heiz/Landmann 2008), bezieht nicht nur auf den katalytischen Prozess und die daran beteiligten Stoffe/Materialien, sondern auch und vor allem auf die sich herausbildenden und wachsenden Möglichkeiten, diese Prozesse und Stoffe/Materialien in räumlichen Dimensionen unter 100 Nanometern (teilweise deutlich darunter) gezielt technisch zu beeinflussen und zu verstehen.

Einen weiteren Grund, die räumliche Dimension im Zusammenhang mit der Katalyse zu betonen, bildet die Tatsache, dass bestimmte Stoffe, wenn sie in nur einige Nanometer großen Partikeln oder Schichten vorliegen – und zwar nur dann – katalytisch wirken. Ein in jüngerer Zeit sehr prominentes Beispiel hierfür bildet Gold, das in größeren Strukturen (als „bulk material“) inert, also chemisch nicht reaktiv ist (und gerade deshalb in vielen Bereichen von besonderem Wert), als Nanopartikel/-cluster aber erstaunlich gut als Katalysator fungiert (Bernhardt et al. 2008, S. 105ff; Carabineiro/Thompson 2008).

Es macht also durchaus Sinn, innerhalb des großen Feldes der Katalyse den Unterbereich „Nanokatalyse“ – verstanden als „the science of the synthesis and in situ characterization of supramolecular materials and the control of the kinetics of their chemical transformations” (Schlögl/Abd Hamid 2004, S. 1631) – abzugrenzen und als eigenständiges Forschungsgebiet in der Schnittmenge zwischen Katalyseforschung und Nanotechnologie zu behandeln.

7.1.2 Katalyse

7.1.2.1 Definition

Als „Katalyse“ wird in der Chemie ein chemischer Prozess bezeichnet, bei welchem ein Katalysator im Reaktionsverlauf eingesetzt wird. Ein „Katalysator“ ist dabei „ein Stoff, dessen Anwesenheit die Geschwindigkeit einer Reaktion erhöht, ohne dass er selbst verbraucht wird; er kann nach der Reaktion zurückerhalten werden. […] Eine katalysierte Reaktion verläuft auf einem anderen Weg, d. h. mit einem anderen Mechanismus als die unkatalysierte Reaktion. […] Der Katalysator eröffnet einen neuen Weg für den Ablauf der Reaktion, bei dem insgesamt die Aktivierungsenergie niedriger ist.“ (Mortimer/Müller 2003, S. 263). Die große Bedeutung der Katalyse und mit ihr die von Katalysatoren rührt daher, dass viele Reaktionen ohne Katalyse so langsam oder nur unter solch hohen Drücken bzw. Temperaturen oder mithilfe von solch großen Mengen von Hilfsstoffen ablaufen würden, dass sie weder ökologisch noch ökonomisch sinnvoll wären.

Grundsätzlich wird bei der Katalyse zwischen homogener und heterogener unterschieden (ibid.). Ersteres ist der Fall, wenn Reaktanden und Katalysator in der selber Phase, also flüssig-flüssig, gasförmig-gasförmig oder fest-fest vorliegen. Letzteres ist gegeben, wenn sich Reaktanden und Katalysator in unterschiedlicher Phase, als fest-flüssig, fest-gasförmig, flüssig-gasförmig usw., befinden.

7.1.2.2 Bedeutung der Katalyse im Allgemeinen

Die Katalyse – und mit ihr die verwendeten Katalysatoren – spielen in der Chemie eine herausragende Rolle, da eine sehr große Anzahl chemischer Reaktionen ohne Katalysatoren nur unter sehr großem stofflichen, energetischen und verfahrenstechnischen Aufwand ablaufen würde. Entweder würden große Mengen des Edukts nur extrem langsam zu sehr kleinen Mengen des Produkts reagieren, oder es wären sehr hohe Temperaturen oder Drücke notwendig, um die Reaktion in technisch sinnvollen Geschwindigkeiten ablaufen zu lassen. Mitunter müssten ohne die Katalysatoren auch viele „Umwege“ über andere Reaktionen gegangen werden, um vom Ausgangsstoff zum gewünschten Zielstoff zu gelangen.

Katalysatoren ermöglichen aber nicht nur, chemische Reaktionen mit einem vertretbaren Aufwand überhaupt stattfinden zu lassen, sondern sie sorgen in vielen Fällen auch dafür, dass *vor allem* das gewünschte Produkt entsteht (Selektivität). Denn bei vielen Reaktionen, die ohne Katalysatoren ablaufen, entstehen eine Reihe unterschiedlicher Produkte, von denen aber meist nur eines gebraucht wird und alle anderen als Nebenprodukte anfallen und im schlimmsten Fall entsorgt werden müssen.

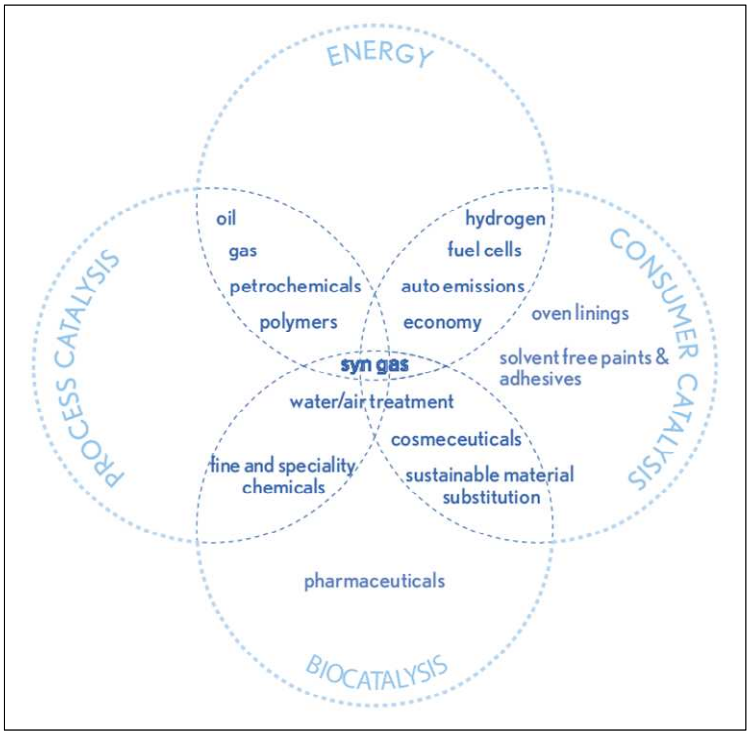
Die sehr große Bedeutung der Katalyse für die chemische Industrie spiegelt sich u. a. in der Tatsache wider, dass heute mehr als 80% aller chemisch-industriell erzeugter Produkte an irgendeiner Stelle ihres Herstellungsprozesses eine katalytische Reaktion durchlaufen haben (ConNeCat 2006).

Auch in der Natur spielt die Katalyse eine buchstäblich lebensnotwendige Rolle. Denn viele der chemischen Reaktionen, welche in Organismen stattfinden (müssen), würden auf direktem Wege sehr hohe Temperaturen, Drücke oder Hilfsreaktionen erfordern, die jedoch nicht bereitgestellt werden könnten oder den Organismus schädigen würden. Nur mithilfe von Katalysatoren – die biologischen Katalysatoren sind die Enzyme – können diese chemischen Reaktionen unter physiologischen Bedingungen, d. h. bei Umgebungs- oder Körpertemperatur und -druck sowie in wässrigem Milieu ablaufen.

7.1.2.3 Bedeutung der Katalyse für den Umwelt- und Ressourcenschutz

Wie bereits oben angedeutet, stellen katalytische Reaktionen vielfach die „elegantere“ Lösung dar: mehr und qualitativ bessere Zielstoffe können – im Gegensatz zum direkten Reaktionsweg – mit weniger Aufwand hergestellt werden. Weniger Aufwand heißt dabei meist niedrigere Temperaturen und Drücke, was zu einem tlw. deutlich geringeren Energiebedarf und damit zu Ressourceneinsparungen führt (ConNeCat 2007, S. 14f). Des Weiteren sind häufig weniger Zusatz- und Hilfsstoffe notwendig und es entstehen weniger Nebenprodukte, was wiederum direkte Ressourceneinsparungen und zudem weniger Abfall zur Folge hat (Sheldon 2007). Die herausgehobene Bedeutung der Katalyse auch und gerade für die Nachhaltigkeit in der Chemie sieht auch SusChem, die europäische Technologie-Plattform für nachhaltige Chemie, in starkem Maße gegeben, wie die folgende Abbildung (Abbildung 106) aus der 2005 erschienenen „Sustainable Chemistry Strategic Research Agenda“ der SusChem (SusChem 2005) deutlich macht.

Abbildung 106: Bedeutung der Katalyse, insbesondere für die Nachhaltigkeit



(Abbildung im Original mit dem Titel: „Catalysis– one of chemistry's most important and powerful technologies")[Quelle: SusChem 2005, S. 18]

7.1.2.4 Beispiele und Anwendungsfelder

Ein sehr breites Anwendungsfeld von Katalysatoren mit signifikanten Beiträgen zum Umwelt- und Ressourcenschutz bildet das Gebiet der Synthese organischer Verbindungen (bspw. Arisawa 2007; Kaneda et al. 2006; Luo et al. 2004; Seayad et al. 2002). Die Herstellung von Polymeren, welche unseren Alltag als so genannte Kunststoffe mittlerweile nahezu beherrschen, kann durch den Einsatz von Katalysatoren umweltfreundlicher und zudem ökonomischer erfolgen (ConNeCat 2006, S. 27ff).

Ein anderes, konkretes Beispiel aus der organischen (Fein-)Chemie stellt die Oxidation von Alkoholen zu Carbonyl-Verbindungen dar, wie sie bspw. für die Medikamentenherstellung, aber auch für landwirtschaftliche und Feinchemikalien (Kosmetika etc.) benötigt werden. In konventionellen Verfahren der direkten Oxidation kommen häufig toxische Stoffe (wie bspw. Schwermetalle) zum Einsatz oder es entstehen umweltschädliche Nebenprodukte (Matsumoto et al. 2008). Insbesondere metallische Katalysatoren, welche die Oxidation mithilfe von molekularem Sauerstoff (O_2) oder Wasserstoffperoxid (H_2O_2) erlauben, sind hier eine unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten deutlich bessere Alternative (ibid.). Dabei kann in bestimmten Verfahren auch auf die Verwendung von Lösungsmitteln und Co-Katalysatoren verzichtet werden, was ebenfalls einen positiven Umwelteffekt darstellt (Shi et al. 2007).

Mitunter können geeignete Katalysatoren auch die Substitution von toxischen oder in ihrer Herstellung sehr ressourcenintensiven Stoffen ermöglichen. So kann bspw. das hochgiftige Phosgen (Carbonylchlorid, $COCl_2$), welches der Herstellung von Polyurethan (PU) dient, durch das nicht toxische Dimethylkarbonat ersetzt werden, welches über Katalyse-Prozesse hergestellt wird (Thoen/Guillaume 2007, S. 206f). Von der weiteren Verbesserung des eingesetzten Katalysators hängt es maßgeblich ab, dieses alternative Verfahren zukünftig wettbewerbsfähig zu machen (ibid.).

Katalysatoren spielen ebenfalls eine entscheidende Rolle bei der Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen als Grundstoffe für die chemische Industrie. Nachwachsende Rohstoffe geraten zum einen aus Kostengründen mehr und mehr in den Blickwinkel der chemischen Industrie (ConNeCat 2006, S. 6ff). Zum anderen können sie potenziell Erdöl als Grundstoff ablösen und damit viele negative Umweltfolgen der Ölförderung (Landschaftszerstörung, Luft-, Boden- und Wasserverschmutzung), des Öltransports (Havarien auf See, Lecks in Ölpipelines) sowie der Ölnutzung (Emission von Treibhausgasen) vermeiden helfen. Zudem wird die zukünftige Verfügbarkeit von Erdöl derzeit auf nur einige wenige weitere Jahrzehnte geschätzt, so dass mittel- bis langfristig eine Notwendigkeit der Suche nach Alternativen besteht. Ein Beispiel für die wichtige Bedeutung von Katalysatoren bei der Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen in der chemischen Industrie ist die katalytische Umwandlung von pflanzlichen Fetten in Ausgangsstoffe für die Herstellung von Kunststoffen wie bspw. Nylon, Polyester (PE) oder Polyurethan (PU) (Thoen/Guillaume 2007, S. 212ff). Die hierbei verwendeten Katalysatoren bedürfen jedoch noch entscheidender Weiterentwicklungen, um wettbewerbsfähig zu werden (ibid.).

7.1.2.5 Katalyse in der Umwelt- („end-of-pipe“) und Energietechnik

Neben der Tatsache, dass chemische Reaktionen, wenn sie über Katalysatoren ablaufen, in der Regel einen geringeren Ressourcenverbrauch nach sich ziehen als direkte Reaktionen ohne Katalysator, können katalytische Prozesse auch direkt in der Umwelt- und Energietechnik eingesetzt werden. Das wahrscheinlich in der Öffentlichkeit prominenteste Beispiel hierfür ist der Katalysator zur Abgasreinigung, wie er millionenfach in Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren zum Einsatz kommt (Bell 2003) – die meisten Menschen denken wahrscheinlich bei dem Begriff „Katalysator“ zu allererst – und einige vielleicht auch ausschließlich – an das zylinderförmige Bauteil in der Auspuffanlage eines PKW, in welchem das giftige Kohlenmonoxid (CO), Stickstoffoxide (NO_x), die tlw. zum Treibhauseffekt sowie tlw. zum so genannten Sauren Regen beitragen, und schädliche Kohlenwasserstoffe (C_mH_n) zu Kohlendioxid (CO_2),

Wasser (H_2O) und molekularem Stickstoff (N_2) oxidiert bzw. reduziert werden. Den Namen hat der Abgaskatalysator im Auto (und in anderen Anwendungen) daher, dass in der Tat ein oder mehrere Stoffe, die im Katalysator fest verankert sind, die chemische Umwandlung der schädlichen Stoffe in weniger oder unschädliche Stoffe katalytisch bewerkstelligen. Die Katalysatoren werden dabei – qua Definition – nicht verbraucht, weswegen ein Abgaskatalysator, wie er in Fahrzeugen eingebaut ist, auch fast über die gesamte Lebensdauer des Fahrzeugs (ca. 100.000 km, häufig auch mehr) in Gebrauch sein kann.

Ein viel besprochenes Beispiel katalytischer Prozesse in der Luftreinhaltung bildet die photokatalytische – d h. eine durch künstliches oder natürliches Licht induzierte Katalyse – chemische Umwandlung von Luftschadstoffen in weniger oder unschädliche Stoffe. Ein Beispiel aus der Gruppe der Luftschadstoffe sind flüchtige organische Substanzen („volatile organic compounds – VOCs“). Diese liegen insbesondere in Innenräumen in tlw. gesundheitsgefährdenden Konzentrationen vor und entstammen vielfältigen Quellen wie bspw. Verbrennungsprozessen (Verkehr, Küche), Bürotechnik (Kopierer etc.) und Baumaterialien (Verkleidungen etc.) (Wang et al. 2007). Titandioxid (TiO_2) ist der mit Abstand meist verwendete Photokatalysator, aber auch andere Verbindungen wie bspw. Zinkoxid (ZnO) oder Eisen-III-Oxid (Fe_2O_3) finden häufiger Anwendung. Auch wenn die technischen Umsetzungen der Photokatalysatoren noch nicht ausgereift sind und auch die Unbedenklichkeit der photokatalytischen Reaktionsprodukte nicht immer unbedingt gegeben ist (ibid.; Reijnder 2008), stellen Photokatalysatoren eine insgesamt potenziell nachhaltige und ökonomisch sinnvolle Technik zur Luftreinhaltung dar.

Katalysatoren können auch bei der Dekontamination von industriellen Ab- oder natürlichen Gewässern eingesetzt werden. Ein Beispiel hierfür bildet die katalytische Hydrierung von Phenolen, was im Ergebnis zu weniger giftigen Substanzen führt, die dann in Standardverfahren behandelt oder sogar als Rohstoff rückgewonnen werden können (Richard et al 2005). Phenole sind giftig und weit verbreitete Wasserschadstoffe. Sie rühren aus einer Vielzahl unterschiedlicher Quellen her: Industrieabwässer (Chemie-, Papier-, Holzindustrie), Straßenbelag, Innenverkleidungen von Rohren (Teer), Pestizide und deren Zerfallsprodukte etc. (ibid.). Zwar gibt es bereits seit einiger Zeit wirksame Katalysatoren zur Dekontamination von Phenol-haltigen Wässern, allerdings weisen diese eine Reihe von Nachteilen auf (langsame Reaktionsgeschwindigkeiten, relativ hohe Drücke/Temperaturen notwendig). Neuartige Katalysatoren auf Basis von Rhutenium und Aktivkohle (Ru/C) sind hierbei eine vielversprechende Alternative mit hohen Detoxifikationsraten unter milden Bedingungen (niedrige Drücke/Temperaturen). (ibid.)

In der Energietechnik spielen Katalysatoren bspw. bei der Brennstoffzelle eine entscheidende Rolle. Die Oxidation von molekularem Wasserstoff (H_2), bei welcher die Strom erzeugenden Elektronen frei werden, geschieht in einer katalytischen Reaktion an der Anode der Zelle. Als Katalysatoren fungieren in der Regel Edelmetalle wie Platin oder Palladium.

Bei der Förderung von Erdöl sowie Erdgas werden gleichzeitig relativ große Mengen eines Begleitgases frei, für welches es jedoch aufgrund seiner Zusammensetzung keine Verwendung gibt. Es wird daher „abgefackelt" – die durchgängig brennenden Fackeln in der Nähe von Erdölförderstätten zeugen gut sichtbar von dieser Praxis. Neben der Tatsache, dass die Verbrennung des Begleitgases umweltschädlich (Luftschadstoffe, Treibhausgase) ist, wird auf diese Art und Weise eine wichtige und knapper werdende Energieressource vergeudet. Neue Katalysatoren sollen in Zukunft die Umwandlung dieses derzeit unnützen in ein nutzbares Gas ermöglichen (SusChem 2005, S. 18).

7.1.3 Nanokatalyse

7.1.3.1 Nanokatlyse als eigenständiges Forschungs-/Entwicklungs- und Anwendungsfeld

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, gibt es im Wesentlichen zwei direkte Bezüge zwischen Katalyse und Nanotechnologie, welche die Betrachtung eines Forschungs- und Entwicklungsfeldes „Nanokatalyse" rechtfertigen. Zum einen finden katalytische Reaktionen immer an Grenzflächen zwischen dem Katalysator und dem zu katalysierenden Ausgangsstoff, also in räumlichen Dimensionen von einigen oder sogar unterhalb eines Nanometers statt. Die gezielte Herstellung von Katalysatoren in nanopartikulärer oder nanoporöser Form erhöht also die für die Katalyse zur Verfügung stehende Fläche, an welcher die eigentliche katalytische Reaktion stattfindet, signifikant und trägt dadurch zu einer erhöhten Ausbeute pro eingesetzter Masse des Katalysators bei. Aber nicht nur die Größe der zur Verfügung stehenden Fläche ist entscheidend, sondern auch die Form, in welcher bspw. nanopartikuläre Katalysatoren vorliegen (Narayanan/El-Sayed 2008). Das gezielte Einstellen der Größe und Form sowie der Trägermaterialien (bei festen Katalysatoren in der heterogenen Katalyse) (Pacchioni 2008) kann zur Optimierung katalytischer Prozesse entscheidend beitragen. In gewisser Weise hat also die Katalyseforschung in ihrer seit jeher stattfindenden Auseinandersetzung mit kleinsten Strukturen und deren katalytischen Eigenschaften zur Entstehung dessen, was heute „Nanoscience" bzw. „Nanotechnology" genannt wird, beigetragen (in diesem Sinne auch Bell 2003).

Daneben gibt es Stoffe, welche ihre katalytischen Eigenschaften überhaupt erst dann zeigen, wenn sie in Strukturen der Größenordnung 10^1 Nanometer oder (tlw. deutlich) darunter vorliegen. Das derzeit populärste Beispiel hierfür ist Gold (Carabineiro/Thompson 2008).

Aber auch Stoffe, die als „bulk materials“, also auch in Strukturgrößen von Mikrometern und darüber, bereits katalytisch wirken, zeigen in nanopartikulärer Form signifikant höhere katalytische Umsetzraten oder eine erhöhte katalytische Selektivität (Thomas et al. 2003; für die Übergangsmetalle der Gruppen 8-10 siehe bspw. Zhu et al. 2008). Die Fähigkeit, durch Nanotechnologie solche Strukturen herzustellen, zu modifizieren, zu analysieren und zu beschreiben, ermöglicht also die Erschließung neuer katalytischer Verfahren und damit auch die Ablösung herkömmlicher Verfahren, welche oft mit höherem Aufwand und höheren Kosten verbunden sind (s. o.).

Seit mittlerweile über einem Jahrzehnt gibt es eine große und exponentiell wachsende Menge wissenschaftlicher Literatur (Zeitschriftenartikel), welche unter den beiden Stichworten „nano*“ und „catal*“ publiziert wird – im Zeitraum 1995-2005 hat sie sich nahezu versechzehnfacht (Zecchina et al. 2007). Dies zeigt die wachsende Bedeutung der Nanotechnologie auf die Katalyse sowie die Herausbildung und Verfestigung des Feldes „Nanokatalyse“.

Auch ökonomisch wird der Nanokatalyse eine große Zukunft vorausgesagt. So prognostizierte BCC Research (2004) das globale Marktvolumen von Nanokatalysatoren im Jahr 2004 auf 3,7 Mrd. US-Dollar. Ausgehend davon wurde ein jährliches Wachstum von durchschnittlich 6,3% und damit ein Markvolumen von 5 Mrd. US-Dollar für das Jahr 2009 vorausgesagt (ibid.).

7.1.3.2 Beispiele von Nanokatalysatoren und deren Anwendungen im Umweltbereich

Oben ist bereits die Photokatalyse von Titandioxid (TiO_2) sowie von anderen Metallen und Metalloxiden/Halbleitern erläutert worden. Wie bei anderen Katalysatormaterialien auch, lässt sich die katalytische Effizienz der Photokatalysatoren durch Nanostrukturierung signifikant erhöhen (Kamat 2007; Chang et al. 2003). Ein weiterer positiver Effekt der Miniaturisierung von katalytisch wirkenden Materialien auf die Größe einiger Nanometer ist, dass so mit der gleichen Masse des Katalysatormaterials weitaus größere Oberflächen geschaffen werden können und damit die katalytische Leistung stark erhöht werden kann. Insbesondere bei sehr seltenen und damit teuren Katalysatorstoffen wie bspw. den Metallen der Platin-Gruppe (PGM) – allen voran das sehr viel verwendete Platin (Pt) selbst – bedeutet dies einen großen ökonomischen Nutzen (vorausgesetzt, dass die Herstellung der Nanopartikel nicht zu aufwändig und teuer ist). Darüber hinaus kann so auch ein ökologischer Nutzen generiert werden, sind doch gerade viele katalytisch wirkende Edelmetalle (wie die PGM) in ihrer Gewinnung mit erheblichen negativen Umweltwirkungen (Landschaftszerstörung sowie Luft-, Boden- und Wasserverschmutzung durch Bergbauaktivitäten) verknüpft.

Eine weitere Anwendung von Photokatalysatoren, welche den Abbau von Schadstoffen in Gewässern erlaubt, bildet die Herstellung und Nutzung von Aerogelen auf Basis von Titanat (TiO_3) (Malinowska et al. 2005). Aerogele sind hochporöse Feststoffe, die zumeist in einem Sol-Gel-Prozess hergestellt werden. Ihre Porengröße bewegt sich im Nanometer-Bereich und der Feststoffanteil (stark verästelte und vernetzte Stoffketten) ist im Verhältnis zum Porenanteil äußerst klein. Damit weisen Aerogele eine extrem hohe innere Oberfläche pro Masseeinheit auf. Besteht nun der Feststoff des Aerogels aus katalytisch aktiven Substanzen, wie bspw. Titanat, ergibt sich ein hervorragendes Katalysatorsystem. Die Vorteile des Aerogels im Vergleich zu anderen Formen des Katalysatormaterials liegen u. a. im chemischen Syntheseprozess sowie in der Möglichkeit, Katalysatorsysteme mit maßgeschneiderten Eigenschaften (Dichte, Oberfläche, Porenvolumen) herzustellen (ibid.).

Eine besondere Gruppe nanostrukturierter Materialien, welche in der Katalyse zum Einsatz kommen und dabei häufig umweltfreundlichere Verfahren ermöglichen, sind die so genannten Zeolithe (Guisnet 2007). Der Begriff „Zeolith“ leitet sich von den griechischen Wörtern „zeo“, was soviel heißt wie „kochen“, und „lithos“ für „Stein“ ab, da natürlich vorkommende Zeolithe beim Erhitzen schäumen, wenn sie das in ihnen eingelagerte Wasser sprudelnd abgeben. Zeolithe sind Alumosilikate, deren Summenformel $M_{x/n}\,(AlO_2)_x\,(SiO_2)_y$ lautet, wobei n die Valenz von M (ein Kation oder Proton), $x + y$ die Anzahl der Tetraeder pro Grundeinheit (Zelle) und x/y das atomare Verhältnis zwischen Silizium (Si) und Aluminium (Al) darstellt. Siliziumoxid- (SiO_4) und Aluminiumoxidtetraeder (AlO_4^-) sind in den Zeolithen über ihre Sauerstoffatome (O) miteinander verbunden und bilden zusammen eine kristalline Struktur, aufgebaut aus Grundbausteinen – Zellen –, die sich gleichförmig wiederholen. (ibid.)

Die große Bedeutung der Zeolithe in der chemischen Industrie, insbesondere für die Katalyse (bspw. Chang et al. 2003), leitet sich dabei vor allem aus drei Eigenschaften der Zeolithe ab (Guisnet 2007): (1) Zeolithe weisen typischerweise Porendurchmesser von nur einigen wenigen Ångström (Längenmaß, Zeichen: Å, 1 Å = 0,1 nm) auf und sind damit kleiner als ein Nanometer. Dadurch besitzen sie eine enorm große innere Oberfläche pro Masseeinheit, was grundsätzlich katalytische Reaktionen, die stets an Ober- und Grenzflächen oder zwischen einzelnen Molekülen stattfinden (s. o.) begünstigt. (2) Zeolithe verfügen über eine sehr große Anzahl aktiver Reaktionsstätten, an denen katalytische und andere Reaktionen ablaufen können, d. h., der Zeolith selbst wirkt katalytisch. (3) Es existiert eine große Anzahl natürlicher und synthetischer Zeolithe, die darüber hinaus in vielfältiger Weise modifiziert werden können. Beispielsweise können gezielt katalytisch aktive Substanzen wie Metalle, Metalloxi-

de und andere Halbleiter in die Porenstruktur eingelagert werden (Chang et al. 2003), was zu einer sehr feinen und gleichmäßigen Verteilung sowie zu extrem kleinen Clustern dieser Katalysatoren führt (Guisnet 2007).

Besonders große Aufmerksamkeit kommt seit einiger Zeit nanopartikulärem Gold als Katalysator zu, so dass bereits eine größere Anzahl von Forschungsarbeiten hierzu vorliegt (Henry 2008). Die Ursache hierfür liegt vor allem darin, dass Gold (Au) als „bulk material", also in größeren Strukturen, inert ist, d. h nicht chemisch reaktiv. In nanopartikulärer Form hingegen wirkt Gold katalytisch und weist dabei Vorteile gegenüber anderen Reaktionsmechanismen aber auch gegenüber anderen Katalysatoren auf (Carabineiro/Thompson 2008). Diese katalytischen Effekte von Gold stellen sich jedoch erst in Größendimensionen ab 5 nm (abwärts) und meist deutlich darunter ein (Henry 2008).

Carabineiro und Thompson (2008) haben eine sehr aktuelle, detaillierte und umfangreiche Übersicht der vielfältigen (potenziellen) Anwendungen katalytischer Gold-Nanopartikel erstellt, welche im Folgenden stichwortartig zusammengefasst wiedergegeben werden soll (nach Carabineiro/Thompson 2008, S. 394ff):

1 *Umwandlung von Wasser (H_2O) und Kohlenmonoxid (CO) zu Kohlendioxid (CO_2) und Wasserstoff (H_2)*: Diese Reaktion ist zum einen interessant zur Erzeugung von Wasserstoff als alternativen Treibstoff mit deutlich besseren Umwelteigenschaften als Erdöl oder -gas. Des Weiteren findet diese Reaktion in klassischen Prozessen der Abgasreinigung statt, wobei das giftige CO oxidiert wird und der entstehende H_2 die meist ebenfalls im Abgas vorhanden Stickoxide (NO_x) reduziert. Im Gegensatz zu herkömmlichen Katalysatormaterialien (wie bspw. Nickel, Kupfer, Platin) hat Gold den Vorteil, bei niedrigeren Temperaturen katalytisch wirksam zu sein, geringere Vergiftungserscheinungen[56] zu zeigen und eine höhere Selektivität aufzuweisen.

2 *Synthese von Vinylacetat*: Als Zwischenprodukt in der Herstellung unterschiedlicher chemischer Produkte wie Farben, Klebstoffen und Beschichtungsmaterialien, ist Vinylacetat ein wichtiger Stoff der chemischen Industrie. Vinyacetat wird seit jeher in Katalyse hergestellt, wobei ein Palladium (Pd) auf Silizium (Si) Katalysator eingesetzt wird. Die Zugabe von Gold kann die Katalysatorleistung jedoch entscheidend verbessern.

3 *Hydrochlorierung von Acetylen*: Dieser Prozess dient der Herstellung des weit verbreiteten Kunststoffs Polyvinylchlorid (PVC). Auch die Hydrochlorierung von Acetylen erfolgt durch Katalyse. Herkömmliche Katalysatoren auf Basis von Quecksilber (Hg) und Ak-

[56] „Katalysatorgifte sind Substanzen, die die Wirksamkeit eines Katalysators unterbinden." (Mortimer/Müller 2003, S. 265)

tivkohle (C) weisen jedoch zwei entscheidende Nachteile auf: Zum einen werden sie schnell deaktiviert und zum anderen ist Hg sehr toxisch. Beide Nachteile können durch Nano-Gold-Katalysatoren stark abgemildert werden.

4 *Oxidation von Kohlenmonoxid*: Wie bereits oben beschrieben, kann Gold Kohlenmonoxid katalytisch zu -dioxid oxidieren, ein Prozess, der insbesondere in der Abgasreinigung eine große Bedeutung hat. Im Gegensatz konventionellen Katalysatoren (hauptsächlich Manganoxide [MnO_x] sowie Kupferoxid [CuO]) wirkt Nano-Gold auch in Gegenwart von Wasser und bei Raumtemperatur, was es zu einem aussichtsreichen Kandidaten für die CO-Oxidation im großen Maßstab macht.

5 *Selektive Oxidation sowie Hydrogenierung in der Synthese organischer Substanzen*: Wie weiter oben bereits erläutert, gibt es seit einiger Zeit Bestrebungen, die mitunter sehr ressourcenaufwändigen (hohe Temperaturen und Drücke, Lösungsmittel, Hilfsstoffe) und Schadstoffe bildenden Syntheseprozesse der industriellen organischen Chemie durch umweltfreundlichere zu ersetzen. Der Katalyse und mit ihr den Katalysatoren kommt dabei eine besondere Rolle zu. In diesem Zusammenhang konnte auch für nanopartikuläres Gold in einer ganzen Reihe von oxidativen sowie Hydrogenierung involvierenden Syntheseprozessen – die jedoch aus Kapazitätsgründen hier nicht im Detail aufgeführt werden können – nachgewiesen werden, dass es sehr gute katalytische Eigenschaften unter milden Reaktionsbedingungen (niedrige Drücke und Temperaturen, keine organischen Lösungsmittel etc.) besitzt.

6 *Formierung von Wasserstoffperoxid*: Wasserstoffperoxid (H_2O_2) kommt als starkes Oxidationsmittel in einer Reihe von chemischen Prozessen zum Einsatz*:* Herstellung von Bleichmitteln und (organischen) Peroxiden, als Antigeruchs- und Desinfektionsmittel sowie in Polymerisationsprozessen. Das derzeitig verbreitete Herstellungsverfahren von H_2O_2 ist nur ökonomisch tragfähig bei großen Produktionsvolumina. Da jedoch häufig nur kleinere Mengen gebraucht werden, der Transport von H_2O_2 jedoch aufgrund seiner sehr hohen Gefährlichkeit (ätzend, leicht brennbar und hochkonzentriert explosiv) aufwändig oder sogar verboten ist, besteht großer Bedarf nach einem alternativen Herstellungsverfahren. Nanopartikuläres Gold ist nun in der Lage, H_2 und O_2 katalytisch zu H_2O_2 reagieren zu lassen, wobei die Forschungen hierzu noch am Anfang stehen.

7 *Reduktion von Stickoxiden*: Wie ebenfalls bereits oben angesprochen, stellen Stickoxide (NO_x) bedeutende Luftschadstoffe dar, die zum größten Teil aus Verbrennungsprozessen fossiler Brennstoffe stammen. In der Atmosphäre regieren sie in Wasser zu Säuren (Saurer Regen) bzw. wirken als Treibhausgas (Klimawandel). In herkömmlichen Katalysato-

ren werden (u. a.) zur Reduktion von NO_x Rhodium (Rh), Platin (Pt) und Palladium (Pd) als katalytische Stoffe eingesetzt. Diese Katalysatoren sind bereits sehr effektiv, allerdings nur bei hohen Temperaturen. Da jedoch bei Autos das Abgas insbesondere in der Startphase noch nicht die für ein Funktionieren der Katalysatoren nötigen Temperaturen hat, wird nach alternativen Katalysatoren, die auch bei niedrigeren Temperaturen arbeiten, gesucht. Nano-Gold-Partikel zeigen hier – in Kombination mit anderen Materialien – gute Ergebnisse.

8 *Oxidative Zersetzung von Dioxinen und flüchtigen organischen Verbindungen*: Dioxine zählen zu den giftigsten Substanzen überhaupt. Sie entstehen vor allem in Verbrennungsprozessen und als Nebenprodukte in der Herstellung von Pestiziden und Herbiziden. Ebenfalls in Verbrennungsabgasen findet sich eine Reihe flüchtiger organischer Verbindungen (Englisch: „volatile organic compounds“, VOC), welche meist ebenfalls toxisch oder anderweitig umweltrelevant (Geruchsbelästigung) sind. Daher müssen sowohl Dioxine als auch VOC aus Abgasen entfernt werden. Heute angewendete – katalytische – Verfahren erfordern ebenfalls eine relativ hohe Temperatur des Abgases, was bei bestimmten Anlagen, in denen zuvor die Abgase als nützliche Abwärme abgeführt worden ist, ökonomisch und technisch nicht möglich ist. Untersuchungen mit nanopartikulärem Gold als Katalysatormaterial zeigen auch hier vielversprechende Ergebnisse.

9 *Katalytische Umsetzung von Kohlenwasserstoffen*: Bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe in Verbrennungsmotoren von Fahrzeugen und Maschinen sowie in Kraftwerken gelingt keine vollständige Umwandlung der Brennstoffe in Wasser (H_2O) und Kohlendioxid (CO_2), sondern es bleiben – neben den oben erwähnten Schadstoffen CO, NO_x, Dioxinen und VOC – auch Kohlenwasserstoffe wie bspw. Methan, Propan, Benzen u. v. a. m. im Abgas zurück. Diese stellen ebenfalls (Luft-)Schadstoffe dar und müssen im Katalysator zu CO_2 und H_2O umgesetzt werden. Hierzu existiert bereits eine ganze Reihe guter Katalysatormaterialien, die jedoch häufig weniger hohe katalytische Aktivitäten aufweisen als Gold.

10 *Zersetzung von Ozon*: Während das atmosphärische Ozon (O_3) die Erdoberfläche vor der sehr energiereichen und damit schädlichen ultravioletten Sonnenstrahlung (UV-Strahlung) schützt, hat bodennahes Ozon, welches bspw. bei der Reaktion von Stickstoffdioxid (NO_2) und Sauerstoff (O_2) entsteht, aufgrund seiner stark oxidierenden Wirkung Schadcharakter. In Innenräumen entsteht O_3 vor allem in Kopierern und Druckern, aber auch anderen elektronischen Geräten. Um Ozon aus der Raumluft zu entfernen, werden Filter mit Aktivkohle oder Zeolithen eingesetzt, an welche das O_3 bindet. Katalytische

Zersetzung kann bspw. mit silberhaltigen Katalysatoren erreicht werden, die jedoch anfällig für Feuchtigkeit sind. Nano-Gold zeigt ähnlich gute katalytische Aktivität wie Silber (Ag), ist jedoch stärker resistent gegen Feuchtigkeit.

11 *Katalytische Umsetzung von Schwefeloxiden*: Wie die meisten Stickoxide tragen auch Schwefeloxide (insb. SO_2 und SO_3) massiv zum Entstehen Sauren Regens bei. Sie werden ebenfalls in Verbrennungsprozessen fossiler Brennstoffe sowie Müll in Müllverbrennungsanlagen. Derzeit ist Titandioxid (TiO_2) der meistverwendete Katalysator zur Aufspaltung von SO_2/SO_3 in Wasser (H_2O)/Kohlendioxid (CO_2) und Schwefel (S). Eine Kombination von TiO_2 und Gold erzielt jedoch deutlich bessere Ergebnisse.

12 *Weitere Reaktionen unter Verwendung von Nano-Gold als Katalysator*: Neben den genannten wird derzeit eine Reihe weiterer Reaktionen auf die Verwendbarkeit von nanopartikulärem Gold als Katalysator untersucht. Hierzu zählen u. a. die Katalyse der so genannten Heck-Reaktion (eine Kupplungsreaktion in der organischen Synthese), Zyklisierung von Epoxiden sowie Karbonylierung von aliphatischen Aminen, Oligomerisation von Aminosäuren und eine Vielzahl weiterer organischer Reaktionen.

Es muss an dieser Stelle angemerkt werden, dass sich viele der genannten Beispiele zukünftiger Anwendungen von Gold-Nanopartikeln als Katalysatormaterial derzeit noch im Stadium früher Grundlagenforschung befinden und erst mittel- bis langfristig Marktreife erreichen werden. Da jedoch viele der genannten Anwendungen Bereiche betreffen, in denen der Nachfragedruck in Zukunft stark zunehmen wird – herausstechende Beispiele sind hier Gewinnung alternativer, nachhaltiger Brennstoffe (H_2), Maßnahmen zur Abgas-/Luftreinigung und -reinhaltung sowie die Nutzung nachwachsender Rohstoffe –, scheint es sehr wahrscheinlich, dass die nanokatalytischen Eigenschaften von Gold zukünftig eine wesentliche Rolle (nicht nur) in umweltrelevanten Technologiefeldern spielen werden. Letzteres gilt jedoch nur dann, wenn die Herstellung, Nutzung und Entsorgung von nanokatalytischen Materialien nicht neue und evtl. größere Nachhaltigkeitsnachteile als -vorteile generieren. Zumindest für die Herstellung von Gold-Nanopartikeln sind diesbezüglich Bedenken angebracht (Betts 2005).

Im Bereich der erneuerbaren Energiegewinnung identifiziert Kamat (2007) drei Hauptfelder, in denen Nanotechnologie einen entscheidenden Beitrag zur zukünftigen Energieversorgung leisten wird: (1) biomimetische molekulare Strukturen zum Auffangen und zur Nutzung von Photonen zur Bildung von elektrischen Ladungsträgern nach dem Vorbild der Photosynthese; (2) nanostrukturierte Halbleitermaterialien zur Produktion von elektrischem Strom in Solarzellen; sowie (3) nanostrukturierte Halbleiter-/Metallkomposite zur Herstellung von

Wasserstoff. Der letztgenannte Punkt involviert Photokatalysatoren, welche eine Licht induzierte Spaltung von Wasser (H_2O) in molekularen Wasserstoff (H_2) und molekularen Sauerstoff (O_2) ermöglichen. Wasserstoff gilt als ein möglicher – wenn aus regenerativen Quellen wie der Solarstrahlung gewonnen – nachhaltiger Treibstoff der Zukunft, der in Brennstoffzellen „kalt" mit Sauerstoff zu Wasser „verbrennt" und dabei elektrischen Strom produziert. Eine große Bandbreite photokatalytischer nanostrukturierter Materialien, die Wasser unter Lichteinwirkung zu Wasserstoff katalysieren, wird derzeit beforscht und entwickelt. Eine herausragende Rolle spielt dabei im Moment (noch) Titandioxid (Ti_2), aber eine Vielzahl weiterer Metalle, Metalloxide/Halbleiter und aus diesen bestehenden Kompositmaterialien werden intensiv untersucht (ibid.).

7.1.3.3 Fazit Nanokatalyse

Insgesamt kann die Rolle der Nanokatalyse – also der Nanotechnologie in der und für die Katalyse – als eine stetige Verbesserung von Katalysatoren und damit von katalytischen Prozessen beschrieben werden.[57] Zum jetzigen Zeitpunkt ist die Katalyseforschung noch weit davon entfernt zu verstehen und in der Folge zu beeinflussen, welche Prozesse auf atomarer/molekularer Ebene während der Katalyse wie stattfinden.[58] Folglich geschehen die Herstellung von Katalysatoren sowie die Optimierung von katalytischen Prozessen größtenteils noch empirisch in einem „trial-and-error"-Prozess und können noch nicht theoretisch hergeleitet und damit gezielt gesteuert erfolgen.[59] Dennoch trägt insbesondere die Nanokatalyseforschung dazu bei, das Verständnis katalytischer Prozesse im Allgemeinen sowie von Nanokatalysatoren im Besonderen deutlich zu erweitern und damit Möglichkeiten für die Entwicklung neuer und verbesserter Katalysatoren und die Optimierung katalytischer Prozesse zu schaffen. Vor dem Hintergrund der skizzierten Bedeutung der Katalyse, die sie heute bereits hat und die in Zukunft stark wachsen wird, stellt die Nanokatalyse einen wichtigen Teilbereich sowohl der Katalyse auf der einen als auch der Nanotechnologie auf der

[57] „This trend [die exponentiell wachsende Anzahl von wissenschaftlichen Publikationen zu ‚nano*' und ‚catal*'; *Anm. d. Aut.*] reflects the general nano-'mania'which affects all different fields of science, and is nicely testified by the title of the National Science Foundation Workshop on catalysis in 2003: 'Future directions in catalysis: structures that function on the nanoscale'. The overall guiding theme and grand challenge that emerged from the NSF Workshop was *the control of the composition and structure of catalytic materials over length scales from 1 nm to 1 µm to provide catalytic materials that accurately and efficiently control reaction pathways* [Hervorhebung nicht im Original; *Anm. d. Aut.*]." (Zecchina et al. 2007, S. 2442f)

[58] "The principal requirements of nanoscience are the control and determination of functional properties; these requirements are not met in present catalysis research. The preparation and functional characterization of 'nanocatalysts' is subject to wide variations of the relevant properties and is far from being controlled. Mastering multiple length scales in catalyst synthesis is even more poorly developed with zeolites being a prominent exception, at least in the mesoscopic size regime." (Schlögl/Hamid 2004, S. 1631)

[59] "Catalysts are currently 'prepared' rather than 'synthesized'. This means that empirical recipes are followed that do not describe the kinetic boundary conditions of the reactions performed. Each batch of material consequently must be characterized for their functional properties, which cannot be predicted." (Schlögl/Hamid 2004, S. 1631)

anderen Seite dar. Dies gilt auch und vor allem für die (Nano-)Katalyse als „enabler“ umwelt- und ressourcenschonender Produkte und Verfahren.

Einige der aufgeführten Beispiele zukünftiger nanokatalytischer Anwendungen, an denen derzeit mit Hochdruck geforscht wird, haben in gewisser Weise revolutionären Charakter – zu denken wäre hierbei an die Gewinnung alternativer, nachhaltiger Kraftstoffe oder die Nutzung nachwachsender Rohstoffe. Dieser wird sich jedoch erst mittel- bis langfristig entfalten können, da die wissenschaftlichen und technischen Herausforderungen, die jeweiligen Entwicklungen in marktfähige Produkte umzusetzen, enorm groß sind. Dieser Befund schmälert jedoch in keiner Weise das Potenzial, welches bestimmten nanokatalytischen Entwicklungen zugesprochen wird. Es verdeutlicht nur, dass die Realisierung wahrscheinlich eher in längerfristigen Zeithorizonten gelingen kann (Schlögl/Hamid 2004).

Im Gegensatz zu den revolutionären Innovationen, welche aus der Nanokatalyseforschung und -entwicklung zu erwarten sind, zeichnet sich eine große Zahl evolutionärer Verbesserungen bestehender katalytischer Systeme ab. In der Summe sind von diesen Verbesserungen auch große positive Umwelt- und Ressourceneffekte zu erwarten, angefangen bei der Steigerung der Effizienz von Katalysatormaterialien, über die Substitution von weniger umweltfreundlichen durch umweltfreundlichere Katalysatoren, bis hin zur Ermöglichung alternativer Prozesse mit besserer Nachhaltigkeitsbilanz.

7.1.4 Katalyseforschung und -entwicklung in NRW

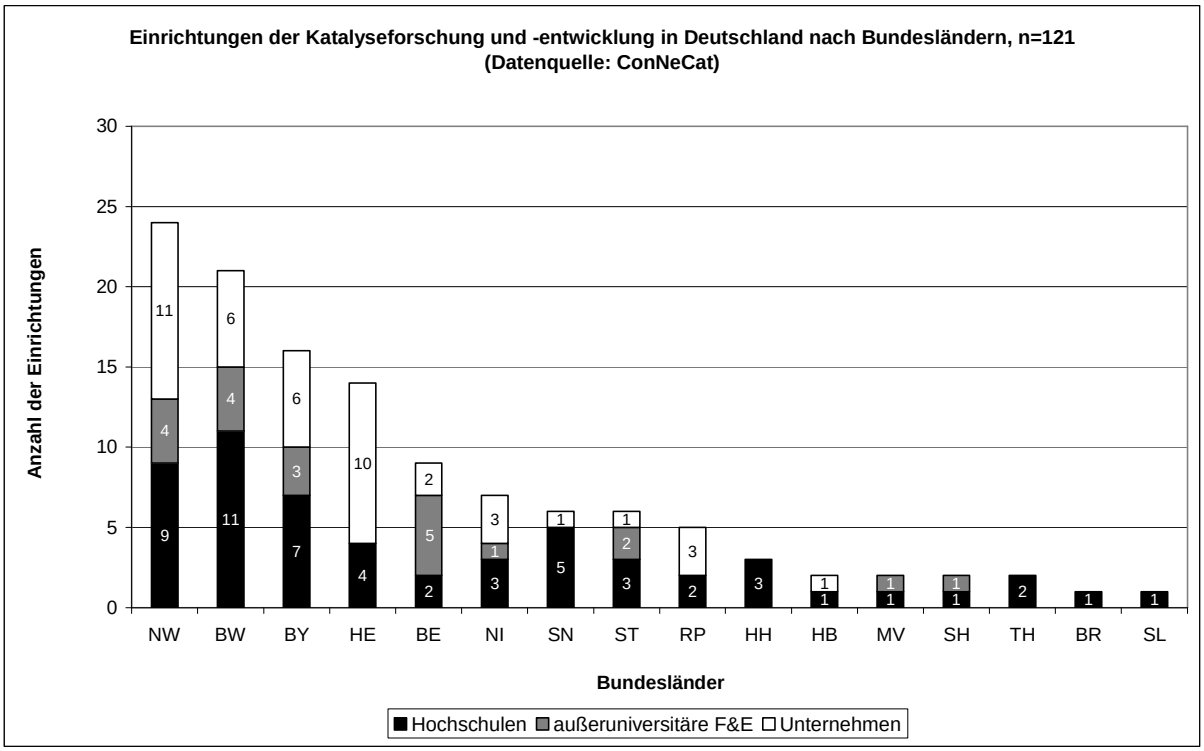
Ein Ziel der vorliegenden Vertiefungsstudie ist, neben der Beschreibung des Standes der Technik und der Herausforderungen, vor denen das Feld Nanokatalyse steht, die Stellung Nordrhein-Westfalens sowohl forschungsseitig als auch hinsichtlich dort ansässiger Unternehmen zu beschreiben sowie Stärken und Defizite aufzuzeigen und Handlungsempfehlungen abzuleiten. Dies stellt mithin eine nicht triviale Aufgabe dar. Denn, wie oben bereits ausführlich dargelegt wurde, bildet die Katalyse ein sehr breites und heterogenes Feld, welches sich kaum in seiner Gesamtheit erfassen lässt. Viele Lehrstühle von Universitäten und Fachhochschulen sowie außeruniversitäre Forschungseinrichtungen beschäftigen sich direkt oder indirekt mit Fragestellungen der Katalyse, ohne dass sie sich mit ihrem Namen oder in sonst irgendeiner Weise explizit der Katalyseforschung zuordnen.

Dennoch ist hier der Versuch unternommen worden, zumindest einen groben Überblick über die Institutionen der Katalyseforschung und -entwicklung in Deutschland und NRW zu geben. Dabei ist zunächst auf die Fachsektion „Katalyse“ der Dechema[60] sowie deren Kompetenz-

[60] http://processnet.org/Chemische+Reaktionstechnik/Katalyse.html

Netzwerk Katalyse „ConNeCat“[61] zurückgegriffen worden. Letzteres bietet einen Atlas der Katalyseforschung und -entwicklung in Deutschland, in welchem auf dem Gebiet der Katalyse tätige Universitäten, außeruniversitäre Forschungseinrichtungen sowie Unternehmen verzeichnet sind.

Abbildung 107: Einrichtungen[62] der Katalyseforschung und -entwicklung in Deutschland nach Bundesländern



[Quelle: eigene Darstellung, Daten von ConNeCat (http://www.connecat.de/content.php?pageId=533&lang=de, Zugriff: 2.6.08)]

In Abbildung 107 sind die im Katalyse-Atlas von ConNeCat erfassten Einrichtungen der Katalyseforschung in Deutschland nach Hochschulen, außeruniversitären Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen (FuE) sowie Unternehmen zusammengefasst darstellt. Es wird deutlich, dass NRW mit insgesamt 24 Einrichtungen vor Baden-Württemberg (BaWü) (21) und Bayern (16) die meisten Einrichtungen vorweisen kann. Bezüglich der einzelnen Kategorien führt NRW zudem bei den Unternehmen (11) vor Hessen (10) und BaWü/Bayern (je 6). In der Kategorie Universitäten liegt NRW mit 9 Einrichtungen auf Platz 2 hinter BaWü (11) und vor Bayern (7). Ebenfalls Platz 2 belegt NRW in der Kategorie außeruniversitäre FuE-Einrichtungen (4), gleichauf mit BaWü und hinter Berlin (5).

[61] http://www.connecat.de/content.php?pageId=501&lang=de&PHPSESSID=3209d014b0aac6686304dddd41140e13

[62] „Einrichtungen“ laut Katalyse-Atlas sind auch Lehrstühle oder Institutionen von Hochschulen oder eigenständige Abteilungen von großen Unternehmen. Dies führt dazu, dass bestimmte Hochschulen oder Unternehmen mehrfach, jedoch mit jeweils unterschiedlichen Einrichtungen gelistet sind.

Die im Katalyse-Atlas genannten und in Abbildung 107 dargestellten Einrichtungen dürften als die Kerneinrichtungen der deutschen Katalyseforschung und -entwicklung gelten. Denn ein Abgleich der von der Dechema veranstalteten jährlichen Fachtagung „Jahrestreffen Deutscher Katalytiker“[63], dessen Vortrags- und Posterprogramm im Internet mit Angaben zu den präsentierenden Personen und Institutionen veröffentlicht wird[64], bestätigte die weitestgehende Vollständigkeit der Angaben des Katalyse-Atlas.

Um diese Kerngruppe herum gibt es jedoch, wie einleitend angedeutet, noch eine ganze Reihe weiterer Einrichtungen, die sich der Katalyse widmen. Eine eigene Recherche unter allen Universitäten NRWs hat zumindest ergeben, dass sich statt der nur neun im Katalyse-Atlas genannten Einrichtungen an Hochschulen, mindestens 26 Einrichtungen direkt oder indirekt mit der Katalyseforschung und -entwicklung beschäftigen. Diese Zahl ist deutlich größer als die der im Katalyse-Atlas gelisteten Einrichtungen. Sicherlich könnten noch weitaus mehr Einrichtungen identifiziert werden, würde man auch diejenigen Einrichtungen bspw. der Chemie hinzunehmen, deren Forschungen indirekt zur Weiterentwicklung der Katalyse beitragen. Wie zweckmäßig eine solche Auflistung noch wäre, ist durchaus fraglich.

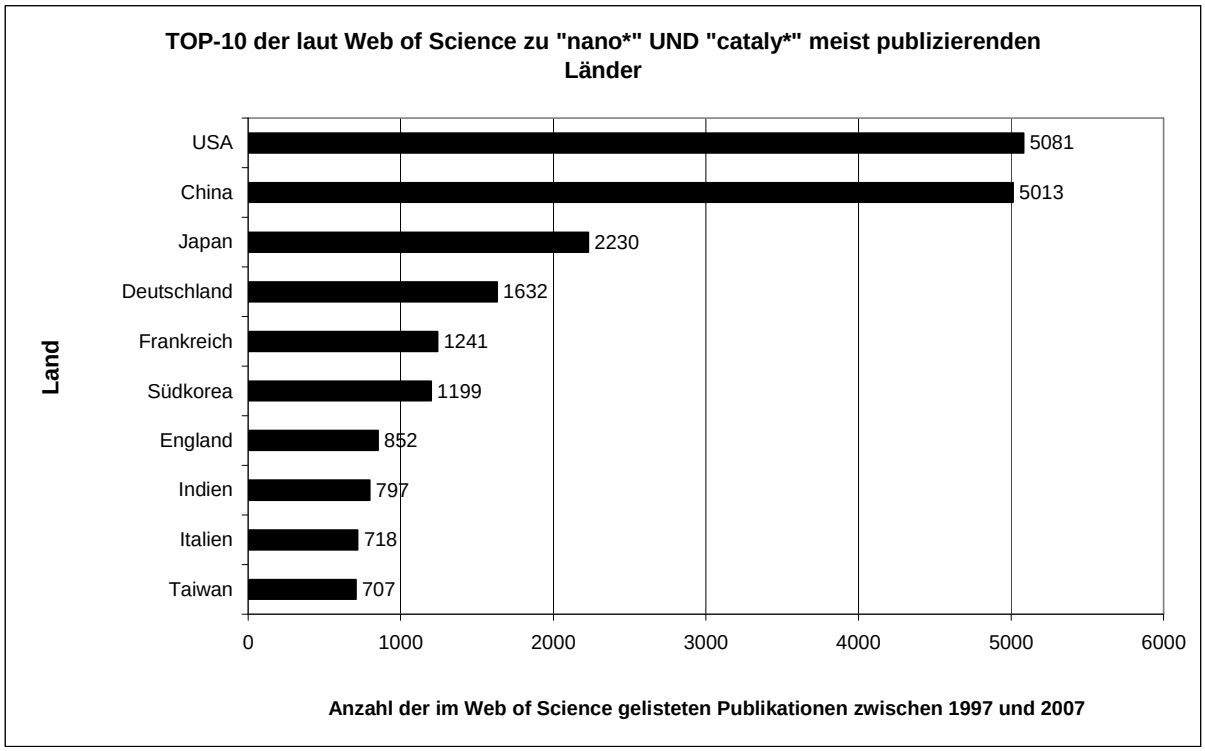
Um nun diejenigen Einrichtungen zu identifizieren, die sich mit *Nano*katalyse beschäftigen, ist ein weiterer Zugang gewählt worden, der jedoch hauptsächlich auf Hochschulen und außeruniversitäre FuE-Einrichtungen, kaum jedoch auf Unternehmen zielt: In der Artikeldatenbank „Web of Science“, die zu den bedeutendsten Datenbanken wissenschaftlicher Literatur weltweit zählt und in welcher die Artikel aus mehreren Tausend wissenschaftlichen Zeitschriften gelistet und im Volltext verfügbar sind, ist eine Suche nach Veröffentlichungen zu der Schlagwortkombination „cataly*“ UND „nano*“[65] für den Zeitraum 1997 bis 2007 durchgeführt worden. Das Ergebnis dieser Suche ist dann nach veröffentlichenden Institutionen sowie nach den Bundesländern der veröffentlichenden Institutionen zusammengefasst worden. Eine Darstellung der Ergebnisse findet sich in der Abbildung 108, der Abbildung 109 und der Abbildung 110.

[63] http://events.dechema.de/katalytiker07.html

[64] für das aktuelle Treffen: http://events.dechema.de/Tagungen/Archiv/40_+Jahrestreffen+Deutscher+Katalytiker-p-108828/Vortragsprogramm-p-123269.html

[65] Der Asterisk (*) steht für eine beliebige Anzahl weiterer Buchstaben, führt also zu Treffern „catalysis“, „catalytic“ oder „nanoparticle“ oder „nanocatalysis“. Das UND als Operator führt dazu, dass ausschließlich Artikel ausgegeben werden, in denen beide Suchwörter „cataly*“ und „nano*“ vorkommen. Bei der „Schlagwortsuche“ werden der Titel, der Abstract sowie die Schlagwortliste des jeweiligen Artikels in die Suche einbezogen, was eine hohe Relevanz des Suchbegriffes für den jeweiligen Artikel gewährleistet und solche Artikel ausschließt, in denen der Suchbegriff „nur“ irgendwo im Haupttext auftaucht.

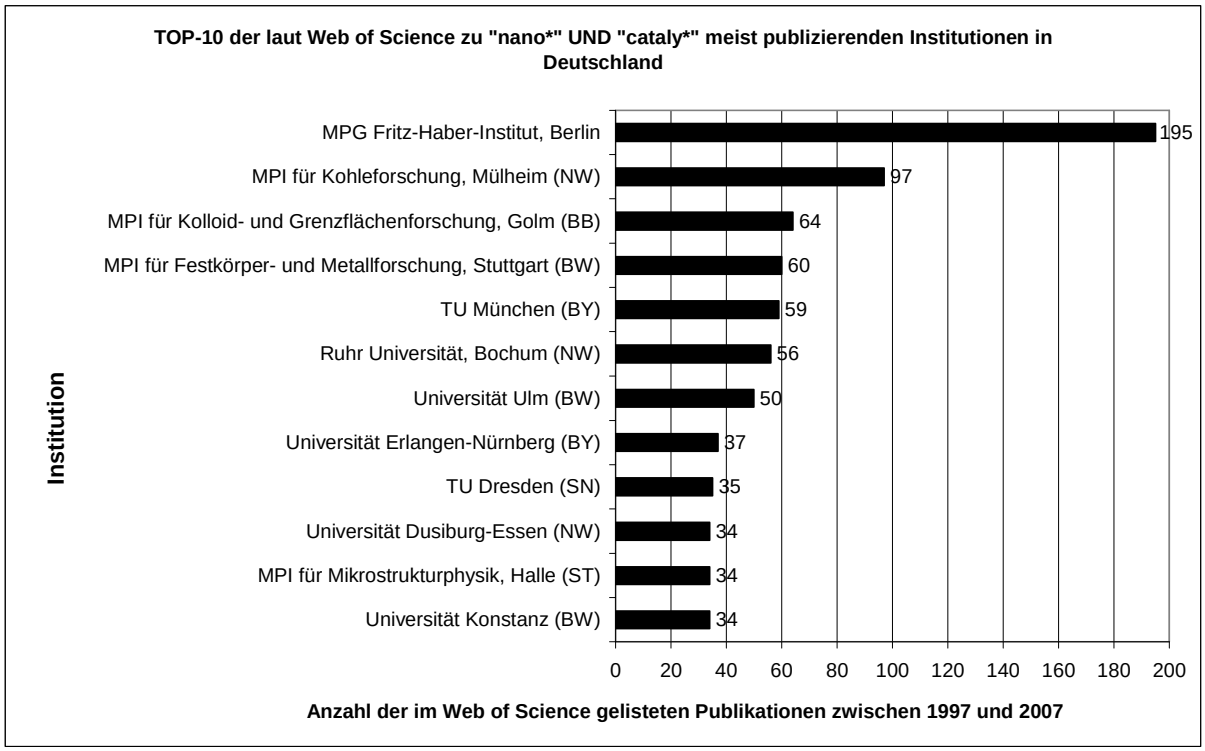
Abbildung 108: die 10 laut Web of Science zu den Schlagworten „nano*“ UND „cataly* “meist publizierenden Länder der Welt für den Zeitraum 1997 bis 2007



(jedes Land wird für jede Beteiligung an einer Veröffentlichung gezählt, d. h., die Gesamtzahl der Nennungen ist größer als die der Veröffentlichungen) (Quelle: eigene Darstellung nach Daten von Web of Science)

Die Abbildung 108 zeigt, dass die USA und China die Liste der zu „nano*“ UND „cataly*“ meist publizierenden Länder für den Zeitraum 1997 bis 2007 laut Web of Science klar anführen. Die USA und China vereinigen dabei mit je ca. 23 % fast die Hälfte aller Publikationen für diesen Zeitraum (21.785). Erst mit Abstand folgen Japan (ca. 10 %) auf dem dritten und Deutschland (ca. 7,5 %) auf dem vierten Platz. Dennoch wird deutlich, dass Deutschland eine relativ starke Position innehat, folgen doch Frankreich (ca. 5,7 %) und Südkorea (ca. 5,5 %) erst mit einem gewissen Abstand.

Abbildung 109: die 10 laut Web of Science zu den Schlagworten „nano*“ UND „cataly* “meist publizierenden Institutionen in Deutschland für den Zeitraum 1997 bis 2007



(jede Institution wird für jede Beteiligung an einer Veröffentlichung gezählt, d. h., die Gesamtzahl der Nennungen ist größer als die der Veröffentlichungen) (Quelle: eigene Darstellung nach Daten von Web of Science)

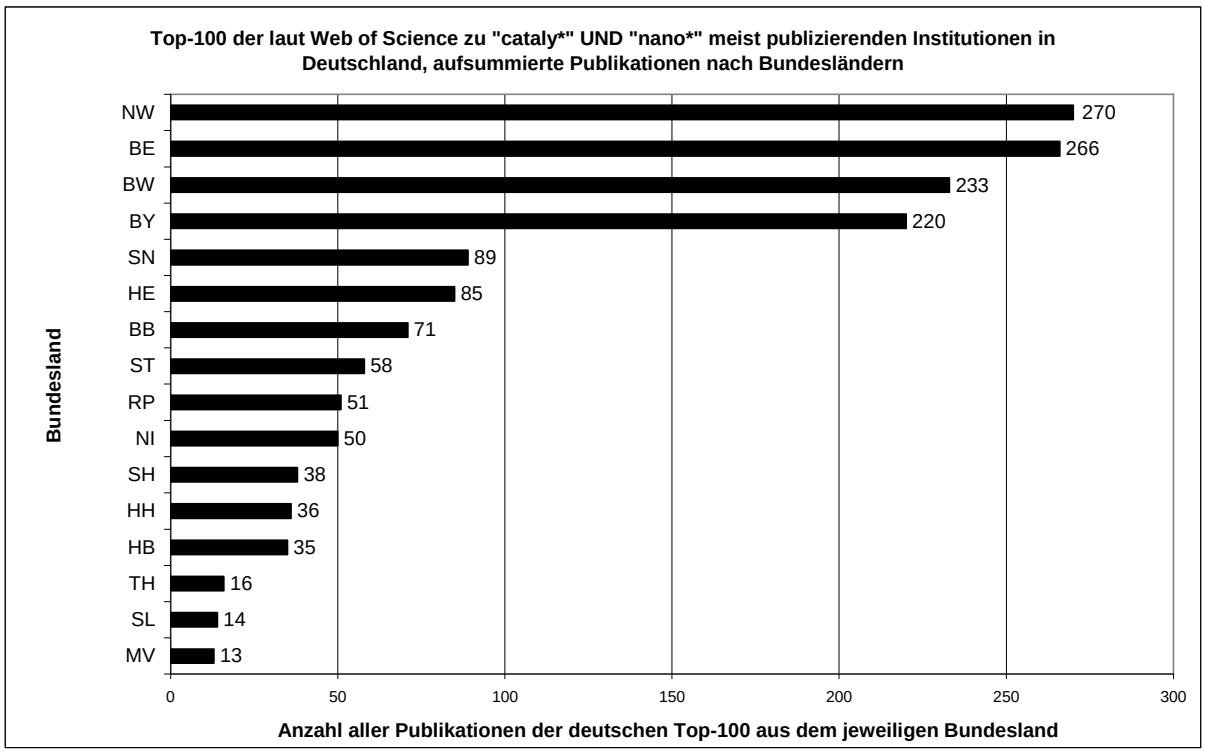
Abbildung 109 zeigt die 10 am häufigsten im Zeitraum 1997 bis 2007 zu den Schlagworten „nano*“ und „cataly*“ publizierenden deutschen Institutionen (laut Web of Science)[66]. Es wird deutlich, dass das Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft mit Abstand die meisten Publikationen aufweist. Es war mit 195 Publikationen an ca. 12 % aller für Deutschland gelisteten Publikationen (1632) beteiligt. Mit ziemlich genau halb so vielen Veröffentlichungen folgt relativ weit dahinter das in NRW beheimatete Max-Planck-Institut (MPI) für Kohleforschung (Mülheim a. d. Ruhr) auf dem zweiten Platz. Noch weiter abgeschlagen im Verhältnis zum Fritz-Haber-Institut belegen das MPI für Kolloid- und Grenzflächenforschung in Golm (Brandenburg) und das MPI für Festkörper- und Metallforschung in Stuttgart (BaWü) die Plätze 3 und 4 (je ca. 4 %). Für NRW stellt sich die Situation etwas besser dar, betrachtet man die Anzahl der Platzierungen: von 12 Institutionen kommen drei aus NRW, die es zusammen auf 187 Publikationen bringen. BaWü ist ebenfalls mit drei Einrichtungen vertreten, kann aber nur 144 Publikationen vorweisen. Alle anderen Bundesländer sind mit nur zwei Einrichtungen oder weniger und maximal 97 Publikationen vertreten.

Die Position der einzelnen Bundesländer zueinander stellt sich etwas anders dar, summiert man alle Veröffentlichungen aller Institutionen in der Top-100-Liste der zu „cataly*“ UND

[66] Gelistet sind 12 Institutionen, da sich drei Institutionen mit je 34 Nennungen den Platz 10 teilen.

„nano*“ Meistpublizierenden nach Bundesländern auf. Die sich ergebende Reihenfolge wird in Abbildung 110 gezeigt.

Abbildung 110: nach Bundesländern aufsummierte Anzahl der Publikationen der 100 am meisten zu den Schlagworten „nano*“ UND „cataly*“ laut Web of Science publizierenden Institutionen Deutschlands



(bereinigt um Unternehmen und ausländische Institutionen, die mit gelistet werden, wenn sie einen Artikel gemeinsam mit einer deutschen Institution veröffentlichen; jedes Bundesland wird für jede Beteiligung an einer Veröffentlichung gezählt, d. h., die Gesamtzahl der Nennungen ist größer als die der Veröffentlichungen) (Quelle: eigene Darstellung nach Daten von Web of Science)

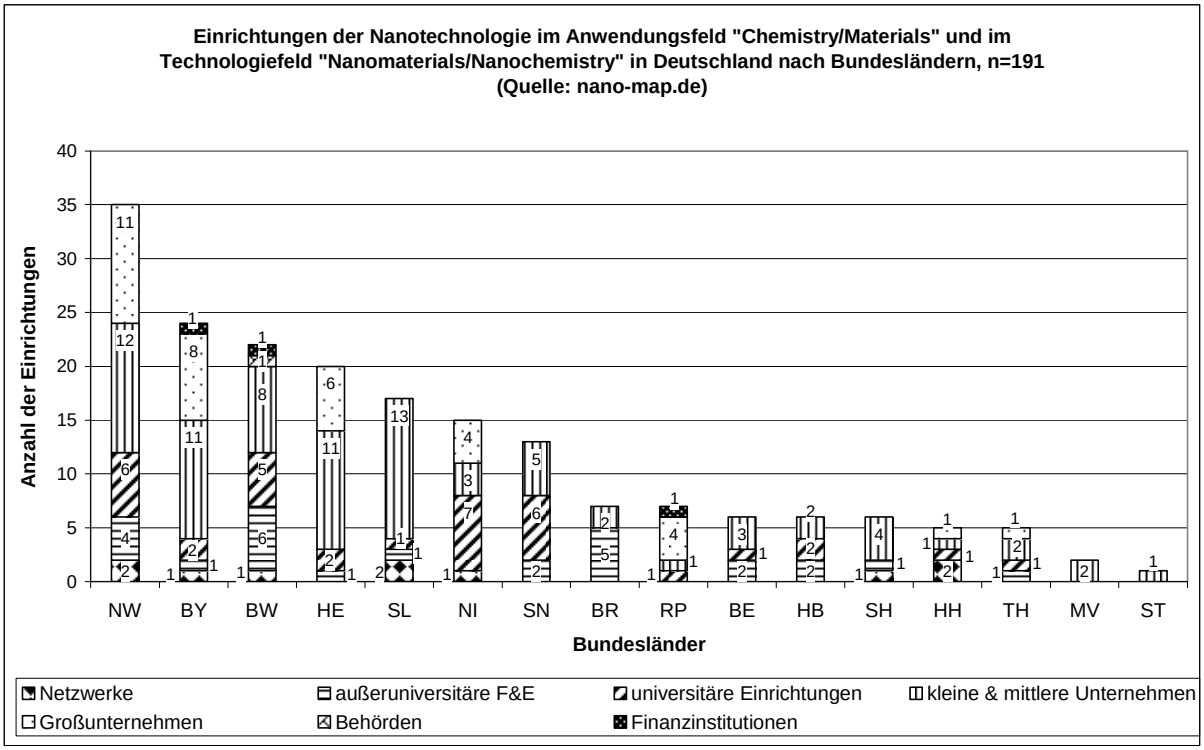
In Abbildung 110 kehrt sich die Reihenfolge an der Spitze um: NRW kann mit 270 die meisten Publikationen auf sich vereinigen und ist damit an mindestens[67] ca. 16,5 % aller deutschen Publikationen beteiligt. NRW liegt damit allerdings nur leicht vor Berlin, das lediglich vier Veröffentlichungen weniger aufweist. Mit einem etwas größeren Abstand folgen mit 233 Publikationen BaWü (ca. 14,3 %) und mit 220 (13,5%) Bayern. Das nächstplatzierte Bundesland, Sachsen, folgt erst mit großem Abstand (89 Publikationen/ca. 5,5 %) und alle anderen dementsprechend noch weiter hinten.

Zur weiteren Überprüfung der Stellung NRWs im Bereich Nanokatalyse-FuE ist neben dem Katalyse-Atlas auch die Datenbank von Nanotechnologie-Einrichtungen in Deutschland

[67] Da im Web of Science keine Möglichkeit besteht, die Veröffentlichungen nach Bundesländern geordnet ausgeben zu lassen, wurde die Darstellung auf die 100 meist publizierenden Institutionen beschränkt und diese dann manuell den jeweiligen Bundesländern zugeordnet. Bei Betrachtung aller Veröffentlichung des jeweiligen Bundeslandes, könnte sich die Zahl der Publikationen noch erhöhen (allerdings nur geringfügig, da mit den Top-100 der größte Teil aller Institutionen erfasst ist).

„nano-map.de“ des VDI[68] herangezogen worden. Diese Datenbank bietet Sortierfunktionen nach verschiedenen Bundesländern, Technologie- sowie Anwendungsfeldern an. Unter den letzteren findet sich jedoch leider keine Kategorie „Katalyse“. Behelfsmäßig sind daher das Technologiefeld „Nanomaterials/Nanochemistry“ sowie das Anwendungsfeld „Chemistry/Materials“, da diese Kombination der Katalyse am nächsten kommt. Das Ergebnis der Abfrage dieser beiden Felder nach Bundesländern ist in Abbildung 111 angegeben.

Abbildung 111: Einrichtungen der Nanotechnologie im Anwendungsfeld „Chemistry/Materials“ in Kombination mit dem Technologiefeld „Nanomaterials/Nanochemistry“ in Deutschland nach Bundesländern



(Quelle: eigene Darstellung, Daten von www.nano-map.de (Zugriff: Juni 08))

Abbildung 111 zeigt für die Ränge eins bis vier ein ähnliches Bild wie die Darstellung des Katalyse-Atlas in Abbildung 107. NRW führt die Liste von Nanotechnologie-Einrichtungen im Bereich Nanochemie/Nanomaterialien vor BaWü, Bayern und Hessen an, wobei der Vorsprung im Fall der Nano-Map-Datenbank deutlich größer ist. Ebenfalls übereinstimmend ist die Starke Präsenz von Unternehmen: hier führt NRW mit 23 vor Bayern (19) und Hessen (17).

Bei der Interpretation der Daten in Abbildung 111 muss jedoch beachtet werden, dass die Nano-Map-Datenbank ausschließlich Einrichtungen enthält, die sich mit Nanotechnologie beschäftigen. Eine Überprüfung für NRW hat ergeben, dass viele der über die Literatursuche

[68] www.nano-map.de

im Web of Science sowie im Katalyse-Atlas gelisteten Einrichtungen auch in der Nano-Map auftauchen. Allerdings gibt es sowohl Einrichtungen, die zwar in der Nano-Map, nicht aber in den anderen Quellen zu finden sind, als auch solche, die in den anderen beiden Quellen, nicht aber in der Nano-Map auftauchen. Die Schlussfolgerung, welche sich aus diesem Befund ziehen ließe, ist, dass keiner der angewandten Zugänge allein ausreicht, um alle potenziell der (Nano-)Katalyse zuzuordnenden Einrichtungen zu identifizieren. Alle drei Zugänge ermöglichen jedoch eine recht gute Abbildung der Realität und machen, insbesondere im Bundesländer-Vergleich, Tendenzen der Schwerpunkte der (Nano-)Katalyse-FuE in Deutschland deutlich.

7.1.5 Zusammenfassung

Als Fazit lässt sich formulieren, dass NRW in der Katalyseforschung und -entwicklung sowie in der Nanokatalyseforschung und -entwicklung – absolut betrachtet – eine Spitzenposition in Deutschland einnimmt. Wenn man berücksichtigt, dass Deutschland im weltweiten Vergleich der Nanokatalyse-FuE ebenfalls im Spitzenfeld vertreten ist, ergibt sich daraus für NRW sogar eine international bedeutende Stellung. Besonders hervorzuheben ist hierbei das Max-Planck-Institut für Kohleforschung in Mülheim (a. d. Ruhr), welches unter den wissenschaftlichen Einrichtungen innerhalb NRWs mit Abstand vorn liegt und damit auch deutschlandweit – allerdings erst nach dem Fritz-Haber-Institut in Berlin – zu den wichtigsten Stätten der (Nano-)Katalyse-FuE gehört. Auch hinsichtlich der Unternehmen, die im Bereich (Nano-)Katalyse tätig sind, steht NRW im deutschlandweiten Vergleich an der Spitze. Diese Einschätzung basiert jedoch auf der Auswertung des Katalyse-Atlas des ConNeCat. Dieser listet aber mit Sicherheit nicht alle Katalyse-Unternehmen auf. In der Annahme, dass der Katalyse-Atlas sowie die jährlichen Katalyse-Fachtagungen der Dechema keinen Bias für oder gegen NRW oder irgendein anderes Bundesland beinhalten, kann dennoch von einer nicht nur universitären und außeruniversitären, sondern auch von einer unternehmerischen Überlegenheit der Katalyse-FuE NRWs gegenüber den anderen Bundesländern ausgegangen werden. Allerdings muss hinsichtlich dieser Aussage berücksichtigt werden, das NRW aufgrund seiner Größe und wirtschaftlichen Stärke auch im Vorteil ist. Gemessen daran sind Bundesländer wie Baden-Württemberg, Bayern, Hessen und Berlin in der (Nano-)Katalyse-FuE mindestens gleichwertig, wenn nicht sogar stärker als NRW.

7.2 Membrantechnologie

7.2.1 Einleitung

In vielen Studien, welche die Bedeutung der Nanotechnologie für die Umwelttechnik untersuchen, wird auch die Membrantechnik als ein Bereich genannt, der von der Nanotechnologie profitiert oder in Zukunft profitieren wird (u. a. ZTC 2007; HA 2005a; MUV BaWü 2004; ZTC 2004). Allerdings fällt auf, dass häufig relativ undifferenziert von Membranen, Membrantechnik oder -verfahren die Rede ist und tlw. in der Membrantechnikliteratur selbst nicht geläufige Begriffe wie „Nanomembranen“ (HA 2005a) oder „nanoporöse Membranen“ (ZTC 2004) verwendet werden, ohne dass deren Bedeutung erklärt wird (siehe hierzu auch Kapitel 7.2.5.1). Auch wird mitunter zur Abschätzung des Nanotechnologie relevanten Marktes einfach die Membrantechnik insgesamt in entsprechende Betrachtungen aufgenommen (MUV BaWü 2004; ZTC 2004), wenngleich die tatsächlich nanotechnologischen Ansätze *innerhalb* der Nanotechnologie eigentlich wenig zahlreich und derzeit fast ausschließlich noch in der Grundlagenforschung befindlich sind. In diesem vorliegenden Vertiefungsfall soll zunächst versucht werden, etwas mehr Klarheit in das Feld „Membrantechnik“ zu bringen. Daher werden erst grundlegende Begriffe erklärt, gängige Klassifikationen erläutert und typische Anwendungsfelder dargestellt. Dann folgt eine Präsentation von Marktdaten zu Teilbereichen des Membrantechnikmarktes (*nicht* aber zum Nanotechnologiemarkt!). Anschließend werden – nach einer kurzen Diskussion über die tatsächlichen und die vermeintlichen Berührungspunkte von Nanotechnologie und Membrantechnik – einige nanotechnologische Ansätze in der Membrantechnik vorgestellt und erläutert. Abschließend folgen eine Zusammenfassung und ein kurzes Fazit.

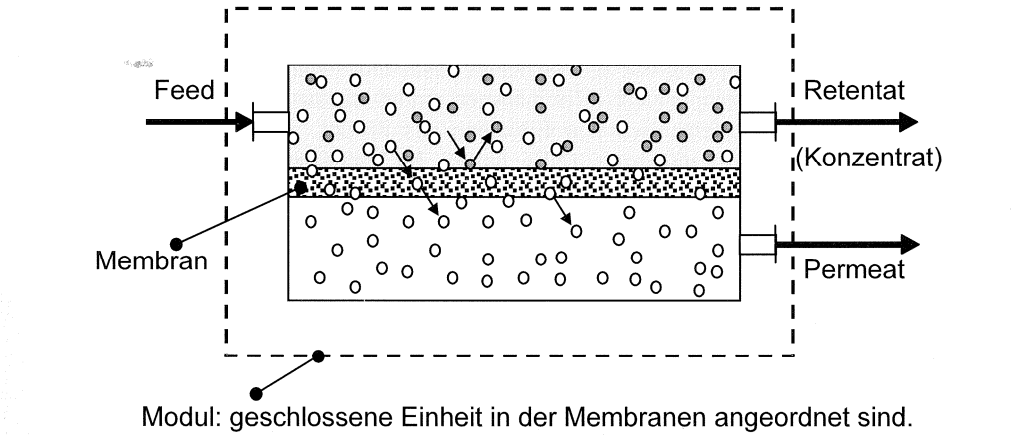
7.2.2 Membrantechnologie: Begriffe und Klassifikationen

7.2.2.1 Membranen und Module

Prinzipiell sind Membranen nichts anderes als Filter bzw. Siebe, wie sie im Alltag eines jeden Verwendung finden (bspw. Kaffeefilter, Küchensieb etc.). Sie dienen zur Abtrennung einer (in selteneren Fällen auch mehrerer) Komponente von einem Gemisch aus zwei oder mehr Komponenten, wobei zunächst unerheblich ist, ob die zurückgehaltenen Komponenten oder die durchgelassene Komponente Ziel des Trennprozesses sind. Etwas präziser ausgedrückt: „Unter Membranen versteht man flächige, teildurchlässige Gebilde, also Strukturen, die für zumindest eine Komponente eines sie berührenden Fluids – einer Flüssigkeit oder eines Gases – permeabel, für ein anderes hingegen undurchlässig sind“ (Melin/Rautenbach 2007: 1). Die

Membran selbst, also die Struktur, an der bzw. innerhalb derer der Trennprozess unmittelbar stattfindet, ist dabei immer in einem so genannten Membran*modul* integriert, welches das Gemisch („Feed“) an die Membran heranführt, die abgetrennte Komponente („Permeat“) und das von der abgetrennten Komponente (weitgehend) befreite Gemisch („Retentat“) abführt sowie die Herstellung und Erhaltung bestimmter Prozessparameter wie Druck, Temperatur etc. ermöglicht. Abbildung 112 zeigt schematisch den Aufbau eines Membranmoduls und nennt die wichtigsten zugehörigen Begriffe.

Abbildung 112: schematische Darstellung eines Membranmoduls

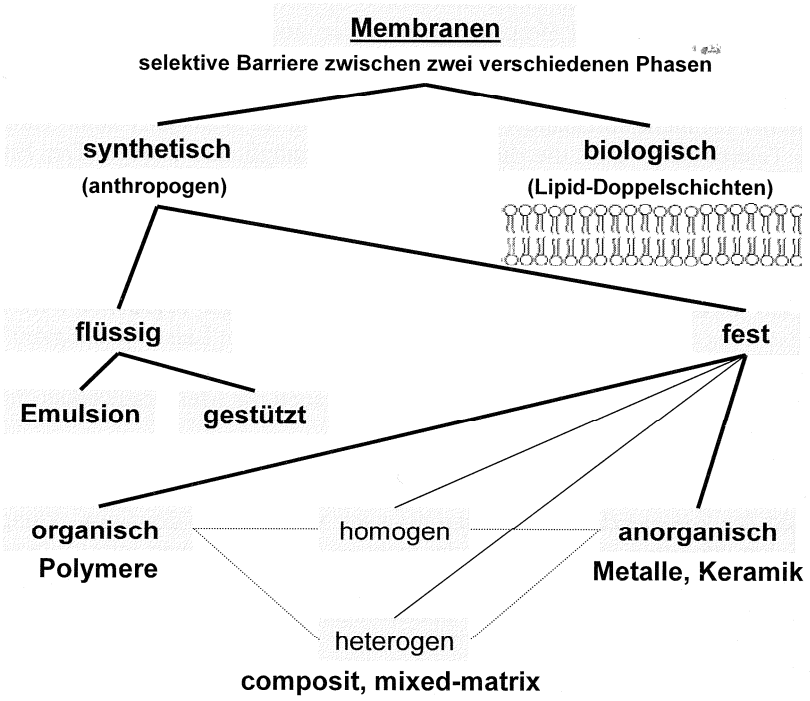


(Quelle: Melin/Rautenbach 2007, S. 1))

Sowohl in der Forschung und Entwicklung als auch – zum Teil schon seit vielen Jahrzehnten erfolgreich – in der industriellen Anwendung kommt eine große Fülle unterschiedlichster Membrantypen und -materialien zum Einsatz. Abbildung 113 zeigt die grobe Strukturierung von Membranen, wobei auf oberster Ebene zwischen „synthetischen“, also vom Menschen technisch hergestellten und „biologischen“, also natürlich gewachsenen Membranen unterschieden wird. Letzterer Gruppe kommt zwar eine existenzielle Bedeutung für beinahe alles Leben auf der Erde zu[69], für technische Verfahren, die im Mittelpunkt dieses Vertiefungsfalles stehen, waren sie bisher jedoch eher weniger interessant. Dies ändert sich jedoch seit einiger Zeit und die technische Nachahmung natürlicher Membranen für Anwendungen insbesondere in der Medizin, Biochemie und Biotechnologie, aber auch darüber hinaus für andere industrielle Prozesse rückt zunehmend in den Fokus von Forschung und Entwicklung (vgl. bspw. Monnard et al. 2008; Kokkoli et al. 2006; Mecke et al. 2006).

[69] „Die Existenz von Leben in der uns bekannten Form wäre ohne Membranen nicht denkbar. Die meisten pflanzlichen, tierischen und menschlichen Zellen sind von Zellwänden, also von Membranen, umgeben. Diese gewähren nicht nur Schutz vor äußeren Einwirkungen; je nach Zellfunktion lassen sie auch die zum Stoffwechsel erforderlichen Stoffe passieren und halten andere zurück.“ (Melin/Rautenbach 2007: 1)

Abbildung 113: grobe Klassifizierung von Membranen



(Quelle: Melin/Rautenbach 2007, S. 20)

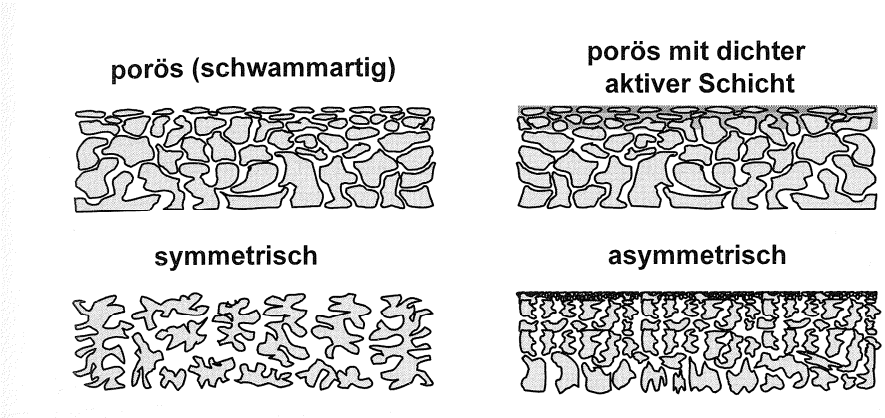
Die synthetischen Membranen (siehe Abbildung 113) werden weiter unterteilt in „flüssige“ und „feste“ Membranen, wobei letzteren die weitaus wichtigere Rolle in der Anwendung zukommt. Flüssige Membranen gewinnen aber nichtsdestotrotz zunehmend an Bedeutung. Bei festen Membranen unterscheidet man wiederum zwischen „Polymer-“ und „anorganischen“ Membranen. Polymermembranen der verschiedensten Zusammensetzungen, Strukturen und Größen sind dabei die meist verbreiteten überhaupt. Anorganische Membranen aus Keramiken oder Metallen (und Metalloxiden) kommen u. a. aufgrund ihrer vergleichsweise hohen Herstellungskosten nur in einigen wenigen Anwendungen zum Einsatz.

Sowohl Polymer- als auch anorganische Membranen können als „homogene“ Membranen, das heißt aus einem einzigen Stoff bestehend, sowie als „heterogene“, d. h. aus mehreren Stoffen bestehend, vorliegen. Häufig werden bspw. grobporige Stützschichten einer bestimmten Zusammensetzung benutzt, auf welche eine extrem dünne und sehr feinporige Schicht einer anderen Zusammensetzung aufgetragen ist. Bei diesen heterogenen Membranen wird zwar im Prinzip nur durch die dünne Schicht die eigentliche Stofftrennung realisiert, ohne die Stützschicht aber wäre die Trennschicht instabil und könnte bspw. den notwendigen Betriebsdrücken nicht standhalten.

Des Weiteren werden, bezogen auf die Struktur der Membranen, „symmetrische“ von „asymmetrischen“ unterschieden. Erstere weisen in Durchflussrichtung eine konstante Struktur auf, d. h., sowohl an der Permeateintritts- als auch an der -austrittsseite sowie innerhalb der Membran liegt dieselbe Struktur vor. Bei asymmetrischen Membranen jedoch ist dies nicht der Fall, d. h., die Permeatseintrittsseite kann bspw. sehr viel kleinere Poren aufweisen als die -austrittsseite. Asymmetrische Membranen sind häufig heterogen, können aber auch homogen sein, wenn bspw. durch den Polymerisationsprozess oder durch Nachbehandlung eine aus einem einzigen Polymer bestehende Membran verschiedene Innenstrukturen aufweist.

Schließlich werden Membranen noch in „poröse“ und „dichte“ Membranen unterteilt. Poröse Membranen weisen tatsächliche Poren auf, durch die das Permeat im Sinne einer physikalischen Strömung „hindurchfließt“, während alle anderen Partikel/Moleküle mechanisch zurückgehalten werden. Diese Membranen funktionieren wie das aus dem Alltag bekannte Küchensieb. Dichte Membranen hingegen weisen keine Poren im eigentlichen Sinne mehr auf, sondern bestehen aus einer durchgängigen dichten Struktur. Das Permeat fließt also auch nicht mehr durch Poren, sondern es „löst“ sich in der Membran und „diffundiert“ durch diese hindurch (Lösungs-Diffusions-Membran). Der Trennvorgang wird hier also nicht physikalisch, sondern chemisch realisiert.[70] Die Abbildung 114 zeigt noch einmal beispielhaft verschiedene innere Strukturen von Membranen.

Abbildung 114: schematische Strukturbeispiele von Membranen



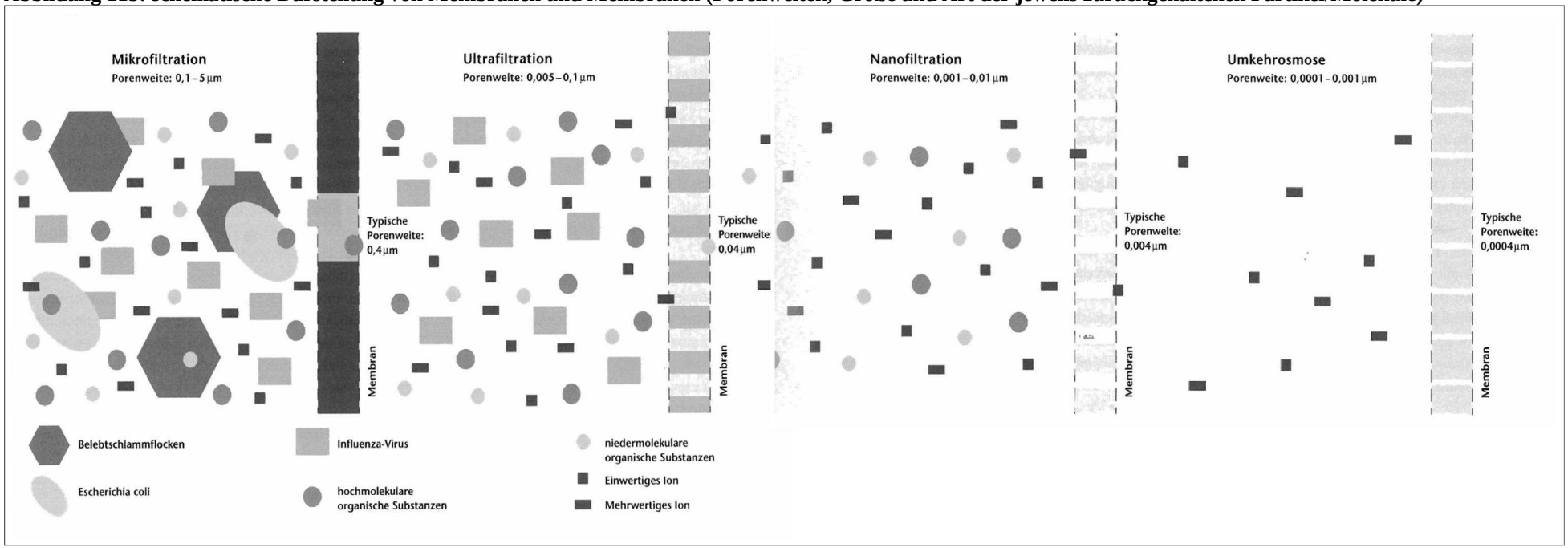
(Quelle: Melin/Rautenbach 2007, S. 21)

[70] Daher ist bei einer Lösungs-Diffusions-Membran auch die Größe eines Moleküls nicht mehr primär entscheidend für den Trennvorgang: tlw. lösen sich nämlich in einer Membran größere Moleküle eines Stoffes mit guten Lösungseigenschaften besser als kleinere Moleküle eines anderen Stoffes mit weniger guten Lösungseigenschaften (dies gilt analog für die Diffusionseigenschaften von Stoffen).

7.2.2.2 Klassische Membranverfahren

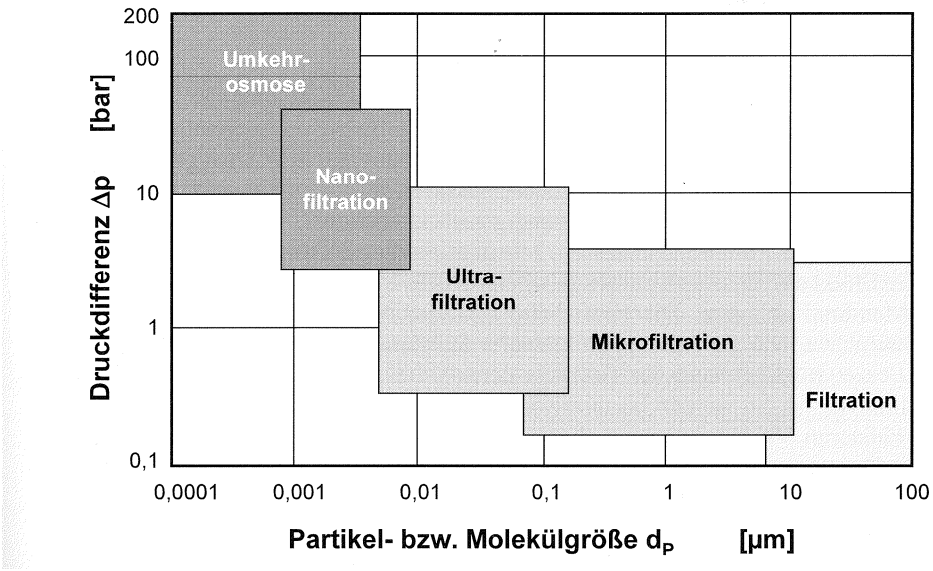
Die Membran*verfahren* werden unterschieden nach der Größe (oder auch molaren Masse) der Partikel oder Moleküle, welche die Membran gerade noch durchströmen bzw. durchdringen können (oder analog: nach Porengröße, wobei dichte Membranen, wie erwähnt, gar keine Poren im strengen Sinne mehr aufweisen). Das Spektrum der Membranverfahren reicht dabei von der so genannten „Mikrofiltration“ (MF), mithilfe derer Partikel erst ab einer Größe von einem Zehntel oder sogar einigen Mikrometern zurückgehalten werden, bis hin zur „Umkehrosmose“ (RO; von Englisch: „reverse osmosis“), bei der nur noch kleinste Moleküle wie bspw. Wasser (H_2O) – der Moleküldurchmesser von Wasser ist kleiner als 0,2 Nanometer! – permeieren können und alle größeren Moleküle und Partikel zurückgehalten werden. Die Abbildung 115 stellt in einer Übersicht schematisch dar, welche Membranverfahren unterschieden werden („Mikro-“, „Ultra-“ und Nanofiltration“ sowie „Umkehrosmose“), welche Porengrößen diese typischerweise aufweisen (von über 5 Mikrometer bis unterhalb von 0,4 Nanometer) und welche Partikel in welchem Verfahren zurückgehalten werden können (hier vorrangig am Beispiel der Abwasserfiltration). In der Abbildung 116 sind sämtliche der Membranverfahren noch einmal in einem Diagramm abgebildet, wobei auf der x-Achse die typischen Porenweiten und auf der y-Achse die im Trennverfahren eingesetzten Druckdifferenzen (dies- und jenseits der Membran) aufgetragen sind.

Abbildung 115: schematische Darstellung von Membranen und Membranen (Porenweiten, Größe und Art der jeweils zurückgehaltenen Partikel/Moleküle)



(Quelle: Pinnekamp/Friedrich 2006: S. 28f)

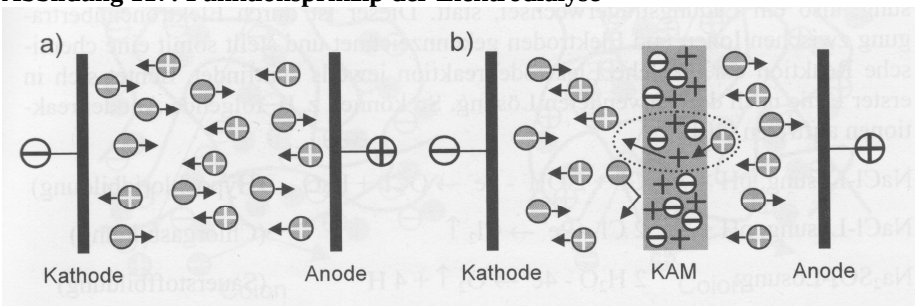
Abbildung 116: Membranverfahren und deren typische Partikel- bzw. Molekülgrößen (Permeat) und Druckdifferenzen (Innen- zu Außenwand der Membran)



(Quelle: Melin/Rautenbach 2007, S. 309)

Ein Sonderfall, bei dem zwar auch die Stofftrennung im Vordergrund steht, jedoch weder durch konvektive noch diffusive Ströme realisiert wird, bildet die Elektrodialyse (ED). Bei der ED kommen sogenannte Ionenaustauschermembranen (IAM) zum Einsatz, in welchen (positive oder negative) Ladungsträger fest eingebunden sind. Durch Anlegen eines Gleichstromes wird bewirkt, dass die im Feed vorhandenen positiven und negativen Ladungsträger (Ionen) getrennt werden, wobei die positiv geladenen Teilchen (Kationen) zum negativ geladenen Pol (Kathode) und die negativ geladenen Teilchen (Anionen) zum positiv geladenen Pol (Anode) wandern. Die IAM ist jedoch nur für eine Ionenart (An- *oder* Kationen) durchlässig, sodass die jeweils andere Ionenart zurückgehalten wird. Das Prinzip der ED ist in Abbildung 117 dargestellt. Durch eine Hintereinanderschaltung mehrerer, alternierend Kat- bzw. Anionen zurückhaltender IAM können effizient Ionen aus einer Lösung „herausgefiltert" werden.

Abbildung 117: Funktionsprinzip der Elektrodialyse



(Quelle: Melin/Rautenbach 2007, S. 369)

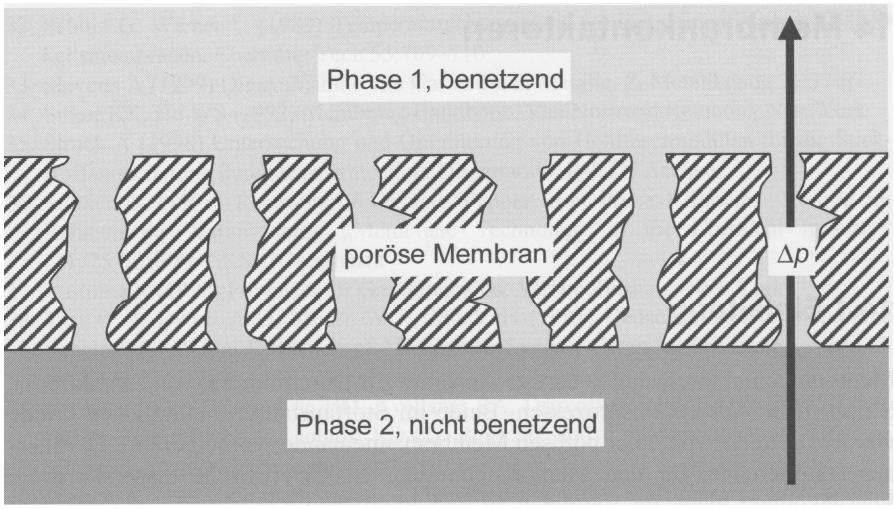
7.2.2.3 Andere Membranverfahren

Neben den im vorangegangenen Unterkapitel vorgestellten klassischen Membranverfahren gibt es noch weitere, deren Funktionsweisen sich tlw. deutlich von den klassischen Membranverfahren unterscheiden. Zu nennen sind hier zunächst die Pervaporation sowie die Dampfpermeation. Bei ersterer findet an der Membran ein Phasenwechsel von flüssig zu dampfförmig statt, d. h., das Feed wird der Membran flüssig zugeführt, während das Permeat die Membran dampfförmig verlässt, was in der Regel über ein Vakuum, angelegt an der Permeatseite, erreicht wird. Bei letzterer hingegen liegt bereits das Feed dampfförmig vor und es findet beim Durchgang durch die Membran kein Phasenwechsel statt. „Interessant sind die Pervaporation und Dampfpermeation dort, wo konventionelle Trennprozesse energetisch ungünstig arbeiten, hohen apparativen Aufwand verlangen oder aber ganz versagen. Wichtigster Anwendungsfall ist die Trennung eng siedender und/oder azeotroper Stoffsysteme, deren Aufbereitung in der Regel den Einsatz thermischer Sonderverfahren wie Zweidruck- oder Schleppmittelrektifikation erfordert.“ (Melin/Rautenbach 2007: 417). Ein weiteres, mit der Dampfpermeation nahe verwandtes Verfahren stellt die Gaspermeation dar, bei der sowohl Feed als auch Permeat gasförmig sind.

Membrankontaktoren sind Apparate der Membrantechnik, die sich deutlich von allen bisher besprochenen Verfahren unterscheiden. Melin/Rautenbach (2007) bemerken hierzu: „Membrankontaktoren sind eine logische Ergänzung der Membranapparate. Unterscheidet man die Membranverfahren nach dem Mechanismus des Stofftransportes, so lassen sich zwei große Gruppen definieren: Die Membranverfahren mit diffusivem Stofftransport durch eine nichtporöse Membran (Gaspermeation, Pervaporation, Umkehrosmose) und die Membranverfahren mit konvektivem Stofftransport durch eine poröse Membran (Ultra-, Mikrofiltration). Membrankontaktoren stellen den dritten denkbaren Fall dar, nämlich den des *diffusiven Stofftransportes durch eine poröse Membran*.“ (Melin/Rautenbach 2007: 508; Kursivdruck im

Original) In einem Membrankontaktor werden zwei Fluide kontrolliert an jeweils einer der beiden Seiten der Membran vorbeigeführt, wobei eines der Fluide in die Membran eindringt und an der anderen Seite der Membran mit dem anderen Fluid in Kontakt tritt. Dabei handelt es sich um nicht mischbare Fluide, zwischen denen aber ein Stoffaustausch, d. h. ein Übergang eines Stoffes aus dem einen in das andere Fluid erwirkt werden soll. Die Membran im Membrankontaktor stellt dabei eine möglichst große Kontaktfläche für den Stoffübergang zur Verfügung und wirkt nicht als trennendes, im Sinne von „siebendes" Element, wie das bei allen anderen Membranen der Fall ist. Der Aufbau eines Membrankontaktors ist in Abbildung 118 dargestellt.

Abbildung 118: Aufbau eines Membrankontaktors



(Quelle: Melin/Rautenbach 2007, S. 508)

Ebenfalls eine Sonderrolle unter den Membranverfahren nehmen die sogenannten Membranreaktoren ein. Wie der Name bereits zu erkennen gibt, handelt es sich bei den Membranreaktoren (MR) um Anlagen, bei denen gleichzeitig eine (chemische) Reaktion *und* eine Stofftrennung stattfinden. MR sind innerhalb der Membrantechnik eine eher jüngere Erscheinung. Grundsätzlich können drei Arbeitsprinzipien von MR unterschieden werden:

- „Selektive Entfernung von Produkten aus dem Reaktionsgemisch (Extraktorprinzip),
- kontrollierte Zugabe von Edukten zum Reaktionsgemisch (Distributorprinzip),
- Intensivierung des Kontaktes der Edukte (Kontaktorprinzip)."
  (Melin/Rautenbach 2007: S. 550ff)

Die Anwendungsfelder der MR sowie aller anderen der vorgestellten Membranverfahren werden im folgenden Kapitel erläutert.

7.2.3 Anwendungsfelder der Membrantechnologie

Jedes Membranverfahren, von der Mikro- und Ultrafiltration über die Nanofiltration und Umkehrosmose bis hin zur Pervaporation, Dampf-/Gaspermeation sowie zu Membrankontaktoren und -reaktoren, weist für sich bereits ein breites Spektrum an realisierten und potenziellen Anwendungsfeldern auf (vgl. hierzu u. a. Melin/Rautenbach 2007; Ohlrogge/Ebert 2006; Pinnekamp/Friedrich 2006). In der Summe ergibt sich eine riesige Fülle unterschiedlichster Anwendungen, die in Tabelle 8 einmal beispielhaft aufgelistet sind.

Tabelle 8: Beispiele für Anwendungen der Membrantechnik

Umkehrosmose [zitiert aus: Melin/Rautenbach 2007: 267]
- Aufkonzentrierung von ε-Caprolactamlösung - Aufkonzentrierung von $CaSO_4$-haltigem Minendrainagewasser (Seeding) - Entwässerung fotographischer Spülwässer zur Rückgewinnung von Silber - Rückgewinnung von Soda aus Drainagewasser im Steinkohlebergbau - Reinigung von Textilfärbereiabwasser (Baumwolle-Polyesterfärbung) - Rückgewinnung von Natriumsulfat aus der Kunstseideproduktion - Konzentrierung von Zellstoffwaschwasser - Reinigung von Ultrafiltrationspermeat der Elektrotauchlackierung - Aufkonzentrierung von Deponiesickerwasser - Enthärtung (z.B. Kesselspeisewasser) - Konzentrierung von Sulfitablauge - Reinigung von Bleichereiabwässern - Rückgewinnung von Phosphorsäure - Aufkonzentrierung lösemittelhaltiger Abwässer
[Fortsetzung nächste Seite]

[Tabelle 8, Fortsetzung]

Nanofiltration	[zitiert aus: Melin/Rautenbach 2007: 287-289; Literatur angaben der Quelle wurden nicht übernommen]

- Rückhalt mehrwertiger Anionen bei Permeation der einwertigen Ionen, z. B.
  - Enthärtung von Prozess- oder Trinkwasser,
  - Entlastung von Ionentauschern oder nachgeschalteten RO-Einheiten.
- Rückhalt organischer Verbindungen bei Permeation der einwertigen Salze, z. B.
  - Reinigung von Trinkwasser,
  - Entfärbung von Abwässern der Textil- und Zellstoffindustrie,
  - Entsalzung von Molke bei Rückhalt von Lactose und Proteinen,
  - Entsalzung von tensidhaltigem Abwasser.
- Rückhalt organischer Verbindungen bei Permeation der ein- und zweiwertigen Salze, z. B.
  - Aufkonzentrierung von natürlichen Wirkstoffen.
- Trennung von nieder- und höhermolekularen Inhaltsstoffen in wässrigen Lösungen, z. B.
  - Weinentalkoholosierung.
- Rückhalt von schwer abbaubaren Abwasserinhaltsstoffen vor einer biologischen Reinigungsstufe.

[Fortsetzung nächste Seite]

[Tabelle 8, Fortsetzung]

Ultra- und Mikrofiltration [zitiert aus: Melin/Rautenbach 2007: 348]

- Umwelttechnik
  - Sickerwasseraufbereitung in Kombination mit biologischen Verfahren
  - Vorreinigung für Umkehrosmose-Anlagen
  - Konzentrierung von Wasserlack aus Spritzkabinenwasser
- Metallverarbeitende Industrie
  - Standzeitverlängerung von Elektrotauchlackbädern
  - Aufkonzentrierung von Öl/Wasser-Emulsionen
  - Aufarbeitung von Entfettungsbädern
- Pharmazeutische Industrie
  - Reinigung von Antibiotika
  - Konzentrieren, Separieren und Reinigen von Impfstoffen und Enzymen
- Lebensmittelindustrie
  - Konzentrierung von Gelatine und Hühnereiweiß
  - Konzentrieren von Fruchtsäften
  - Reinigung und Aufkonzentrierung von Proteinen
  - Klärfiltration von Wein und Bier

[Fortsetzung nächste Seite]

[Tabelle 8, Fortsetzung]

Elektrodialyse	[zitiert aus: Melin/Rautenbach 2007: 395; Literaturangaben der Quelle wurden nicht übernommen]

- Wassergewinnung
  - Trink- und Prozesswassergewinnung aus Brack- und Grundwasser
- Salzgewinnung
  - Aufkonzentrierung von Meerwasser zur Esssalzgewinnung (NaCl)
- Abwasserreinigung
  - Aufarbeitung von Waschwässern aus Galvanikprozessen
  - Reinigen von Abwässern der chemischen Industrie (z. B. Schwermetallhaltige Abwässer, Nickel, Kupfer)
  - Rückgewinnung von Beizlösungen
  - Herstellung bzw. Rückgewinnung von Säuren und Laugen aus entsprechenden salzhaltigen Lösungen (Wasserspaltung an bipolaren Membranen – englische Abkürzung „WSED/BM“)
  - Entfernung von Fluorid, Sulfat, Nitrat und Ammonium aus Grundwasser
- Lebensmitteltechnik
  - Milchsäurerückgewinnung aus Molkereispülwässern
  - Entsalzung von entproteinisierter Molke (Babynahrung)
  - Entfernung von Kaliumtartat aus Wein und Citrat aus Fruchtsäften
  - Inulinherstellung (Süßmittel aus Topinambursaft von der Pflanze Helianthus tuberosus)
  - Aufarbeitung von flüssigen Sojaprodukten
- Chemische Technologie
  - elektrochemische Regeneration von Ionenaustauscher-Säulen
  - Herstellung von Periodsäure
  - Vollentsalzung von Wasser (EDI)
  - Elektrodialyse in nichtwässrigen Systemen (Gewinnung von Natriummethylat, MeONa)
  - Rückführung von Dimethylisopropylamin
  - Rückgewinnung von EDTA
- Biotechnologie
  - Abtrennung oder Konzentrierung von Aminosäuren
  - Gewinnung schwacher org. Säuren (Essig-, Milch-, Itacon-, Salicyl-, Ascorbinsäure) aus Fermentationsbrühen (mit BM)

[Fortsetzung nächste Seite]

[Tabelle 8, Fortsetzung]

Pervaporation [zitiert aus: Melin/Rautenbach 2007: 430]

Trennproblem	Anwendungsbeispiel
Organisch-wässrige Systeme	
- Abtrennung von Wasser o Polyvinylalkohol o NaA-Zeolith o T-Zeolith o Amorphes Silika	- Entwässerung von Lösungsmitteln und Lösungsmittelgemischen (Alkohole, organische Säuren, Ketone, Äther, Ester etc.) - Steigerung des Umsatzgrades chemischer Reaktionen (Herstellung von Ethyl- und Butylacetat, Dimethylharnstoff)
- Abtrennung organischer Stoffe o Polydimethylsiloxan o Polyetherblockamid o Polybutadien o NaY-Zeolith o ZSM-5-Zeolith o Silicalit-1-Zeolith	- Bierentalkoholisierung - Abtrennung von Ethanol aus Fermentationsbrühen - Aufbereitung von Abwässern, die unerwünschte organische Stoffe enthalten (arom. und halogenisierte Kohlenwasserstoffe) - Aromarückgewinnung in der Lebensmittelindustrie
Trennung organischer Gemische	
- Abtrennung von Alkohol o Polyvinylalkohol o NaY-Zeolith o Amorphes Silika	- Abtrennung von Methanol aus Kohlenwasserstoffen (MTBE-Synthese, Dimethylcarbonat Herstellung) - Abtrennung von Ethanol aus Kohlenwasserstoffen (ETBE-Synthese)
	- Aromaten/Paraffintrennung - Isomerentrennung
- Sonstige Trennprobleme o NaY-Zeolith o ZSM-5-Zeolith o Silicalit-1-Zeolith	

[Fortsetzung nächste Seite]

[Tabelle 8, Fortsetzung]

Gaspermeation [zitiert aus: Melin/Rautenbach 2007: 488]

Gaskomponenten	*Einsatzgebiete/ Trennaufgabe*	*Bemerkungen & technische Probleme*
H_2/N_2	- H_2-Rückgewinnung bei Ammoniak-Synthese	- Technisch eingesetzt, aber kondensierbare Dämpfe (z. B. NH_3) müssen entfernt werden
H_2/CH_4	- H_2-Rückgewinnung bei Raffinierung	- Technisch eingesetzt, aber kondensierbare KW-Dämpfe sind störend (Fouling, Plastifizierung bei KW-Kondensation)
H_2/CO	- Methanol-Synthesegas-einstellung	- Technisch eingesetzt, aber ggf. muss Methanol vorher entfernt werden
O_2/N_2	- Inertgasherstellung	- Technisch engesetzt für moderate Menge + Reinheit (bis ca. 5000 m^3/h und 99 % N_2)
O_2/N_2	- O_2-angereicherte Luft für Oxidationsprozesse oder medizinische Anwendung	- Möglich bis zu ca. 60 % O_2 mit Polymermembranen (Frage der Wirtschaftlichkeit)
CO_2/CH_4	- Erdgas-/Biogasaufbereitung. Heizwerteinstellung	- Technisch eingesetzt, aber Vorreinigung nötig, besserer Trennfaktor wünschenswert für höhere Methanausbeute
CO_2/CH_4	- CO_2-Rückgewinnung bei Enhanced Oil Recovery	- Technisch eingesetzt, aber Vorreinigung nötig, besserer Trennfaktor wünschenswert für höhere Methanausbeute
H_2O/CH_4 KW/CH_4	- Erdgastrocknung und/oder Abtrennung höherer KW (Dewpointing)	- Möglich, die Methanverluste sind jedoch oft noch zu hoch, i. d. R. ist der Prozess limitiert durch das Druckverhältnis
H_2O/Luft	- Drucklufttrocknung	- Technisch eingesetzt, wirtschaftliche Probleme bereitet der Luftverlust durch den internen Sweepstrom
KW/Luft	- Lösemittel-/Benzindampfdruckrückgewinnung	- Technisch eingesetzt, Probleme bereitet die Konzentrationspolarisation und der Explosionsschutz im Permeat
CH_4/N_2	- Erdgasaufbereitung bei niedriger Qualität	- Derzeitige Membranen haben keine genügende Selektivität, um Methanverluste in Grenzen zu halten
He/KW	- Heliumgewinnung aus Erdgas	- Möglich, aber die geringe Feedkonzentration erfordert mehrstufigen Prozess
He/N_2	- Heliumrückgewinnung aus Tauchluftgemisch	- Möglich, jedoch sehr kleiner Markt

[Fortsetzung nächste Seite]

[Tabelle 8, Fortsetzung]

Membrankontaktoren	[zitiert aus: Melin/Rautenbach 2007: 526; Literaturangaben der Quelle wurden nicht übernommen]

- Abtrennung stark verdünnter Metallionen aus Lösungsmittel- und Abwasserströmen
- Rückgewinnung einer Vielzahl flüchtiger organischer Verunreinigungen in der Abwasser- und Prozesswasseraufbereitung (u. a. 2-Chlorphenol, Benzol, Nitrobenzol, Trichlormethan, Tetrachlormethan, Acrylnitril)
- Eine ganze Bandbreite von Stoffen (CO_2, NO_2, NO_x, Br_2, H_2S, I_2, N_2, NH_3, $(NH_4)_2S$. Essigsäure, HCl, Milchsäure, Ethan, Ethen, VOCs) wurden in Stripp- und Gasabsorptions-Prozessen ausgetauscht. Ein potenzielles Anwendungsfeld bietet hierbei die Rauchgasentschwefelung (Reaktiv-Absorption von SO_2 mit Na_2SO_3) und die Paraffin-Olefin Trennung. Sehr interessant ist auch die Kombination von Strippung und Absorption in einem einzigen kompakten Apparat (flüssig-flüssig Kontaktor mit Inertgasfüllung).
- In der pharmazeutischen und pharmazeutischen Chemie können Hohlfasersysteme zur Aufbereitung von Produkten mit hoher Wertschöpfung verwendet werden, beispielsweise zur Auftrennung von Enantiomeren oder zur Anreicherung von Wirk-stoffen.
- In der Biotechnologie ist der Einsatz von Membrankontaktoren zur Begasung von Säugetierzellkulturen, als Matrix zur Immobilisierung von Biokatalysatoren. zur Herstellung monoklonaler Antikörper sowie zur Verwirklichung von organisch-wässrigen Zweiphasenfermentern möglich

[Fortsetzung nächste Seite]

[Tabelle 8, Fortsetzung]

Membranreaktoren	[nach: Melin/Rautenbach 2007: 550ff; Literaturangaben der Quelle wurden nicht übernommen]

- Extraktorprinzip:
  - selektive Produktentfernung
    - katalytische Dehydrierungsreaktionen: Abführen von Wasserstoff
    - Erzeugung von Wasserstoff: aus Methan oder Methanol für Brennstoffzellenanwendungen
    - Synthese höherer Kohlenwasserstoffe: bspw. Kupplung von Methan zu Ethan oder Ethen
    - Erzeugung von ultrareinem Wasser: bspw. zur Anwendung in der Halbleiterindustrie
  - Pervaporationsmembranreaktoren: bspw. zur Abtrennung von Wasser aus organischen Lösungen oder *vice versa*
  - Katalysatorrückhalt: Rückgewinnung von den meist wertvollen Katalysatoren
- Distributorprinzip
  - Partielle Oxidationsreaktionen
    - oxidative Kupplung von Methan (OCM)
    - Synthesegas aus Erdgas (GTL)
  - Kopplung von Reaktionen
- Kontaktorprinzip
  - Mehrphasenkontaktor: bspw. die selektive Oxidation leichter Alkane
  - Unselektiver Grenzflächenkontaktor: bspw. die kontrollierte katalytische Verbrennung von Methan und Luft
  - Erzwungene Durchströmung: bspw. zur vollständigen Umsetzung von Schadstoffen in der Luftreinhaltung
- Membranbioreaktoren
  - selektive Produktentfernung: bspw. die Entfernung inhibierender oder toxischer Nebenprodukte
  - Rückhalt von Biokatalysator: bspw. Rückhalt von Enzymen bei enzymatischen Reaktionen in der Lebensmittelindustrie
  - Selektive Substratzugabe: bspw. Biooxygenierung, Biohydrogenierung oder Zugabe lipophiler Substrate; Nachbildung von Organen wie Leber oder Bauchspeicheldrüse
  - Mehrphasenkontaktor: bspw. zur Reduktion von Geraniol zu Citronellol oder Hydrolyse von Pflanzenöl
  - Membranbioreaktoren in der Wasseraufbereitung

[Ende Tabelle 8**]**

(Quelle: Melin/Rautenbach 2007)

Allein anhand des schieren Umfangs von Tabelle 8 wird bereits deutlich, dass im Rahmen der vorliegenden Studie keine auch nur annähernd das gesamte Spektrum der Anwendungsbereiche von Membranverfahren abdeckende Darstellung erfolgen kann. Daher sei an dieser Stelle lediglich auf einige herausragende und grundlegende Anwendungen verwiesen. Entsprechend dem Fokus der hier vorliegenden Gesamtstudie werden jedoch im folgenden Kapitel diejenigen gegenwärtigen und zukünftigen Anwendungen der Membrantechnologie ausführlicher dargestellt, welche durch die Nanotechnologie entscheidend verbessert oder sogar erst ermöglicht werden können.

Tabelle 8 zeigt eindrucksvoll, dass Membranverfahren in einer Reihe tlw. sehr verschiedener Bereiche Anwendung finden (können). Diese reichen von der Abwasseraufbereitung über die Lebensmittelverarbeitung bis hin zur chemischen Prozesstechnik. Auch werden der Bergbau, die Textil-, Pharma- und die chemische Industrie, der Bereich industrielle Lackierung sowie verschiedene Bereiche der Biotechnologie als gegenwärtige und zukünftige Anwendungsfelder genannt. Eine herausragende Bedeutung hat die Membrantechnik darüber hinaus im Bereich der Trinkwasserproduktion aus Meerwasser (Entsalzungsanlagen basierend auf der Umkehrosmose). Zukünftig ist zu erwarten, dass vor allem auch Membranreaktoren an Bedeutung gewinnen werden und damit so vielversprechende Anwendungen wie bspw. die Wasserstoffsynthese zur Gewinnung erneuerbarer und umweltschonender Kraftstoffe, der effizientere Einsatz hochwertiger und teurer Katalysatoren sowie potenziell umweltfreundlichere Verfahren der Biotechnologie realisiert werden können.

Des Weiteren lässt die Auflistung in Tabelle 8 klar erkennen, dass es sich bei den jeweiligen Anwendungen der Membrantechnik sehr häufig um stark umweltrelevante Verfahren handelt. In der Regel werden nämlich Membranverfahren dort eingesetzt, wo wertvolle Stoffe zurück gewonnen (d. h „recycelt“) bzw. Umwelt schädigende Stoffe zurück gehalten werden sollen. Ökologischer und ökonomischer Gewinn gehen damit in vielen Anwendungsfällen der Membrantechnik Hand in Hand. Konkrete Beispiele hierfür (aus Tabelle 8) sind:

- Entwässerung fotographischer Spülwässer zur Rückgewinnung von Silber
- Reinigung von Textilfärbereiabwasser
- Rückgewinnung von Phosphorsäure
- Rückhalt von schwer abbaubaren Abwasserinhaltsstoffen vor einer biologischen Reinigungsstufe
- Konzentrierung von Wasserlack aus Spritzkabinenwasser

- Reinigen von Abwässern der chemischen Industrie (z. B. Schwermetallhaltige Abwässer, Nickel, Kupfer)
- Milchsäurerückgewinnung aus Molkereispülwässern
- Rückgewinnung von EDTA
- Aromarückgewinnung in der Lebensmittelindustrie
- H_2-Rückgewinnung bei Ammoniak-Synthese
- CO_2-Rückgewinnung bei Enhanced Oil Recovery
- Rückgewinnung einer Vielzahl flüchtiger organischer Verunreinigungen in der Abwasser- und Prozesswasseraufbereitung (u. a. 2-Chlorphenol, Benzol, Nitrobenzol, Trichlormethan, Tetrachlormethan, Acrylnitril)
- Rückhalt von Biokatalysator: bspw. Rückhalt von Enzymen bei enzymatischen Reaktionen in der Lebensmittelindustrie.

Wie bereits im Unterkapitel 7.2.2.3 bezüglich der Pervaporation sowie der Dampfpermeation dargestellt, ermöglichen Membranverfahren in vielen Fällen auch die Substitution anderer Verfahren, die tlw. mit erheblich mehr energetischem und prozesstechnischem Aufwand bei gleichzeitig geringerer Quantität oder Qualität des Produktes einhergehen. Somit kann die Membrantechnik also auch indirekt – durch Effizienzsteigerungen bei den Verfahren – zu einer Umweltentlastung beitragen. Die Ursache für diese Effizienzsteigerungen liegt meist darin, dass Membranverfahren meist ohne Erhitzung bzw. Kühlung irgendeiner Komponente sowie ohne bewegliche Apparaturen auskommen. Im Gegensatz dazu müssen Trennverfahren, die nicht auf dem Einsatz von Membranen beruhen, Gemische stark erhitzen (bspw. bei der Destillation) oder aufwendig bewegen (bspw. beim Rühren oder Sprühen in konventionellen Kontaktoren).

Ganz neue Wege der Reaktionstechnik und -verfahren können mithilfe der Membranreaktoren gegangen werden (vgl. Fritsch 2006). Insbesondere im Bereich der Wasserstoffgewinnung kommt Membranverfahren eine zunehmende Bedeutung zu, bspw. bei der Dehydrierung von Ethanol zu Acetaldehyd, bei der Dissoziierung von Ammoniak, bei der Alkandehydrierung von Ethan zu Ethen oder bei der Reformierung von Methanol, um nur einige zu nennen (ibid.).

Auch bei der Nutzung des Wasserstoffs als Energielieferant spielen Membranen eine herausragende Rolle. So ist es eine Ionenaustauschermembran, die in der so genannten Brennstoffzelle das kontrollierte Zusammentreffen von Protonen (Wasserstoffionen) und Sauerstoffio-

nen ermöglicht, wobei Wasser entsteht und ein Stromfluss hergestellt wird, der wiederum einen Elektromotor oder andere elektrische Geräte antreiben kann (Nunes 2006).

7.2.4 Marktpotenziale von Membranen, Membranmodulen und -verfahren

Nicht zuletzt aufgrund der enormen Bandbreite von Membranen, Membranmodulen und -verfahren, die sich mittlerweile in der Anwendung befinden bzw. zukünftig Marktreife erreichen werden, gibt es keine aktuellen Marktanalysen, die das gesamte Spektrum der Membrantechnik abzudecken versuchen. Vielmehr existiert eine Reihe unterschiedlicher Marktstudien, die sich jeweils einem (oder mehrerer) Teilsegmente(e) des Membrantechnikmarktes widmen. Diese sollen im Folgenden vorgestellt und kurz beschrieben werden, um die bisherige sowie die zukünftig zu erwartende Marktentwicklung der Membrantechnik zu veranschaulichen.

Für das Jahr 1998 gibt es noch Zahlen, die versuchen, die Gesamtheit des Membrantechnik-Marktes abzudecken (siehe Strathmann 1999). Schon vor zehn Jahren wird dabei das Gesamtvolumen des globalen Membrantechnik-Marktes mit rund 4,4 Milliarden US-Dollar angegeben (vgl. Abbildung 119 und Abbildung 120). Zum Vergleich: Die Summe aller Ausgaben für Umweltschutzmaßnahmen in der BRD werden vom Statistischen Bundesamt für das Jahr 2000 mit 32,7 Milliarden Euro[71] angegeben, davon 9,4 Milliarden Euro Investitionsausgaben (Statistisches Bundesamt 2007a: 289).

[71] Der Euro-US-Dollar-Kurs lag im Jahresdurchschnitt des Jahres 2000 bei etwa 0,9 Euro pro 1 US-Dollar (EZB 2008).

Abbildung 119: Weltweite Verkäufe von Membranen und Modulen für verschiedene Membranverfahren

Table 1. Worldwide sales of membranes and modules for various membrane processes.

Membrane process	Sales in 1998, US$ million	Growth, % p.a.
Dialysis	1900	10
Microfiltration	900	8
Ultrafiltration	500	10
Reverse osmosis	400	10
Gas exchange	250	2
Gas separation	230	15
Electrodialysis	110	5
Electrolysis	70	5
Pervaporation	>10	-
Miscellaneous	30	10
	Σ 4400	>8

(Quelle: Strathmann 1999, S. 9; Beschriftung oben links aus dem Original übernommen)

Abbildung 120: Weltweite Verkäufe von Membranen und Modulen für verschiedene Anwendungen

Table 2. Worldwide sales of membranes and modules for various applications.

Market segment	Sales in 1998, US$ million	Growth, % p.a.
Haemodialysis/filtration	2200	8
Blood oxygenator	350	2
Water desalination	350	10
(Waste) water purification	400	10
Oxygen/nitrogen separation	100	8
Food processing	200	10
(Bio)chemical industry	150	15
Electrochemical industry	150	8
Analytical/diagnostic	150	10
Miscellaneous	350	10
	Σ 4400	>8

(Quelle: Strathmann 1999, S 10; Beschriftung oben links aus dem Original übernommen)

Auffällig ist in diesem Zusammenhang, dass allein auf das Membranverfahren „Dialyse“ 1,9 Milliarden bzw. den Anwendungsbereich „Haemodialyse/-filtration“ 2,2 Milliarden US-Dollar (für das Jahr 1998) entfallen, was ca. 43 % bzw. 50 % des damaligen gesamten Membrantechnik-Marktes entspricht. Damit wird deutlich, dass der medizinische Bereich, der in der vorliegenden Studie allerdings eher weniger im Fokus der Betrachtung liegt, den mit Abstand bedeutendsten darstellte.

Diese überragende Stellung innerhalb des Membrantechnik-Marktes hat der Bereich Medizin heute jedoch verloren, wie aktuelle Zahlen von BCC Research aus dem Jahr 2007 zeigen: Dort wird der Markt medizinischer Membrantechnik, wohinter sich vor allem auch Dialyse-Geräte verbergen, mit 1,8 Milliarden US-Dollar für das Jahr 2007 angegeben und – bei einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 5,3 % – auf 2,3 Milliarden US-Dollar für das Jahr 2012 prognostiziert (MT 2007/11). Diese Werte sind zwar lediglich etwas kleiner als die von Strathmann (1999) bereits für 1998 angegebenen, im Vergleich aber mit aktuellen Marktdaten anderer Membrantechnik-Segmente zeigt sich, dass andere Membrananwendungen gegenüber den medizinischen an Gewicht deutlicher haben zulegen können. Wie der Tabelle 9 zu entnehmen ist, wird bspw. allein der US-Markt für Membrantechnik mit 5 Milliarden US-Dollar für das Jahr 2005 sowie mit 6,9 Milliarden US-Dollar für das Jahr 2009 angegeben.

Aufgrund der unterschiedlichen Zeitpunkte und -räume, der unterschiedlichen jeweils untersuchten Membranverfahren und Anwendungsbereiche sowie Erhebungsmethodiken, verbietet sich ein Aufsummieren der in Tabelle 9 genannten Marktvolumina und -wachstumsraten. Was jedoch der Tabelle entnommen werden kann, ist, vor allem vor dem Hintergrund der oben erwähnten Zahlen von Strathmann (1999) für das Jahr 1998, dass sich der globale Markt für Membrantechnik und -verfahren derzeit bzw. in naher Zukunft im Bereich um ca. 10 Milliarden US-Dollar bewegt (geschätzt).

Tabelle 9: Marktvolumina und -wachstumsraten verschiedener Membranverfahren und Anwendungsbereiche

Membran-technik/ -verfahren	Marktbereich (Region)	Marktvolumen (Jahr)	Wachstums-rate pro Jahr (Zeitraum)	Quelle
verschiedene	Medizin (weltweit)	1,8 Mrd. US$ (2007); 2,3 Mrd. US$ (2013)	5,3 % (2007-2012)	BCC Research, zitiert in MT 2007/11

Membran-technik/ -verfahren	Marktbereich (Region)	Marktvolumen (Jahr)	Wachstums-rate pro Jahr (Zeitraum)	Quelle
verschiedene	verschiedene im Bereich Trink-, Ab- und Prozesswasser (Nordeuropa)	680 Mio. US$ (2005) 1 Mrd. US$ (2012)	-	Frost & Sullivan, zitiert in MT 2007/04
verschiedene	verschiedene (USA)	5 Mrd. US$ (2005) 6,9 Mrd. US$ (2009)	6,6 % (2005-2009)	BCC Research, zitiert in MT 2005/10
UF	verschiedene (USA)	579 Mio. US$ (2005) 635 Mio. US$ (2006) 908 Mio US$ (2011)	7,4 % (2006-2011)	BCC Research, zitiert in MT 2007/06
Membran-Bio-Reaktoren	Abwasserbehandlung (weltweit)	216,6 Mio. US$ (2006) 363 Mio. US$ (2010)	10,9 % (2006-2010)	BCC Research, zitiert in: Atkinson 2006: 9
verschiedene	Lebensmittel- und Getränkein-dustrie (weltweit)	185 Mio. US$ (2006) 230 Mio. US$ (2011)	4,6 % (2006-2011)	BCC Research, zitiert in MT 2007/02
RO, UF, MF	verschiedene, u. a. Meerwasser-Entsalzung, Herstellung ultrareinen Prozesswassers für Elektronik- und Pharmaindustrie (weltweit)	7,6 Mrd. US$ (2006) 10 Mrd. US$ (2010)	-	McIlvain Co., zitiert in MT 2006/08
RO, UF, MF	verschiedene, vor allem im Bereich Wasser/Abwasser und Meerwasserentsalzung (weltweit)	8,3 Mrd. US$ (2007) 11 Mrd. US$ (2011)	-	McIlvain Co., zitiert in MT 2007/05
RO	Meerwasserentsalzung (weltweit)	1,9 Mrd. US$ (2007) 3,6 Mrd. US$ (2012)	13,4 % (2007-2012)	BCC Research, zitiert in MT 2008/05

(Quellen: wie angegeben; Abkürzungen: RO=Umkehrosmose, UF=Ultrafiltration, MF=Mikrofiltration)

Betrachtet man die (prognostizierten) Wachstumsraten, die in Tabelle 9 angegeben sind, so fällt auf, dass diese zwischen ca. 5 % und 10 % und tlw. sogar darüber liegen und damit,

gemessen an der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung[72], überdurchschnittlich bewertet werden. Setzt man die von Strathmann (1999) prognostizierten jährlichen Wachstumsraten von über 8 % bei einem Ausgangsvolumen von 4,4 Milliarden US-Dollar im Jahr 1998 ins Verhältnis zu den um 2005-2007 gemessenen Volumina (siehe Tabelle 9), so scheinen Strathmanns Prognosen bestätigt (sogar etwas zu pessimistisch).

Zieht man nun für eine Bewertung des Membrantechnik-Marktes die wahrscheinlich zu erwartenden Entwicklungen auf der Bedarfsseite hinzu, scheint einiges für anhaltend hohe Wachstumsraten zu sprechen. Beispielhaft hierfür sei der Markt für Meerwasserentsalzung angeführt. Die Verfügbarkeit von nutzbarem Süßwasser zur Deckung des Bedarfs an Trinkwasser, Brauchwasser für Hygiene und Haushalt sowie Wasser für industrielle Prozesse stellt ein globales Problem dar, welches an Schärfe in Zukunft dramatisch zunehmen wird (vgl. UNEP 2002) und u. a. eine Vielzahl technischer Lösungen erfordern wird (Shannon et al. 2008). Da viele Süßwasserquellen nicht oder nur über sehr lange Zeiträume erneuerbar sind, ist es in vielen Regionen der Erde schon heute notwendig, auf Meerwasser zurückzugreifen. Dieses ist jedoch sowohl als Trink- als auch als Brauch- oder Prozesswasser aufgrund seines hohen Salzgehaltes unbrauchbar. Meerwasserentsalzungsanlagen sind notwendig, um das Salz zu entfernen. Neben Anlagen, die das Wasser verdampfen und wieder kondensieren lassen, um das Salz abtrennen zu können, gibt es auch solche, die auf Membranen basieren, die so genannten Umkehrosmosemembranen. Während die Membranverfahren vor ca. 20 Jahren den Destillationsverfahren aufgrund zu hoher Kosten noch kaum Konkurrenz machen konnten, sind sie heute aufgrund der steigenden Nachfrage sowie deutlichen Kostenreduktionen beim Betrieb sowie bei den Anlagen selbst wettbewerbsfähig (Melin/Rautenbach 2007: 279). Dies gilt für eine große Reihe weiterer energetisch sehr aufwändiger thermischer Trennverfahren, für welche Membranverfahren als kostengünstigere und umweltfreundlichere Alternative zur Verfügung stehen werden (Koros 2004). Weitere technologische Verbesserungen und steigender Bedarf machen für diesen Bereich hohe Wachstumsraten wahrscheinlich.

Ähnliche Konstellationen lassen sich auch für andere Bereiche, in denen Membranverfahren zur Anwendung kommen (können), skizzieren. So haben die meisten Membranverfahren zum Ziel, entweder einen Stoff aus einem Stoffgemisch zu gewinnen oder die Reinheit eines Stoffes durch die Abtrennung von Verunreinigungen zu erhöhen. Für beide Fälle kann in der Zukunft ein steigender Bedarf angenommen werden: Zum einen werden die meisten Ressourcen knapper, da sie in der Regel nicht erneuerbar sind. Damit gewinnt das Recycling bzw. die

[72] zur gesamtwirtschaftlichen Entwicklung siehe bspw. IWF (2005)

Wiederverwendung von Rohstoffen aus industriellen Prozessen wahrscheinlich weiter an Bedeutung. Ebenso verlangen viele Herstellungs- oder Verarbeitungsprozesse ultrareine Komponenten, bspw. ultrareines Wasser in der Pharma- und Halbleiterindustrie (Menzel 2006). Beide Trends sprechen für ein weiteres Wachstum der Membrantechnik-Märkte. Allerdings ist mindestens ebenso entscheidend, wie sich die Anlagen- und Betriebskosten von Membranverfahren entwickeln. In der Vergangenheit waren zu hohe Kosten nicht selten der Grund für mangelnde Anwendung von Membranverfahren *trotz* eines hohen Bedarfes (vgl. Baker 2006). Es spricht einiges dafür, dass die Kosten vieler Membranverfahren kurz- oder mittelfristig ein wettbewerbsfähiges Niveau in vielen neuen Bereichen erreichen werden (ibid.).

7.2.5 Potenziale der Nanotechnologie für Membrantechnik und -verfahren

7.2.5.1 Membrantechnologie und Nanotechnologie: Schwierige Ein- und Abgrenzung

Die Frage, ob und inwieweit die Membrantechnologie Bezüge zur Nanotechnologie aufweist oder dieser zuzuordnen ist, lässt sich nicht ganz einwandfrei beantworten. Zur Verdeutlichung dieser Tatsache soll an dieser Stelle zunächst noch einmal die gängige und auch dieser Studie zugrunde gelegte Definition von Nanotechnologie zitiert werden:

> „*Nanotechnologie beschreibt die Untersuchung, Anwendung und Herstellung von Strukturen, molekularen Materialien und Systemen mit einer Dimension oder Fertigungstoleranz typischerweise unterhalb von 100 Nanometern. Allein aus der Nanoskaligkeit der Systemkomponenten resultieren dabei neue Funktionalitäten und Eigenschaften zur Verbesserung bestehender oder Entwicklung neuer Produkte und Anwendungsoptionen.*“ (BMBF 2006: 11)

Würde man lediglich den ersten Teil der eben genannten Definition heranziehen, so könnte man sowohl die klassischen Membranverfahren – von der Umkehrosmose (RO)[73] bis zur Ultrafiltration (UF) und tlw. sogar die Mikrofiltration (MF) – als auch die Pervaporation/Dampf- und Gaspermeation (PV/DP/GP) sowie die Membrankontaktoren (MK) und -reaktoren (MR) eindeutig der Nanotechnologie zuordnen. Denn bei allen Verfahren der Membrantechnik kommen Strukturen von 100 oder weniger Nanometern Größe zur Anwendung: die Poren, also die „leeren“ Räume, sind nämlich in allen Fällen der UF und bei einigen Nano- (NF) und MF-Membranen gleich oder kleiner als 100 nm. Bei der RO und tlw. auch

[73] von Englisch: „reverse osmosis“

schon bei der NF sowie den nicht-klassischen Membranverfahren PV, DP, GP, MK und MR, liegen sogar dichte Membranen vor, die gar keine Poren im eigentlichen Sinne mehr besitzen, sondern nur noch kleinste Zwischenräume zwischen den Moleküllagen aufweisen, die in der Regel deutlich kleiner als 100 nm, tlw. sogar deutlich kleiner als 1 nm sind. Analog dazu sind die Partikel bzw. Moleküle, die durch die Membranen herausgefiltert werden, ebenfalls kleiner als 100 nm oder sogar kleiner als 1 nm.

Es stellt sich jedoch die Frage, wie sinnvoll eine Subsumierung fast der gesamten Membrantechnik unter die Nanotechnologie tatsächlich ist. Denn außer der Tatsache, dass sehr kleine Strukturen involviert sind, weisen Membranverfahren *per se* keine technisch besonders herausragenden Eigenschaften auf, die wiederum besondere, sich von anderen Technologien in beinahe revolutionärer Weise unterscheidende Anwendungen hervorbringen würden. Verglichen mit den bereits mehrfach genannten Nano-Goldpartikeln, die im Gegensatz zu größeren Goldteilchen bemerkenswerte katalytische Eigenschaften zeigen, hat die konzeptionelle Zuordnung von Membranverfahren zur Nanotechnologie keine real-technischen Auswirkungen.

Zieht man nun also den zweiten Teil der genannten Nanotechnologie-Definition hinzu, ist es ungleich schwieriger zu entscheiden, ob alle bzw. einzelne Membranverfahren die genannten Kriterien, insbesondere das der „allein aus der Nanoskaligkeit […] resultieren[den] neue[n] Funktionalitäten und Eigenschaften“ (BMBF 2006) erfüllen. Denn das Funktionsprinzip aller Filter- und damit auch der Membranverfahren MF, UF und tlw. NF basiert auf einer festen Struktur aus undurchlässigem Material und Leerräumen („Poren“), wobei durch letztere das Permeat/Filtrat hindurchtritt und deren Durchmesser bestimmen, welche Partikel- oder Molekülgrößen passieren/permeieren können und welche zurückgehalten werden. Ob die Poren dabei Durchmesser von mehreren Zentimetern oder genau 100 Nanometern oder eben auch deutlich weniger als 100 Nanometern aufweisen, ist für die Funktion des Filters oder der Membran zunächst völlig unerheblich. Die einzige „Eigenschaft“, die nanometergroße Poren gegenüber nicht nanometergroßen Poren aufweisen, ist, dass sie eben nanometergroße Partikel/Moleküle zurückhalten bzw. passieren lassen. Verglichen mit „eindeutigeren“ Beispielen der Nanotechnologie, wie den nur in Korngrößen von wenigen Nanometern katalytisch wirkenden und sonst inerten Goldpartikeln (vgl. Ausführungen in Kapitel 7.1.2), vermag man in der Membrantechnologie – wie erwähnt – nur schwer tatsächlich „neue“ Eigenschaften oder Funktionen aufgrund etwaiger „Nanoskaligkeiten“ erkennen.

Ganz besonders schwierig, einen klaren und sinnvoll zu begründenden Bezug zur Nanotechnologie herzustellen, wird es bei der Betrachtung derjenigen Membranen, die in der RO und tlw. in der NF sowie in der PV, DP, GP sowie bei MR zum Einsatz kommen. Hierbei handelt es sich nämlich um dichte Polymere (Kunststoffe), wie sie in Tausenden anderen Anwendungen, wie bspw. als Verpackungs-, Dichtungs-, Beschichtungs- oder Gehäusematerialien zum Einsatz kommen. Diese Polymermembranen weisen gar keine Poren im strengen Sinne mehr auf und die zu trennenden Moleküle lösen sich und diffundieren dann durch die Membran hindurch, wobei chemische Vorgänge eine größere Rolle spielen als physikalische. Da sowohl die Monomere, aus denen die Polymere bestehen, als auch die Polymerketten sowie die Zwischenräume zwischen diesen deutlich kleiner als 100 nm sind, könnte man einerseits die genannten Membranen der Nanotechnologie zuordnen. Dann allerdings liefe man andererseits Gefahr, die gesamte Chemie nicht mehr sinnvoll von der Nanotechnologie abgrenzen zu können! Denn die Grundbausteine aller Materie – Atome und Moleküle –, mit deren Eigenschaften und Reaktionen sich die Chemie beschäftigt, sind nämlich fast immer (sehr viel) kleiner als 100 nm!

Die Frage nach den Bezügen der Membrantechnologie zur Nanotechnologie ist weder trivial noch rein akademisch theoretischer Natur. Insbesondere für die vorliegende Studie ist sie von zentraler Bedeutung und vor allem praktischer Relevanz. Denn wenn nach den „Potenzialen der Nanotechnologie für die Umwelttechnik und den Umweltschutz“ sowie nach „Marktpotenzialen“ – hier im Bereich der Membrantechnologie – gefragt wird, muss zunächst eine zumindest ungefähre Vorstellung davon existieren, wo und wie Nanotechnologie in der Membrantechnologie eine Rolle spielt. Eine pauschale Gleichsetzung von Nanotechnologie und Membrantechnologie ist in diesem Zusammenhang kaum sinnvoll (siehe oben) – ebenso wenig hilfreich wäre aber auch der (von vornherein zum Scheitern verurteilte) Versuch einer trennscharfen, an den Buchstaben einer wie auch immer formulierten Nanotechnologiedefinition klebenden Ab- und Ausgrenzung bestimmter Membranverfahren von der Nanotechnologie. Sinnvoll und gleichermaßen praktikabel scheint eine eher pragmatische Herangehensweise zu sein, die fragt, wo sich die Herstellung und Anwendung kleinster Strukturen in der Membrantechnologie qualitativ signifikant auf die Funktionen, Eigenschaften und Leistungsfähigkeiten von Membranen und Membranverfahren auswirken. Dabei muss man sich nicht notwendigerweise an festen Größen wie bspw. „100 nm“ orientieren oder an Kriterien wie der absoluten „Neuheit“ von Funktionen oder Eigenschaften festhalten.

Bei einer solchen pragmatischen Betrachtung lassen sich durchaus Bereiche innerhalb der Membrantechnik identifizieren, die mehr mit Nanotechnologie zu tun haben und also auch

von dieser potenziell profitieren könnten als andere. Im Folgenden werden diese Bereiche detailliert dargestellt (für eine kurze Übersicht zu Nanotechnologie in der Membrantechnik siehe: Wiesner et al. 2007: 356ff).

Zuvor sei jedoch noch kurz auf einige begriffliche Unschärfen, die in der Literatur über Nanotechnologie mit Bezug zur Membrantechnik auftauchen und einige Verwirrung stiften können, hingewiesen. Zunächst wird mitunter der Begriff „Nanomembran" verwendet (bspw. HA 2005a), der jedoch in der Fachliteratur zur Membrantechnik nicht geläufig ist. Zwar wird von „Nanofiltration" gesprochen – die dort eingesetzten Membranen heißen aber nicht automatisch „Nanomembranen"! Auch wird in der Nanotechnologieliteratur mitunter von „nanoporösen" Membranen geschrieben (bspw. ZTC 2004: 160), wobei nicht klar wird, ob damit einfach Membranen mit Porengrößen von einigen Hundert, einigen -zig oder einigen wenigen Nanometern gemeint sind, oder aber ob der entsprechenden IUPAC[74]-Definition gefolgt wird. In dieser IUPAC-Definition ist zwar gar nicht von „Nanoporen" die Rede, aber man könnte aus den genannten Größen für „Mikroporen" (0,25 nm - 2 nm [sic!]) und „Mesoporen" (2 nm - 50 nm [sic!]) (IUPAC 2001)[75] ableiten, dass „Nanoporen" also kleiner als 0,25 nm sein müssten[76]. Solch extrem kleine Porendurchmesser weisen aber nur noch dichte Membranen auf, die im strengen Sinne gar keine Poren mehr haben, sondern nur noch molekulare Zwischenräume, durch die nur noch Diffusion stattfinden kann. Legt man nun also die verbreitet verwendete Grenze von 100 nm als Definition für Nanotechnologie an, würden sowohl Nano- (so es sie denn überhaupt gibt) als auch Meso-, Mikro- und sogar tlw. Makroporen Poren kleiner als 100 nm sein und damit der Nanotechnologie zugehörig. Entsprechend würde man auch die jeweiligen Membranen und Membranverfahren mit Makro-, Mikro- usw. -poren als Nanotechnologie bezeichnen, was aber, wie oben bereits erläutert, nur sehr bedingt sinnvoll ist.

7.2.5.2 Protonenaustauschermembranen für Brennstoffzellen

In dem Bestreben, insbesondere in den Bereichen Verkehr und tragbare Anwendungen eine nachhaltigere Energiegewinnung und -nutzung zu realisieren, wird seit mittlerweile mehreren Jahrzehnten die Entwicklung von Brennstoffzellen intensiv vorangetrieben. Neben einigen anderen technischen Schwierigkeiten, die bisher eine erfolgreiche Kommerzialisierung und breite Einführung von Brennstoffzellen verhindern, wird nach wie vor auch an den so

[74] „International Union of Pure and Applied Chemistry" (Internationale Vereinigung für Reine und Angewandte Chemie)
[75] Melin/Rautenbach (2007: 97) definieren Mikro- und Mesoporen in gleicher Weise und ergänzen, dass „Makroporen" einen Porendurchmesser von über 50 nm aufweisen (ibid.).
[76] In anderen Zusammenhängen außerhalb der Membrantechnik wird auch der Begriff „Nanopore" verwendet, hier allerdings wieder mit anderen Porendurchmessern (knapp unterhaltb von 10 nm) (bspw. bei Gershow/Golovchenko 2007; Stein 2007).

genannten Protonenaustauschermembranen gearbeitet, um deren Leistungsfähigkeit und vor allem Lebensdauer im Betrieb deutlich zu steigern. Dies ist notwendig, um den Gesamtwirkungsgrad sowie die Leistungsdichte der Brennstoffzelle auf ein mit Verbrennungsmotoren oder Batterien wettbewerbsfähiges Niveau zu erhöhen.

In einer Brennstoffzelle wird durch die kontrollierte Zusammenführung von molekularem Wasserstoff (H_2) und (Luft-)Sauerstoff (O_2) Strom erzeugt, wobei als „Abfallprodukt" lediglich Wasser (H_2O) anfällt. Da eine direkte Reaktion von Wasser- und Sauerstoff stark exoterm, d. h. unter schlagartiger Freisetzung von großen Mengen Energie, und damit explosionsartig erfolgen würde, trennt eine Membran beide Reaktanden (dies ist zumindest bei den so genannten „Protonenaustauschermembranen-Brennstoffzellen", Englisch: „proton exchange membran fuel cell", PEMFC, der Fall)[77]. Diese Membran ist lediglich für Protonen, d. h. für positiv geladene Wasserstoffatome (H^+-Ionen) durchlässig (daher „*Protonen*austauschermembran), welche sich dann auf der anderen Seite der Membran mit den negativ geladenen Sauerstoffatomen (O^{2-}-Ionen) verbinden. Die Elektronen, welche dem Wasserstoff auf der einen Seite „abgenommen" werden, wandern durch einen Leiter außen um die Membran herum zum Sauerstoff und bilden somit den nutzbaren elektrischen Strom, welcher dann bspw. in einem Elektromotor in Fahrzeugen oder in mobilen Anwendungen wie Laptops genutzt werden kann.

Eine der wesentlichen Schwachstellen derzeitiger Brennstoffzellen bildet die Tatsache, dass (nicht nur) in der Membran Platin (Pt) als Katalysator zum Einsatz kommt. Platin ist eines der seltensten und damit teuersten Edelmetalle der Erde, dessen Preis zukünftig aufgrund erhöhter Nachfrage eher noch steigen wird. Dies ist eine der Ursachen dafür, das Brennstoffzellen derzeit preislich noch nicht konkurrenzfähig sind. Eine vielversprechende Alternative zu Platin bilden nanostrukturierte Kohlenstoffteilchen, wie bspw. Kohlenstoff-Nanoröhren (Englisch: „carbon nano-tubes", CNT) oder -Nanostäbchen (Englisch: „carbon nano-rods", CNR), die zudem mit Stickstoff (N) dotiert sein können (N-CNT/N-CNR) (Shao et al. 2008).

Werden (N-)CNT, (N-)CNR und andere Kohlenstoff-Nanoteilchen als Trägersubstanzen für Platin eingesetzt, steigern sie dessen katalytische Aktivität und vor allem auch Langlebigkeit, die bisher eher unzufriedenstellend ist. So würde zwar immer noch Platin eingesetzt, aufgrund der höheren katalytischen Aktivität und längeren Lebensdauer des Platins könnte die Platin

[77] Die hier und folgend gemachten Ausführungen beziehen sich nur auf die Protronenaustauschermembran-Brennstoffzelle (PEMFC). Andere Brennstoffzellen machen sich zwar ebenfalls dieselbe chemische Reaktion zunutze, sind aber tlw. anders aufgebaut und besitzen keine Protonenaustauschermembran. Die PEMFC ist aber eine der aussichtsreichsten Brenstoffzellentypen überhaupt, was auch die Bedeutung der Membran unterstreicht.

spezifische Effizienz der Brennstoffzelle erhöht und damit auch die spezifischen Katalysatorkosten gesenkt werden (ibid.).

(N-)CNT, (N-)CNR und andere Kohlenstoff-Nanoteilchen ermöglichen aber auch die Entwicklung alternativer Katalysatormaterialien, die gänzlich ohne Platin oder andere Edelmetalle auskommen. Als Trägermaterialien für Nicht-Edelmetalle wie bspw. Eisen (Fe) eingesetzt, verhelfen Kohlenstoff-Nanoteilchen anderen Metallen und Metallen überhaupt erst zu einer katalytischen Wirkung. Zwar weisen diese alternativen Materialien noch unzureichende katalytische Aktivität und schlechte Lebensdauer auf, als kostengünstige Alternative zu Platin oder Platin basierten Katalysatoren sind sie aber dennoch vielversprechend und werden intensiv beforscht (ibid.). Schließlich sei an dieser Stelle noch darauf hingewiesen, dass auch unabhängig von einer Anwendung nur in PEMFC intensiv an katalytisch aktiven Membranen unter Verwendung von CNT geforscht wird (bspw. Prehn et al. 2008).

7.2.5.3 Membranherstellung unter Verwendung von Block-Copolymeren

Einen weiteren Bereich, der durchaus der Nanotechnologie zugeordnet werden kann und in welchem Membranen als Zielanwendungen zunehmend eine wichtige Rolle spielen, bildet die Herstellung nanostrukturierter Materialien unter Verwendung von so genannten Block-Copolymeren. Copolymere sind Polymere, die aus mehr als einem Monomer, d. h. aus verschiedenen Grundbausteinen aufgebaut sind. Zur Veranschaulichung sei hier einmal der Aufbau eines Polymers anhand von Buchstaben, welche die Monomere darstellen, gezeigt. Ein einfaches Polymer besteht also aus vielen aneinander gereihten Monomeren „A“, was eine (mitunter auch verzweigte) Kette „AAAAAAAAAA…“ ergibt. Eine riesige Anzahl solcher Ketten, die entweder geordnet oder ungeordnet vorliegen, bilden dann den Kunststoff mit seinen jeweiligen spezifischen Eigenschaften.

Copolymere bestehen nun aus mehreren verschiedenen Monomeren, ein binäres Copolymer bspw. aus einem Monomer „A“ und einem Monomer „B“, was dann bspw. ein alternierendes Copolymer „ABABABABABABAB…“ ergeben kann. Bei Block-Copolymeren sind nun die einzelnen Monomere in Blöcken angeordnet, wobei ein Block aus einem Monomer (bspw. „A“) und ein anderer Block aus einem anderen Monomer (bspw. „B“) besteht, bspw. „AAAAAABBBBBBAAAAAABBBBBB…“. Bei Block- und auch bei allen anderen Copolymeren bestimmen sowohl die jeweiligen Monomere selbst als auch deren Abfolge im Polymer sowie viele weitere Parameter dessen spezifische Eigenschaften. Durch spezielle Herstellungs- und Nachbehandlungsverfahren können gezielt (Block-)Copolymere mit ganz bestimmten Eigenschaften und makrostrukturellem Aufbau synthetisiert werden.

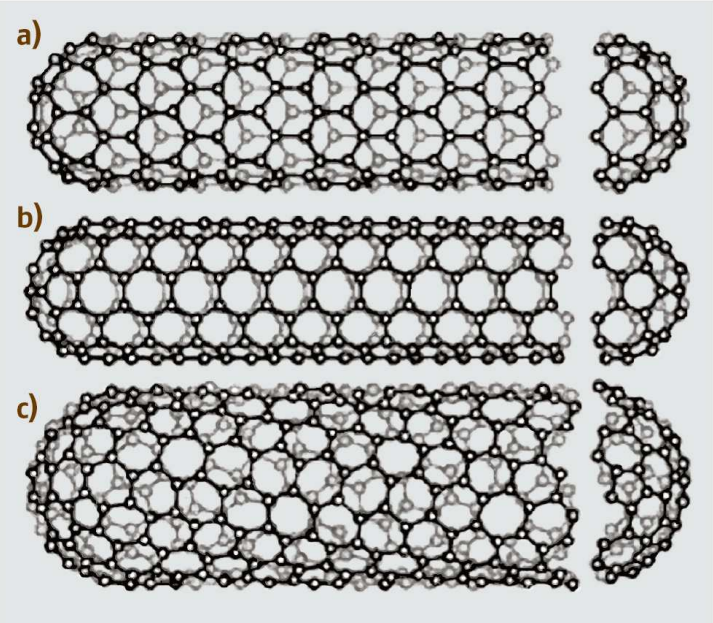
Neben verschiedenen anderen Anwendungen, wie bspw. als Template in der Nanolithographie für die Mikro- bzw. Nanoelektronik, können auch Membranen mithilfe von Block-Copolymeren hergestellt werden (Olson et al. 2008). Der Vorteil von Copolymeren im Vergleich zu einfachen Polymeren besteht vor allem darin, dass im resultierenden Kunststoff quasi zwei unterschiedliche Stoffe vorliegen, die aufgrund ihrer unterschiedlichen Eigenschaften unterschiedlich behandelt werden können. Beispielsweise unterscheiden sich häufig die Ätzbeständigkeiten der jeweiligen Monomerblöcke in den Block-Copolymeren, so dass gezielt die Monomerblöcke des einen Monomers weggeätzt werden können, wobei die Blöcke des beständigeren Monomers als nanoporöse Strukturen zurückbleiben. Durch entsprechend synthetisierte Block-Copolymere sowie zugehörige Nachbehandlungsverfahren können so auch Membranen mit gut einstellbaren Porenweiten und -verteilungen hergestellt werden.

7.2.5.4 Membranen mit Kohlenstoff-Nanoröhren für die Wasseraufbereitung

Kohlenstoff-Nanoröhren (Englisch: „carbon nanotubes“, CNT) stehen aufgrund ihrer außergewöhnlichen Eigenschaften seit jeher im Fokus der Forschung rund um die Nanotechnologie und kommen für eine Vielzahl höchst unterschiedlicher Anwendungen infrage (vgl. Bhushan 2006: S. 43ff). So verwundert es kaum, dass auch an Anwendungen der CNT für die Membrantechnik intensiv geforscht wird und bereits einige erste Ergebnisse diesbezüglich vorliegen (siehe Holt et al. 2006; Hinds et al. 2003; Kalra et al. 2003).

CNT sind Gebilde, die ausschließlich aus Kohlenstoffatomen aufgebaut sind. In der Anordnung der Atome stellen CNT (und verwandte Strukturen) – neben der Diamant- und der Graphitanordnung – eine weitere, lange Zeit unbekannte Form dar (vgl. Abbildung 121). Jedes der Kohlenstoffatome ist in einem hexagonalen Ring integriert (wie beim Graphit), allerdings sind die Ringe zu einer Röhre aufgerollt und an den beiden Enden durch eine Halbkugel verschlossen. Das innere der Röhre ist leer. (Bhushan 2006: 43ff)

Abbildung 121: Kohlenstoff-Nanoröhren (CNT): a) Zick-zack-Typ; b) Armsessel-Typ; c) Helix-Typ



(Quelle: Bhushan 2006, S. 45; Quellenangaben des Originals nicht übernommen)

Abbildung 121 zeigt lediglich das Grundschema von CNT, nicht aber deren übliche Dimensionen. Ein wesentliches Kennzeichen der CNT ist nämlich deren extrem hohes Aspekt-Verhältnis, d. h. deren Verhältnis von Länge zu Breite (Durchmesser): In der Regel beträgt der Durchmesser von (einwandigen) CNT nur rund 2 nm, während deren Länge meist mehrere Hundert Nanometer oder sogar einige Mikro- bzw. Millimeter misst! Neben einwandigen gibt es auch noch mehrwandige CNT, welche aus zwei oder mehr CNT unterschiedlichen Durchmessers bestehen, wobei die kleineren Röhren in den größeren stecken. Das Aspekt-Verhältnis der mehrwandigen CNT ist meist deutlich kleiner als das der einwandigen, jedoch immer noch sehr hoch. (ibid.)

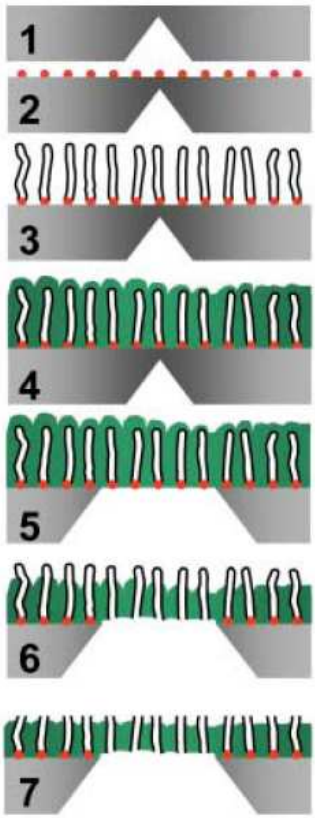
Wie eben erwähnt verdanken CNT die große Aufmerksamkeit, welche man ihnen seit einigen Jahren schenkt, vor allem ihrer beinahe fantastischen Eigenschaften, welche sie von allen anderen bisher gekannten organischen und anorganischen Stoffen und Materialien abhebt. Als einziges bekanntes Material können CNT sowohl metallisch als auch halbleitend sein (abhängig von der jeweiligen Feinstruktur der CNT) und weisen eine extrem gute Stromleitfähigkeit auf, was sie besonders für elektronische Anwendungen hoch interessant macht. Des Weiteren haben CNT eine bis zu zwanzigfach höhere Zugfestigkeit als Stahl, bei einer (Massen-)Dichte, die nur halb so groß ist wie die von Aluminium, weswegen CNT wiederum für extrem stabile und gleichzeitig leichte Konstruktionsmaterialien infrage kommen. Schließlich leiten CNT auch Wärme sehr viel besser als der beste bisher bekannte Wärmeleiter (Diamant). (ibid.)

Forschungen zum Einsatz von CNT als Membranmaterialien sind erst seit relativ kurzer Zeit unternommen worden und befinden sich sämtlich noch in der Grundlagenforschung (siehe bspw. Holt et al. 2006; Hinds et al. 2003; Kalra et al. 2003). Dabei sollen CNT senkrecht zur Membranoberfläche angeordnet werden, so dass die eine Öffnung der Röhren auf der einen und die andere Öffnung auf der anderen Seite der Membran liegen. Wassermoleküle wandern dann durch die CNT hindurch, wobei alle anderen Moleküle und Ionen zurückgehalten werden. Eine herausragende Eigenschaft dieser CNT-Membranen ist der extrem hohe Fluss, d. h. die Menge Wasser die pro Zeit- und Flächeneinheit durch die Membran dringt, welcher realisiert werden konnte: er liegt um Größenordnungen über dem von herkömmlichen Polymermembranen (Holt et al. 2006). Bei einer erfolgreichen Umsetzung solcher CNT-Membranen in die industrielle Praxis, könnten bspw. bei der Meerwasserentsalzung hohe Effizienzsteigerungen erreicht werden: sehr viel mehr Wasser könnte bei gleicher Fläche und gleichem Druck pro Zeiteinheit entsalzen werden (Corry 2008).

Die Herstellung der CNT-basierten Membranen ist in Abbildung 122 dargestellt. Auf ein Substrat (1)[78] werden Katalysatorpartikel aufgebracht (2), ausgehend von welchen dann die CNT durch chemische Gasphasenabscheidung (Englisch: „Chemical Vapor Deposition“, CVD) wachsen (3). Daraufhin wird das Substrat inklusive der CNT, ebenfalls im CVD-Verfahren, mit einem weiteren Stoff überzogen, der die Zwischenräume verfüllt sowie die oberen Enden der CNT überdeckt (4). Im nächsten Schritt werden das Substrat unterhalb der Membran (5), der oberste Teil der Füllschicht (6) sowie die oberen Enden der CNT (7) weggeätzt. Zurück bleibt eine Schicht, bestehend aus der Füllschicht aus Schritt (4) sowie den CNT, deren geöffnete Enden zu beiden Seiten der Schicht herausragen. Stofftransport ist damit nur durch das innere der CNT möglich. (Holt et al. 2006)

[78] Nummern in Klammern entsprechen den jeweiligen Nummern in Abbildung 122.

Abbildung 122: Herstellungsverfahren von CNT-Membranen *Erläuterungen: siehe Text*



(Quelle: Holt et al. 2006, S. 1035)

So einfach das soeben beschriebene Verfahren auch zu sein scheint: es ist in Wirklichkeit hoch kompliziert und sehr aufwändig (Shannon et al. 2008: 308). Bist tatsächlich CNT-basierte Membranen auf den Markt kommen, werden viele Jahre vergehen und eine ganze Reihe technischer Herausforderungen bezüglich der Herstellung, Optimierung und Funktionalisierung der Membranen gemeistert werden müssen. Dabei ist es nicht unwahrscheinlich, dass sich auch „neue“ alte Probleme in der Praxis ergeben werden: bspw. lässt die extreme Hydrophobie der CNT ein hohes Fouling-Potenzial der Membranen erwarten (ibid.).

7.2.5.5 Ultradünnschicht-Membranen

Einen weiteren Bereich bilden ultradünne Membranen (bspw. Bruening et al. 2008), die zwar auch relativ stark beforscht werden, bei denen aber die Zuordnung zur Nanotechnologie nicht ganz leicht ist. Das große Interesse an solchen Membranen fußt hauptsächlich auf der Tatsache, dass sich der Fluss durch eine Membran umgekehrt proportional zur Membrandicke verhält. Das heißt: je dünner die Membran ist, desto mehr Permeat pro Membranfläche und Zeiteinheit fließt durch eine Membran hindurch. Ein erhöhter Fluss steigert also den Umsatz einer Membrananlage und damit deren Leistungsfähigkeit insgesamt, was in der Regel mit sinkenden Kosten einhergeht.

Da solch extrem dünne Membranen (einige -zig bis einige 100 Nanometer) keinerlei mechanische Stabilität aufweisen, sind sie immer auf einem, ebenfalls porösen, Substrat aufgebracht, dessen Porenweiten jedoch deutlich größer sind als die der eigentlichen Membran. Es gibt eine ganze Reihe unterschiedlicher Verfahren, wie solche Ultradünschicht-Membranen hergestellt werden (einige davon werden bspw. bei Bruening et al. 2008 beschrieben). Jedes dieser Verfahren weist jedoch noch Probleme auf, welche derzeit noch häufig eine Umsetzung aus dem Labor in industrielle Anwendungen und damit eine erfolgreiche Kommerzialisierung verhindern (ibid.). Zu diesen Problemen zählen u. a. die mangelhafte Haftung der Membran auf dem Substrat, die Fehlerhaftigkeit der Membran, welche sich aufgrund der dünnen Schichtdicke gravierend auf die Selektivität der Membran auswirkt, sowie die hohen Kosten der tlw. sehr aufwändigen, aus vielen Arbeitsschritten bestehenden Herstellungsverfahren.

Zwar ist die Frage, ob Ultradünschicht-Membranen der Nanotechnologie zugeordnet werden sollten oder nicht, nicht relevant für deren erfolgreiche Entwicklung und Anwendung, sie soll aber aufgrund des speziellen Fokus dieser Studie dennoch kurz diskutiert werden. Das charakteristische der Ultradünnschicht-Membranen besteht in der Schichtdicke, die einige Hundert Nanometer oder deutlich unterhalb 100 Nanometer betragen kann. Damit wird in einer Dimension eines der in der oben genannten Definition von Nanotechnologie (siehe Kapitel 7.2.5.1) erfüllt: die Unterschreitung einer Größe von ca. 100 Nanometern. Allerdings wird auf diese Weise zwar eine Verbesserung im Fluss erreicht, doch diese Verbesserung ist nicht von einer überragenden oder gar neuen Qualität. Vielmehr gilt, dass eine kontinuierliche Verringerung der Membrandicke auch eine mehr oder weniger kontinuierliche Erhöhung des Flusses zur Folge hat, und zwar unabhängig davon, ob es sich um 10.000, 1.000, 100, oder 10 Nanometer handelt. Damit bleibt das bloße Erreichen einer bestimmten Größendimension zumindest für die Ultradünnschicht-Membranen zunächst fast folgenlos und eine Zuordnung zur Nanotechnologie erscheint wenig sinnvoll und nutzbringend.

7.2.5.6 Nanopartikel in Polymermembranen

Klar der Nanotechnologie zuzuordnen ist die Verwendung von Nanopartikeln in Polymermembranen zur gezielten Einstellung bestimmter Eigenschaften der Membran (bspw. Cong et al. 2007; Hill et al. 2005; Andrady et al. 2004). Diese Optimierung bzw. Funktionalisierung von Polymeren mithilfe von Nanopartikeln ist dabei nicht nur für Membrananwendungen, sondern generell für alle Anwendungen, in denen Kunststoffe mit klar definierten Eigenschaften zum Einsatz kommen, von hohem Interesse (vgl. Becker/Simon 2005; Usuki/Kato 2005).

Viele der Anstrengungen, welche in der Membranforschung und -entwicklung unternommen werden haben entweder eine Erhöhung der Selektivität oder der Durchflussrate (Permeabilität) der Membran zum Ziel. Beide Parameter bestimmen entscheidend die Leistungsfähigkeit und somit auch Wirtschaftlichkeit einer Membran, weswegen beide möglichst maximiert werden sollten (Melin/Rautenbach 2006: 5). Leider aber verhalten sich beide Parameter in der Regel umgekehrt proportional, d. h., eine Steigerung des einen geht meist zu Lasten des anderen Parameters (Cong et al. 2007). Werden nun jedoch (anorganische) Nanopartikel, wie bspw. aus Silizium (Hill et al. 2005; Andrady et al. 2004) oder auch Titandioxid (Cong et al. 2007), dem Polymer beigemischt, erhöht sich die Selektivität bei gleich bleibenden oder sogar gesteigerter Permeabilität (Cong et al. 2007; Hill et al. 2005; Andrady et al. 2004). Interessant ist dabei, dass es keine einfachen linearen Abhängigkeiten zwischen Partikelgröße und Selektivität/ Permeabilität zu geben scheint – und ab einer bestimmten Partikelgröße verbessert sich zwar die Selektivität, nicht aber die Permeabilität (ibid.).

Des Weiteren gelingt es mithilfe dieser Nanokomposit-Membranen auch, die jeweiligen Vorteile von Polymer- und Anorganischen Membranen zu vereinen und deren jeweiligen Nachteile abzumildern (Cong et al. 2007). So zeichnen sich Polymermembranen durch niedrigere Herstellungskosten, höhere Flexibilität bezüglich der Modulformen und leichtere Verarbeitung des Materials aus, sind aber weniger Druck- und Hitzebeständig und reagieren leichter. Anorganische Membranen als Metallen, Metalloxiden oder Keramiken hingegen sind deutlich teurer in der Herstellung und benötigen aufgrund ihrer leichten Brüchigkeit größere Modulbauweisen. Dafür weisen sie aber in der Regel bessere Selektivitäten auf und sind deutlich robuster bezüglich Temperatur, Druck und oxidierenden Stoffen. Durch Polymermembranen mit anorganischen Nanopartikeln nun können, wie erwähnt, die Vorteile beider Membrantypen zusammengebracht werden, ohne dass aber die Nachteile verstärkt würden. Bis solche Nanokomposit-Membranen jedoch Marktreife erreichen sind noch große Anstrengung in Forschung und Entwicklung notwendig (Cong et al. 2007).

7.2.6 Zusammenfassung und Fazit zum Vertiefungsfall Membrantechnologie

Membranen sind Vorrichtungen zur Trennung von Stoffgemischen und kommen als solche in einer Vielzahl zum Teil höchst unterschiedlicher Anwendungen zum Einsatz. Hinsichtlich der Zusammensetzung werden grundsätzlich Polymer- von anorganischen Membranen unterschieden, wobei erstere deutlich weiter verbreitet sind als letztere. Des Weiteren werden Unterscheidungen hinsichtlich der Verfahren, in denen Membranen eingesetzt werden,

vorgenommen. Zu den klassischen Verfahren zählen dabei die Umkehrosmose (RO)[79], Nanofiltration (NF), Ultrafiltration (UF) und Mikrofiltration (MF) sowie die Elektrodialyse (ED). Weitere Verfahren sind die Pervaporation (PV), Dampfpermeation (DP) und Gaspermeation (GP) sowie Membrankontaktoren (MK) und Membranreaktoren (MR). Jedes der genannten Verfahren findet in vielen verschiedenen Ausführungen Anwendung. Dabei kommen sowohl dichte Membranen, d. h. porenlose, als auch poröse Membranen zum Einsatz.

Die Anwendungsfelder der Membrantechnik sind extrem heterogen und breit. Sie reichen von der Abwasserbehandlung, Trinkwasserherstellung (inkl. Meerwasserentsalzung) und Prozesswasserherstellung (inkl. ultrareines Wasser für Pharma- und Halbleiterindustrie) über die Rückgewinnung von Stoffen aus Reaktions- und Verarbeitungsprozessen in verschiedenen Industriebereichen (wie Lebensmittel-, pharmazeutische, chemische Industrie oder Bergbau) bis hin zu alternativen Reaktionsprozessen in der (petro-)chemischen Industrie. Der Markt für Membrantechnik ist dementsprechend ebenfalls sehr breit gefächert und hat mittlerweile wahrscheinlich ein globales Gesamtvolumen von ca. 10 Milliarden US-Dollar[80] erreicht. Aufgrund zu erwartender technischer Forschritte im Bereich Membranherstellung und -optimierung sowie vor allem auch aufgrund erhöhter Bedarfe sowohl im direkten Umweltschutzbereich (bspw. Abwasseraufbereitung) als auch indirekt durch zunehmende Ressourcenverknappung (Rückgewinnung von Wertstoffen aus industriellen Prozessen) werden in vielen Membran-Marktsegmenten Wachstumsraten zwischen 5 % und 10 %, in einigen Bereichen wie der bspw. der Meerwasserentsalzung sogar über 10 % pro Jahr erwartet.

Die Frage, welchen Beitrag die Nanotechnologie zur Membrantechnik leisten kann und wird, ist nicht ganz einfach zu beantworten. Zunächst einmal muss nämlich geklärt werden, welche Bereiche der Membrantechnik aus welchen Gründen der Nanotechnologie zugeordnet werden können und sollten. Denn viele Membranen weisen Porengrößen von (tlw. weit) unter 100 nm auf und bilden somit Strukturen einer Größenordnung, die häufig als Grenze für die (Nicht-)Zugehörigkeit zur Nanotechnologie genannt wird. Allerdings fehlt es vieler dieser Membranen an wirklich neuen Eigenschaften oder Funktionen, so dass eine pauschale Subsumierung aller Membranen mit Porengrößen kleiner oder gleich 100 nm im Rahmen dieser Studie als wenig sinnvoll und zielführend angesehen wird.

Allerdings gibt es auch einige Entwicklungen in der Membrantechnik, bei denen Strukturen im Nanometer-Bereich zum Einsatz kommen und damit signifikante Verbesserungen oder

[79] von Englisch: „reverse osmosis“
[80] geschätzt aufgrund der Daten, die in Tabelle 9 (Kapitel 7.2.4) angegeben sind; Studien zum Gesamtvolumen des Membranmarktes konnten nicht recherchiert werden

sogar neue Funktionen und Eigenschaften realisiert werden. Hierzu zählen Membranen für Protonenaustauschermembranen, die bspw. in Brennstoffzellen eingesetzt werden. Durch eine Integration von Kohlenstoff-Nanoteilchen verschiedenster Formen kann eine deutlich bessere Leistungsfähigkeit der Membran erreicht werden. Auch die Verwendung von so genannten Block-Copolymeren in der Membranherstellung kann der Nanotechnologie zugeordnet werden. Mithilfe von solchen Materialien können die Porengrößen und -strukturen von Membranen sehr viel besser eingestellt und damit ebenfalls die Leistungsfähigkeit der Membran erhöht werden. Ein weiteres Beispiel für nanotechnologische Ansätze in der Membrantechnik stellt die Verwendung von Kohlenstoff-Nanoröhren (CNT) als Membranwerkstoff dar. Beforscht und entwickelt werden dabei CNT insbesondere in der Wasserfiltration. Ebenfalls eine Nanometer-Dimension wird bei ultradünnen Membranen erreicht, wenngleich in diesem Fall die Zugehörigkeit zur Nanotechnologie nicht ganz klar ist. Da die Durchflussrate einer Membran in der Regel von deren Dicke abhängig ist, strebt man eine möglichst dünne Membran an. Aufgrund von verbesserten Herstellungsverfahren und robusteren Materialien, können mittlerweile Schichtdicken von tlw. deutlich unter 100 nm realisiert werden. Ein klarer Fall von Nanotechnologie liegt hingegen bei den so genannten Nanokomposit-Membranen vor. Dies sind Polymermembranen, denen anorganische Nanopartikel beigemischt werden. So können entscheidende Eigenschaften der Membranen verbessert werden und es stellen sich tlw. Phänomene ein, die bei größeren Partikeln der gleichen Zusammensetzung nicht auftreten – ein Charakteristikum der Nanotechnologie.

In der Gesamtbetrachtung der verschiedenen nanotechnologischen Ansätze, die derzeit in der Membrantechnik verfolgt werden, muss jedoch festgestellt werden, dass deren Umsetzung in marktfähige industrielle Produkte und Verfahren größtenteils erst mittel- bis langfristig erwartet werden kann, da sich die meisten der hier beschriebenen Entwicklungen erst in der Grundlagenforschung befinden. Daher ist es auch kaum möglich, Aussagen darüber zu treffen, welchen ökonomischen oder technologischen Einfluss diese Produkte und Verfahren auf das gesamte Feld der Membrantechnik haben werden. Einiges spricht aber dafür, dass in vielen Bereichen deutliche Verbesserungen der Membrantechnik und -verfahren erreicht werden können, die sich wahrscheinlich auch in einem entsprechenden wirtschaftlichen Erfolg niederschlagen werden.

7.3 Oberflächenfunktionalisierung

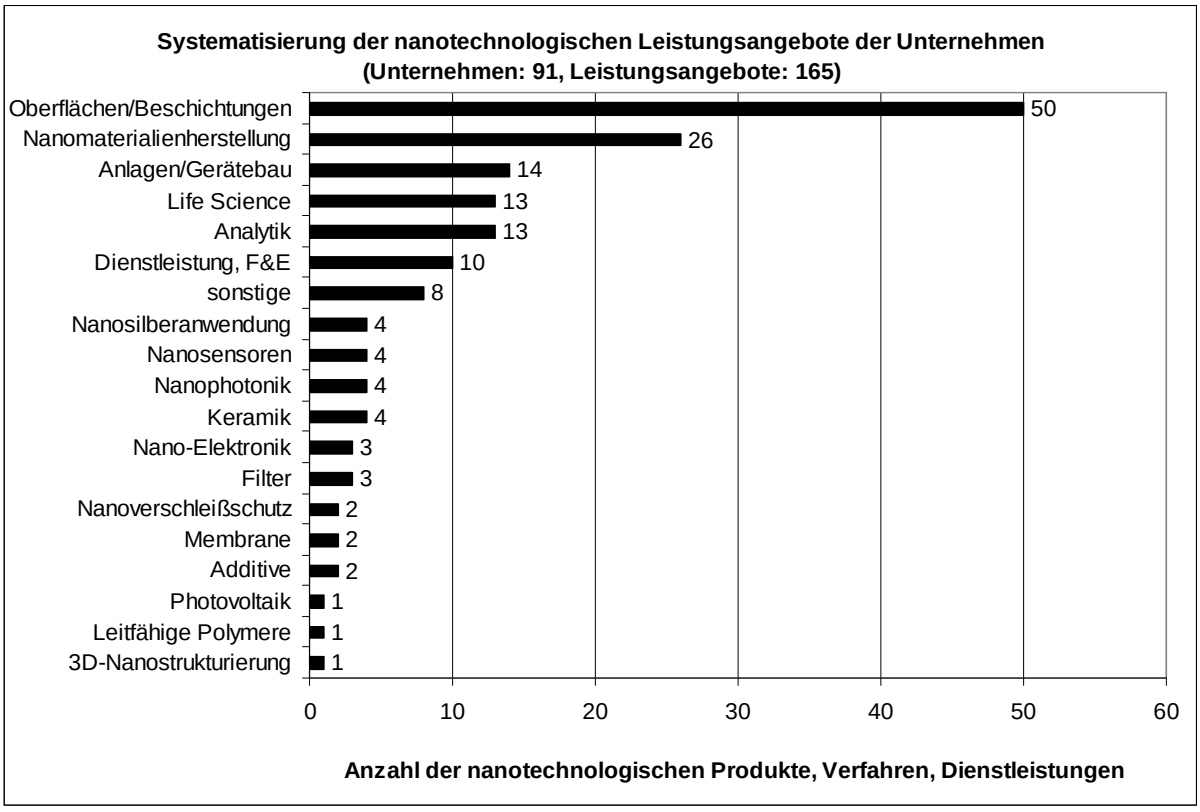
In dieser Vertiefungsstudie wird versucht ein möglichst genaues Bild der verschiedenen Oberflächenfunktionalisierungen mit Hilfe der Nanotechnologie wiederzugeben. Dabei wird

aufgrund der Komplexität und Heterogenität der verschiedenen Oberflächenfunktionalisierungen ein Schwerpunkt auf den Bereich Lackieren bzw. die verschiedenen Möglichkeiten der Lacke und Farben mit der Nanotechnologie gesetzt. Es soll dargelegt werden, welche Möglichkeiten Nano, schon vielfach heute unter dem Einsatz verschiedener Lacke und Farbe, bietet und welche Chancen für den Standort NRW bestehen.

7.3.1 Bedeutung der Oberflächenfunktionalisierung

Eine Analyse der am Markt befindlichen Nanoprodukte verdeutlicht die Bedeutung der Oberflächentechnik auf den Nanomarkt. Anhand der Umfrageergebnisse dieser Studie wird die Dominanz der Oberflächenfunktionalisierung bestätigt. Circa ein Drittel der über die Fragebögen erfassten Nanoprodukte lassen sich dem Leistungsangebot Oberflächen/Beschichtung zurechnen und stellt damit den mit Abstand größten Bereich innerhalb der Nanoprodukte/-verfahren.

Tabelle 10: Systematisierung der nanotechnologischen Leistungsangebote der Unternehmen



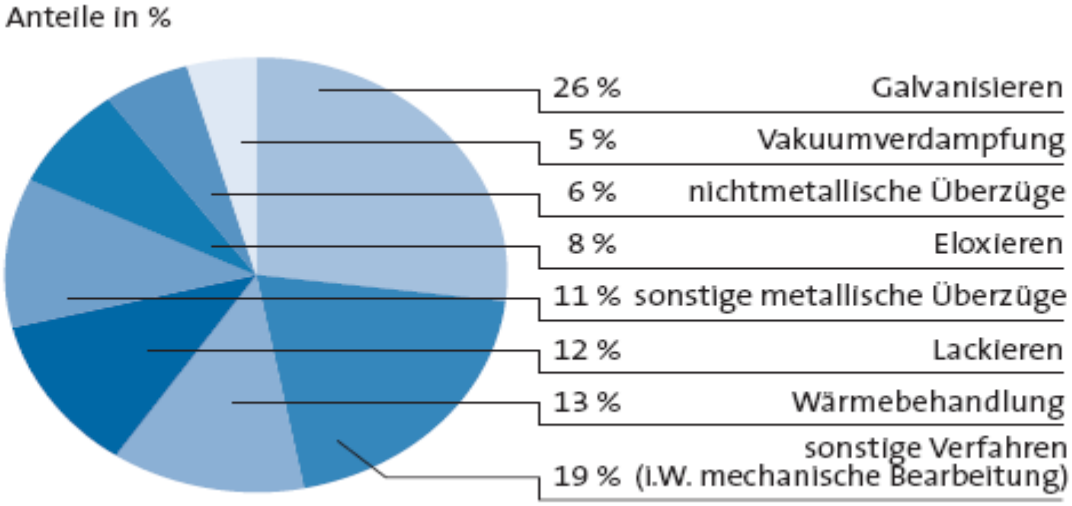
(Quelle: eigene Erhebung)

Durch eine ständige Weiterentwicklung der Oberflächentechnik ist es gelungen die Qualität, die Eigenschaften und das äußere Erscheinungsbild von Produkten ständig voranzubringen. Mit Hilfe der nanotechnologischen Weiterentwicklung der Oberflächentechnik lassen sich funktionelle Produkteigenschaften erreichen, die erst Vorteile der Produkte erzeugen und die

Einsatzfähigkeit eines Produktes sichert. Die Abgrenzung eigener Produkte von potenziellen Konkurrenzprodukten wird im heutigen Marktumfeld immer wichtiger. Hierbei bietet eine Oberflächenfunktionalisierung durch Nano entscheidende Chancen, was sich an den Leistungsangeboten der in dieser Studie untersuchten Firmen gut widerspiegelt.

Zur Strukturierung des Marktes der Oberflächentechnik sei auf folgende Grafik verwiesen. Sie stellt die Anteile verschiedener Verfahren an der Oberflächenveredlung dar.

Abbildung 123: Anteile verschiedener Verfahren an der Oberflächenveredelung



(Quelle: IKB 2004, nach Statistisches Bundesamt)

Dabei stellt den größten Anteil mit 26% die Galvanotechnik ebenso wie die mechanische Bearbeitung mit 19% dar. Gefolgt werden diese Verfahren von der Wärmebehandlung und dem Lackieren mit jeweils 13% bzw. 12%. Die wirtschaftliche Situation der Oberflächenbranche in Deutschland erweist stabil und hat in den letzten Jahren Umsatzzuwächse realisieren können.

Innerhalb dieser Vertiefungsstudie wird verstärkt der Bereich Lackieren bzw. Lacke und Farben im Bereich der Oberflächentechnik betrachtet. Dabei werden aktuelle und potenzielle Akteure benannt und schon am Markt befindliche und erwartete Nanoprodukte bzw. -verfahren kurz erläutert.

Die Industriekreditbank ermittelte für die gesamte Oberflächentechnikbranche in Deutschland einen jährlichen Gesamtumsatz von ca. 17,5 Mrd. Euro. Dabei ist ein Hauptabnehmer von Oberflächenbeschichtungen und Treibkraft des Wachstums der Automobilsektor, der rund 40 % der gesamten Leistungen abfragt. Die Hersteller von Lackierungstechnik konnten in den vergangenen Jahren bspw. hohe Umsatzzuwächse von jährlich ca. 10 % generieren und erreicht einen Jahresgesamtumsatz laut VDMA von ca. 2,5 Mrd. Euro. In diesem Bereich ist

Deutschland weiterhin Exportmeister und führt mit einem Welthandelsanteil von 28 % das Ranking der Oberflächentechnikländer vor den USA mit 16 % und Japan mit 9 % an. Dabei sind die Hauptabnehmerländer von Lackiertechnikprodukten die EU-Mitgliedsstaaten. Erhebliches Wachstumspotenzial wird bspw. in Ländern wie Russland und der Türkei gesehen. Die Lackindustrie erreichte in den vergangen Jahren ebenfalls neue Höchststände in der Produktion. So stieg die Produktion von Lacken und Farben im Jahre 2006 auf das beste Ergebnis der vergangenen Jahre auf eine Gesamtjahresproduktion von 2,22 Mio. Tonnen Lacke und Farben und auch für 2007 wird ein Mengenzuwachs von ca. 1,5 % erwartet.
Laut dem Zentralverband Oberflächentechnik wird auch im Galvanosektor mit zweistelligen Umsatzzuwächsen gerechnet. 2007 wird, wie schon 2006, ein durchschnittlicher Zuwachs im Industriegalvanikbereich von 15 % und im Lohngalvanikbereich mit 10 % erwartet. Ein weiterer bedeutender Wachstumsschub wird im Oberflächentechnikbereich Industrielle Plasma-Oberflächentechnik gesehen. Das Umsatzvolumen hat sich zwischen 2004 und 2006 um 75 % erhöht und erreichte 1 Mrd. Euro. (JOT 2007a)

7.3.2 Nanotechnologische Einsatzmöglichkeiten in der Oberflächentechnik bzw. im Farben- und Lackbereich

7.3.2.1 Verschiedene Nanonutzungen

Der Bezug der Nanotechnologie in der Oberflächentechnik findet sowohl im Einsatz von Nanopartikeln im Lack, die Herstellung von Nanostrukturen bzw. Nanoarchitekturen sowie das Erstellen von Dünnschichten im Nanobereich Anwendung. Folgend werden die drei unterschiedlichen Arten des Nanoeinsatzes kurz erläutert.

Nanopartikel

Nanopartikel sind Nanometer kleine Feststoffteilchen, die in Lacksysteme oder Farben eindispergiert (feinst vermischt) werden und in der Lage sind, die Eigenschaften der Lacke und Farben komplett zu verändern. Nanopartikel sind wesentlich kleiner als die Wellenlänge das sichtbare Licht und erscheinen dadurch in den Lacken und Farben als unsichtbar. Dies hat den großen Vorteil, dass man Nanopartikel bis zu einer gewissen Konzentration einsetzen kann ohne die optischen Eigenschaften des Ursprungsmaterials zu verändern. Erst bei größeren Konglomerationen der Nanopartikel kommt es zu einem Schleier und Farbeigenschaften der Lacke und Farben werden gestört. So können transparente funktionalisierte Beschichtungen für Produkte hergestellt werden, die vorher in dieser Form noch nicht möglich waren. (u. a. Fahrner 2003, Rössler 2006)

Nanostrukturen

Hierbei kommt es darauf an, chemisch oder physikalisch höchst gleichmäßige Oberflächenstrukturen herzustellen, deren Struktureinheiten nur einige Nanometer klein sind und zu besonderen Eigenschaften der Oberflächen führen. Dies kann u. a. durch verschiedene Ätzungen, Lithographieverfahren oder dem sogenannten Nanoimprinting erfolgen. Das Nanoimprinting ist ein Replikationsverfahren, welches eine vorhandene Nanostruktur eines Stempels auf z.B. eine Schicht eines thermoplastischen Polymers erzeugt. Ein Beispiel für Nanostrukturen im Oberflächenbereich mit Umweltentlastungspotenzial wäre der so genannte Lotuseffekt, welcher lediglich auf einer physischen Oberflächenstruktur von kleinen Noppen und entsprechenden Tälern dazwischen basiert und der Blattoberfläche eines Lotusblattes nachempfunden ist. (u. a. Fahrner 2003, Rössler 2006)

Nanoschichten

Nur nanometerdünn, meist nur aus wenigen Molekülschichten bestehend, werden diese Schichten z.B. durch die nass-chemische Sol-Gel-Technologie auf die zu bearbeitenden Oberflächen aufgetragen. Auch diese Schichten können die Eigenschaften entscheidend ändern. Mittels kontrollierter Hydrolyse und Kondensation des Lösungsmittels, wächst aus einer flüssigen Stoffmischung ein amorpher Verbund von Schichten. Diese nanometerdünnen Beschichtungen werden an deren Oberfläche unter Einsatz weiterer Substanzen funktionalisiert. So ist der Einsatz von hydrophobierenden Substanzen in der Holzoberflächenbehandlung denkbar, der einen direkten Wasserschutz des Holzes garantiert. (u. a. Fahrner 2003, Rössler 2006) Aus Sicht des Umwelt- und Ressourcenschutzes sind Nanoschichten interessant, da sich allein durch die Reduktion der Schichtdicke die Masse pro Flächeneinheit des benötigten Lackes signifikant reduzieren lässt (vgl. Steinfeldt et al. 2004).

7.3.2.2 Beispiele für Oberflächenfunktionalisierungen

Eines der wichtigsten Anwendungsfelder der Nanotechnologie betrifft die Oberflächenfunktionalisierung bzw. -veredelung. Durch nanotechnologische Verfahren sind heute schon folgende Oberflächeneigenschaften plus Anwendungsmöglichkeiten, mit direkten bzw. indirekten Umwelteffekte, kurz vor der Markteinführung bzw. schon marktreif:

- Antimikrobielle/ hygienische Beschichtungen (medizinische Geräte, Gebrauchsgüter wie Laptoptastaturen oder Kühlschränke)
- Kratzfeste Beschichtungen (Autolacke)

- Photokatalytische Beschichtungen (Fassadenfarben, Fenster-, Photovoltaikbeschichtungen)
- Easy-to-clean (Fassadenfarben, Fenster-, Photovoltaikbeschichtungen)
- Anti-haft Beschichtungen (Prozesstechnik, Kochgeschirr)
- UV beständige Beschichtungen (Holzlacke)
- Schutz vor elektromagnetischer Strahlung (elektrische Geräte)
- Hydrophe Beschichtungen (Fassaden, Textilien)
- Nanolacke (Automobil-, Luftfahrtindustrie)
- Erhöhung der Säurebeständigkeit (Prozesstechnik)
- Rheologiemodifikationen (Maschinenbauteile)
- Barrierebildner/ Diffusionssperre (Lebensmittelverpackungen)
- Anti-fogging (Photovoltaik, Optik)
- Anti-fingerprint (Haushaltsgeräte und Armaturen)
- Anti-reflex (Photovoltaik, Optik)
- Anti-statik (Kunststoffverpackungen für elektrische Bauteile/Geräte)
- Feuerbeständigkeit/ Flammschutz (Kunststoffe aller Art)

Weitere in der Forschung befindliche Anwendungsfelder sind:

- schaltbare Lacke
- wärmeisolierende Beschichtungen
- Lacke zur Solarstromerzeugung
- elektrisch leitende Lacke
- selbstheilende Lacke

Folgend sollen einige der bedeuteten Oberflächenfunktionalisierungen die für den Bereich Lacke und Farben von Interesse sind sowie deren Umweltentlastungspotenziale kurz beschrieben werden.

7.3.2.2.1 Antimikrobielle Beschichtungen

Das Verhindern von mikrobieller und bakterieller Besiedlung von Oberflächen ist in bestimmten Bereichen des Alltags gewünscht und kann dazu führen, dass häufige und intensive Reinigungszyklen vermieden und die Verbreitung von Krankheitskeimen reduziert werden können. Dies ist bspw. speziell in Krankenhäuser oder anderen hygienisch sensiblen Bereichen im Küchen- oder Sanitärbereich wichtig. Anti-mikrobielle Beschichtungen sind nicht erst durch Nanotechnologie durchführbar geworden, jedoch erfahren die Beschichtungen

durch sie eine Optimierung und bessere Verwendung in verschiedenen Anwendungen. Die anti-mikrobielle Wirkung kann durch eingebettete antimikrobielle Substanzen in der Oberfläche oder durch das Freisetzen dieser aus der Oberfläche an die Umgebung erfolgen. Zwei sehr häufig eingesetzte Nanopartikel sind das nanoskalige Zinkoxid (ZnO) und das NanoSilber. Mit Hilfe dieser Beschichtung kann neben dem Gesundheitsschutz auch Ressourcenschutz wie bspw. Abfallvermeidung verbunden sein. So kann eine Substitution chemischer antimikrobieller, jedoch toxischer, Substanzen erreicht werden. (u. a. Heubach, Angerer 2007) Anwendungen dieser Art befinden sich schon seit längerem erfolgreich in Fassadenfarben auf dem Markt, so bietet eine in Oberhausen ansässige Firma eine Innenbeschichtung Bioni Hygienic an.

7.3.2.2.2 Photokatalytische Beschichtungen (Self-Cleaning)

Photokatalytische Beschichtungen sind aktive Beschichtungen die zur Reduktion von organischen Verschmutzungen an Oberflächen beitragen. Für die photokatalytische Redoxreaktion wird sowohl Wasser, Sauerstoff und UV-Licht benötigt. Durch die Absorption des UV-Lichtes durch die TiO_2-Partikel wird Wasser (H_2O) in Hydroxilradikale zersetzt und Sauerstoff (O2) wandelt sich zu Wasserstoffperoxid um. Das entstandene Wasserstoffperoxid (H_2O_2) und die Hydroxilradikale (OH-) haben einen oxidativen d.h. zersetzenden Effekt auf die organischen Verunreinigungen. Diese werden in ihrer Struktur aufgebrochen und lassen sich danach leicht abspülen.

Durch Oxidation zersetzen Titandioxid (TiO_2) enthaltende Oberflächen unter Einfluss von Licht alle anhaftenden organischen Partikel vollständig in gasförmige Teilchen.

In Deutschland noch weniger verbreitet, sind photokatalytische Oberflächen in Japan schon am Markt etabliert. Dies hat sicherlich auch in der erhöhten Luftfeuchtigkeit, und dem daraus resultierenden schnelleren Bewuchs von Gebäudeteilen mit organischen Substanzen, seinen Hauptgrund. Für das Funktionieren des photokatalytischen Effekts ist eine relative Luftfeuchtigkeiten von über 30 % notwendig. Dieser Reinigungseffekt ist jedoch nicht nur auf Nano-Titandioxidpartikel beschränkt. Dennoch können erst durch die Nanopartikel die Kundenanforderungen nach höchsten Lackqualitäten ohne Farb- und Glanzverlust kombiniert mit dem photokatalytischen Effekt realisiert werden. Auch wird durch Nanopartikel ein viel geringerer Anteil an Titandioxid benötigt als beim Einsatz von Partikel im größeren Maßstab.

Photokatalytische Beschichtungen haben vor allem dort Umweltentlastungseffekte, wo organische Verschmutzungen sonst durch häufiges Reinigen entfernt werden müssten bzw. die Funktionalität von Produkten eingeschränkt würden. Die Oberflächen von Solarzellen

stellen hierbei ein besonders interessantes Beispiel dar, da hier durch die Beschichtung eine dauerhafte hohe Wirkungsleistung der Kollektoren gesichert wird. Eine weitere Anwendung ist in Schwimmbädern vorstellbar. Sind die Wände mit photokatalytischen Beschichtungen ausgestattet, werden organische Substanzen wie z.B. Algen an der Schwimmbadwand direkt zersetzt und die entstandenen Hydroxilradikale können die Entkeimung des Wassers unterstützen. Ein anderer großer Einsatzbereich ist in der Beschichtung von Fassaden, Steine oder Außenmaterialien zu sehen. So kann der Reinigungsaufwand dieser Materialien bedeutend reduziert werden und eine Verminderung von Abwässern etc. sichergestellt werden. (u. a. Heubach, Angerer 2007; Schlegel 2006) StoPhotosan Color oder Frischeweiß sind Produkte mit oben beschriebenen Eigenschaften, die schon am Markt sind. Zu erwähnen sei hier auch, dass mit der Sachtleben Chemie GmbH ein großer Titandioxid-Hersteller in NRW beheimatet ist.

7.3.2.2.3 Superhydrophobe Beschichtungen (Lotus-Effekt, Easy-to-Clean)

Superhydrophobe Beschichtungen sind extrem Wasser abstoßende Oberflächen. Ein Wasserfilm zieht sich durch die extrem geringe Oberflächenenergie und damit minimierte Haftung zu großen Tropfen zusammen und nimmt dabei Schmutzpartikel sowie bspw. Ruß mit auf. Wassertropfen nehmen dabei nicht nur hydrophile (wasseranziehende) Schmutzpartikel in sein inneres auf, sondern auch hydrophobe Schmutzpartikel werden gebunden. Diese befinden sich jedoch nicht im inneren der Tropfen sondern haften an der Oberfläche. Auf diese Weise gelingt eine Reinigung von verschiedenen Partikeln an unterschiedlichen Oberflächen. Die Oberfläche wird sowohl durch eine spezielle Oberflächenstrukturierung, wie auch durch das Aufbringen von nanoskaligen hydrophoben Stoffen erzeugt. Ferner ist auch eine weitere Funktionalisierung in diesem Zusammenhang möglich. Soweit das Aufbringen von oleophoben (ölabweisenden) Stoffen gelingt, ist auch die Gefahr der Verschmutzung durch Öle oder Fette reduziert worden. Ein häufiges Problem der aktuellen hydrophoben Beschichtungen besteht zurzeit noch in der schlechten Abriebbeständigkeit der Nanostruktur, die zum Verlust der Hydrophobie führt. Zur Überwindung des Problems wird an sogenannten „Wachsreservoirschichten“ geforscht, die zu einem dauerhaft geringeren Reinigungsmittelaufwand bzw. zum dauerhaften Schutz von Ressourcen beitragen sollen. (u. a. Heubach, Angerer 2007; Groß, Sepeur 2006) Als ein Beispiel für hydrophobe Baumaterialbeschichtungen sei hier das von Evonik Industries AG in NRW entwickelte Produkt Protectosil genannt.

7.3.2.2.4 Superhydrophile Beschichtungen (Easy-to-Clean)

Superhydrophile Beschichtungen sind im Gegensatz zu oben beschriebenen hydrophoben Beschichtungen sehr stark wasseranziehend, es entstehen Wasserfilme. Dieser Wasserfilm wird unter Einsatz von Siliziumdioxid (SiO2) erzeugt, da dieses starke hydrophile Eigenschaften hat. Somit ist eine Oberfläche mit einer feinen Nanostruktur und einer Unterschicht aus Siliziumdioxid in der Lage anorganische Verschmutzungen, die prinzipiell nicht photokatalytisch gelöst werden können, zu entfernen. Diese angesetzten anorganischen Verschmutzungen werden bei Regen bzw. Feuchtigkeit von einem Wasser- bzw. Feuchtigkeitsfilm unterwandert und von der Oberfläche abgelöst. Auf dieser Art und Weise ist es möglich Verschmutzungen anorganischer Struktur auf vielfältigen Strukturen zu reduzieren. Wird dieser Effekt jedoch noch mit dem photokatalytischen Effekt von Nano-Titandioxidpartikeln gekoppelt, entsteht ein zusätzlicher Nutzen. Titandioxid-Partikel werden in Anwesenheit von Luft und Feuchtigkeit unter UV-Bestrahlung superhydrophil. Die Stärke der Wirkungsweisen des Titandioxids hängt stark von den unterschiedlichen Vorbehandlungsmethoden ab. Wird nun die richtige Kombination beider Eigenschaften gewählt, kann es gelingen, dass sowohl anorganische wie auch organische Verunreinigungen bei genügend Feuchtigkeit selbständig entfernt werden können. Die Anwendungen der superhydrophilen Beschichtung ist ähnlich den anderen Easy-to-Clean Beschichtung vorstellbar. (u. a. Groß, Sepeur 2006)

7.3.2.2.5 Kratzfeste Beschichtungen

Mit Hilfe kratzfester Beschichtungen kann es gelingen, robuste Materialien herzustellen die herkömmliche schwerere Materialien, wie z.B. Metalle im Automobilbereich, ersetzen, eine längere Haltbarkeit aufweisen oder einfach eine längere optische Reinheit gewährleisten, was z.B. für einen dauerhaften hohen Wirkungsgrad bei Solarzellen wünschenswert ist. Die Forderungen nach kratzfesten Eigenschaften von Beschichtungen stehen meistens in direkten Zusammenhang mit anderen hier beschriebenen neuen Nanoeigenschaften und wird folglich meistens in Verbund mit anderen Nanoeigenschaften angeboten Zwei Möglichkeiten um kratzfeste Oberflächen zu erreichen, ist die Modifizierung der Oberflächenmatrix mit harten Nano-Partikeln oder eine schichtweise Ausbildung der Oberfläche mit Hilfe des Sol-Gel Verfahrens. Als Nanopartikel kommen dabei Zirkoniumoxid, pyrogene Kieselsäure oder Titandioxid zum Einsatz. (u. a. Heubach, Angerer 2007)

7.3.2.2.6 Barrierebildner/Diffusionssperren

Diffusionssperren sind sowohl im Lebensmittel- wie auch im Metallbereich einsetzbar. Dabei können die Sperren die Migration von Schwermetallen sowie auch von Sauerstoff, Feuchtig-

keit oder Dämpfe verhindern. Die Diffusionssperren sind eine glasähnliche, im Sol-Gel Verfahren, hergestellte Hybridpolymerschicht, die durch Vernetzungsgrad und Schichtaufbau unterschiedliche Migrationsbewegungen unterbinden kann. In der Beschichtung von z.B. wasserführenden metallischen Leitungen, zur Unterbindung des Auslösen bzw. Auswaschens von Metall-Ionen, sowie zur Beschichtung von Lebensmittelfolien und damit einer besseren Konservierung oder in den inneren Wänden von PET-Flaschen zur Unterbindung von Wanderungsbewegungen von Stoffen sind einige umweltrelevanten Anwendungen zu sehen. (u. a. Heubach, Angerer 2007)

7.3.2.2.7 Nanolacke/dünne Nanoschichten

Zur Betrachtung eines weiteren Anwendungsfeldes in der Oberflächentechnik wird die Verwendung von Nanolacken in der Automobil- bzw. Luftfahrtbranche diskutiert. Dabei besteht in dem Erzeugen von dünneren Lackschichten eine der Hauptchancen für die Nanotechnologie im Umweltschutzbereich. Sollte es gelingen, dauerhaft eine dünne Lackschicht mit allen bisher erforderlichen Ansprüchen an den Lack, herzustellen, so kann ein großer Beitrag zur Reduzierung von Schadstoffen und des Ressourcenverbrauchs erreicht werden. Jedes eingesparte Kilo an Lackierung spart Treibstoff. Gerade im Luftfahrtbereich mit seinen großen Lackierungsflächen sowie auch im Automobilbereich ist eine große Anwendungschance zu sehen.

7.3.2.3 Zwischenfazit

Bei der Beurteilung des Einflusses der Nanotechnologie auf die Oberflächentechnik gibt es bei den Experten unterschiedliche Meinungen. Michael Bross zum Beispiel, Geschäftsführer des Verbandes der deutschen Lackindustrie e.V., sieht Potenziale, dass bis ins Jahre 2017 30 % des Branchenumsatzes der Lackindustrie auf die Nutzung von Nanotechnologie beruhen. Dabei ist er überzeugt, dass nanoskalige Werkstoffe die herkömmlichen Beschichtungsstoffe weiter verbessern. Oberflächenbeschichtungen werden daneben zusätzliche Funktionen übernehmen, die ohne die neuen Nanowerkstoffe so nicht umsetzbar gewesen wären. Anschließend ist er auch davon überzeugt, dass weitere neue Beschichtungsstoffe entwickelt werden, die es dieser Form heute noch nicht gibt. Speziell hofft er dabei, dass in Zukunft durch die Nanotechnologie Beschichtungen entwickelt werden, die elektrischen Strom aus Sonnenlicht erzeugen. Der Geschäftsführer vom Fachverband Allgemeine Lufttechnik im VDMA e.V., Dr. Thomas Schräder, schätzt das Potenzial von Oberflächenfunktionalisierungen (wie oben bereits beschrieben) als hoch ein, sieht jedoch die Marktreife noch nicht als überall gegeben an und in der jetzigen Situation einen Hype, der nicht immer

gerechtfertig ist. Seiner Meinung nach werden Nanoanwendungen in der Oberflächentechnik in Nischen seine Berechtigungen haben und auch für ein interessantes Wachstum sorgen, am Gesamtvolumen aller Oberflächentechnikverfahren wenig ändern. So erwartet er nicht, dass zukünftig aufgrund nanoskaligem Beschichtungsmaterials mehr beschichtet wird. (JOT 2007b)

In diesem Zusammenhang sei auch noch darauf hingewiesen, dass befürchtet wird durch „falsche“ Nanoprodukte im Oberflächenmarkt das Vertrauen der Konsumenten zu missbrauchen, da der Einsatz von Nanopartikel o. ä. nicht immer gewährleistet und kontrolliert wird und somit Erwartungen an „falsche“ Nanoprodukte gestellt werden, die sie nicht halten können und somit eine ganze Branche in Misskredit bringen können. Dies haben im Gespräch auch verschiedene Interviewpartner angedeutet. Der Begriff Nano in der Oberflächenbeschichtung würde teilweise inflationär genutzt, jedoch die Wirkungsweisen der Produkte seien nicht immer auf die Nanopartikel etc. zurückzuführen. So ist es zum Beispiel möglich, eine kleine Menge an Nanopartikeln in den entsprechenden Farben unterzumengen, jedoch zusätzlich auch Fungizide, die eine pilztötende Wirkung haben und somit das biologische Wachstum bzw. Verunreinigungen verhindern. Zu erwähnen sei an dieser Stelle ebenfalls, dass der Umgang mit Nanopartikeln per se nicht einfach ist und eine erfolgreiche Nutzung/Anwendungen ein gewisses Know-How erfordert. Verklumpungen und damit ein Verlust des Nanoeffekts bzw. der Nanofunktion der Nanopartikel stellen hierbei wohl eine der größten Herausforderungen in der Anwendung dar.

Größere weitere Probleme bzw. Forschungsbereiche sehen Experten in der fehlenden Oberflächenhärte der potenziellen Nanobeschichtungen, der Dauerhaftigkeit der erzeugten Effekte (Abriebfestigkeit) bzw. die Belastung der Auftragungsmedien der nanomodifizierten Oberflächenbeschichtungen. So lassen sich höhere Abnutzungserscheinungen an Spritzpistolen etc. bei Farben mit dem harten Nano-Titandioxid feststellen.

7.3.3 Bedeutung für NRW

Diese Vertiefungsstudie beschäftigt sich primär mit dem Bereich der Lacke und Farben innerhalb der Oberflächentechnik. In diesem Bereich ist das Bundesland Nordrhein-Westfalen (NRW) mit seiner Farben- und Lackindustrie besonders gut aufgestellt. In den Top 3 der umsatzstärksten Herstellern von Farben und Lacken im Jahre 2007 haben die ersten beiden Unternehmen ihren Hauptsitz in NRW und innerhalb der ersten 10 sind es sogar 7 Unternehmen deren Hauptsitz in NRW liegt bzw. große Produktionskapazitäten in NRW vorhanden

sind. In den Top 20 finden sich immerhin noch 11 Unternehmen mit sehr starken NRW Bezug. (vgl. Tabelle 11)

Tabelle 11: Deutschlands 20 umsatzstärkste Hersteller von Farben und Lacken im Jahr 2007

Rang	Unternehmen	Umsatz 2007 [Mio. EUR]	Mitarbeiter 2007	Mitarbeiter in NRW bzw. Deutschland	Hauptsitz bzw. Schwerpunkt in NRW
1	BASF	2.587		2.300	Münster
2	DuPont	1.100		ca. 2.500	Wuppertal, Köln, Hamm-Uentrop
3	DAW	978		2.900	
4	AkzoNobel	930		1.524	Köln, Düren, Hilden
5	Sto	884,7		2.286	
6	Altana	747		2.719	Wesel
7	Brillux	550	2.300		Münster
8	Sika	530		1.360	
9	Rohm and Haas	450		260	Arnsberg
10	Ostendorf	420	700		Coesfeld
11	PPG Indust-ries	350		821	Wuppertal
12	Meffert	261		687	
13	Dörken	250		650	Herdecke
14	Kluthe	217		440	
15	Grebe	187		505	
16	Mankiewicz	155		650	
17	Motip Dupli	150		350	
18	Sigma Coatings	83		279	Bochum
19	Hesse	81	500		Hamm
20	FreiLacke	79	360		

(Quelle: Farbe und Lack 6/2008, eigene Erhebung)

Anhand dieser Tabelle lässt sich die starke Position NRWs innerhalb der Farben und Lackherstellung feststellen. Die 11 NRW bezogenen Unternehmen hatten 2007 einen gemeinsamen Gesamtumsatz von ca. 7,55 Mrd. Euro und ca. 14.000 Beschäftigte innerhalb NRWs bzw. Deutschlands.

Bei den Unternehmen handelt es sich sowohl um „Nanounternehmen“, die aufgrund der Recherchen dieser Studie identifiziert wurden und dem Bereich Lacke und Farbe zugeordnet werden konnten, wie auch Unternehmen, die aufgrund ihrer Struktur und ihrem Tätigkeitsbereich für den Bereich Nano – Lacke und Farben interessant sind. Dabei wurden vor allem Unternehmen ausgewählt, die dem Wirtschaftszweig „Herstellung von Anstrichmitteln, Druckfarben und Kitten“ angehören und somit potenzielle Hersteller von Nanofarben und Nanolacken darstellen. Inwiefern diese Firmen sich schon mit der Nanotechnologie beschäftigen, ist innerhalb dieser Studie nicht feststellbar.

Anhand der Vielzahl der gelisteten Unternehmen ist NRW für die Nanotechnologie im Bereich der Oberflächentechnik speziell den Lacken und Farben sehr gut aufgestellt. Neben großen Farben- und Lackherstellern, findet sich in NRW auch vielfältige große wie kleine Chemieunternehmen, die alle mehr oder weniger schon mit der Nanotechnologie in Kontakt stehen. Aufgrund seiner Bevölkerungsanzahl bietet NRW nicht nur einen interessanten Endkonsumentenmarkt für Nanoprodukte wie z.B. Farben, Lacke und andere Beschichtungsprodukte für den Haushalt und Garten sondern auch weitere Anwendungsfelder in den gegebenen Kraftwerks- und Industriekapazitäten im Lande, die mit tlws. oben beschriebenen Nanoprodukten bzw. –verfahren hohe Umweltentlastungspotenziale versprechen.

7.3.4 Zusammenfassung

Es lässt sich festhalten, dass es eine große Anzahl verschiedener Anwendungsmöglichkeiten der Nanotechnologie in der Oberflächentechnik bzw. speziell im Bereich Lacke und Farben gibt. Am weitesten in der Entwicklung fortgeschritten sind sicherlich die Beschichtungen im Easy-to-Clean Bereich. Dabei haben die Produkte für die privaten Endanwendungen nicht die größten Potenziale für die Umweltentlastung, sondern die funktionalisierten Oberflächenbeschichtungen im Industriebereich. Die Vermeidung von Stillstandzeiten durch Reinigungen im Druckereigewerbe oder Kraftwerksbereich sollen als Beispiele angeführt werden. So kann durch antihaft-Beschichtungen eine Anbackung von Schlacken und Aschen in verschiedenen Kraftwerksbereichen reduziert werden und ein hoher Wirkungsgrad erhalten bleiben. Des Weiteren können so die Reinigungszyklen verlängert bzw. vereinfacht werden. Auch andere Nanoschichten sind in der Entwicklung und werden teilweise schon in der Industrie eingesetzt. Durch das Auftragen einer Nanoschicht können unterschiedliche Bauteile vor Anhaftungen und Verschleiß geschützt werden und einen Beitrag zur effektiveren Ressourcennutzung beitragen. Sollten Nanobeschichtungen den Anforderungen der Industrie gerecht werden und sich in diesem Bereich durchsetzen, sind erhebliche Umweltentlastungspotenziale erschließbar.

8 Abschätzung der Beschäftigungspotenziale durch Herstellung und Nutzung nanotechnologischer Produkte und Verfahren in Deutschland

Das wirtschaftspolitische Interesse an Nanotechnologien kommt u. a. durch die Nachfrage nach wirtschaftsstatistischen Informationen und Indikatoren zum Ausdruck, die einen Eindruck von der wirtschaftlichen und regionalen Bedeutung des Nanotechnologie-Marktes vermitteln sollen. Für den Nanotechnologie-Markt stellt sich – wie für andere relativ neue Märkte auch – allerdings das Problem, dass er noch nicht durch die amtliche Statistik abgebildet wird. Bei den Nanotechnologien handelt es sich um Querschnittstechnologien, deren Anbieter und Nutzer über ein weites Spektrum von Wirtschaftszweigen (WZ) verstreut sind und mithin nicht als ein homogener Wirtschaftszweig identifiziert und klassifiziert werden (können). Es gibt mithin bisher keine statistische Konvention für den Bereich der Nanotechnologien, die eine einfache und rasche Präsentation von Wirtschaftsindikatoren für eine statistisch definierte „Nanotechnologie-Branche“ erlauben würde. Im vergleichbaren Fall der Querschnittstechnologie „Umwelttechnik“ dauerte es nahezu 30 Jahre, bis es zu einer allgemein akzeptierten statistischen Konvention kam (OECD/EUROSTAT 1999).

Vor diesem Hintergrund lässt sich die wirtschaftliche Bedeutung des Nanotechnologie-Sektors allenfalls durch Ad-hoc-Untersuchungen annäherungsweise umschreiben. Das IÖW hat dementsprechend eine schriftliche Befragung von Nanotechnologieunternehmen durchgeführt. Die Nanotechnologieunternehmen wurden ganz überwiegend über Datenbanken (nano-map.de, nanoproducts.de und nanofirmen-datenbank.de) sowie über Internetrecherchen und Messekataloge identifiziert. In der Summe konnten 866 „Nano-Unternehmen“ identifiziert in Deutschland werden. Der ganz überwiegende Teil der Unternehmen war in der Datenbank nano-map.de vertreten.

8.1 Vorgehen und Methoden

Mit der vorliegenden Untersuchung liegen nunmehr für Deutschland drei Studien vor, die sich unter anderem der Frage nach den Beschäftigungswirkungen durch Nanotechnologien im Unternehmenssektor widmen (vgl. ZTC VDI TZ 2004; RWI et al. 2007). Neben Gemeinsamkeiten und vergleichbaren methodischen Ansätzen weisen die drei Studien neben den unterschiedlichen Bezugsjahren auch erhebliche Unterschiede bei den Informationsquellen und den ausgewiesenen Indikatoren auf. Da sich die drei Studien auf unterschiedliche Basisjahre beziehen, kann der folgende Methoden-, Datenbasis- und Ergebnisvergleich auch

interessante Anhaltspunkte zur Dynamik des Nanotechnologiesektors in Deutschland vermitteln.

8.1.1 Vergleich der methodischen Ansätze und Datenquellen

Für den folgenden Ergebnisvergleich ist es unabdingbar, auf die Gemeinsamkeiten, Ähnlichkeiten und Unterschiede jenseits der unterschiedlichen Bezugsjahre hinzuweisen. Dabei zeigt sich, dass die drei Studien in weiten Bereichen hohe Gemeinsamkeiten aufweisen (vgl. Tabelle 12).

Tabelle 12: Ausgewählte Untersuchungen zu den Beschäftigungseffekten in Nano-Unternehmen: Methoden und Datenquellen

Quellen / Arbeitsschritte	VDI-TZ (2004)	RWI et al. (2007)	IÖW et al. (2008)
Definition Nanotechnologie	BMBF- Definition	BMBF- Definition	BMBF- Definition
Basisjahr	2002	2006	2007
Bestimmung der Grundgesamtheit von Nano-Unternehmen	Identifikation auf Grund von Selbstdeklaration von Unternehmen oder Teilnahme an Förderprogrammen Entwicklung der Nano-Map-Internetplattform	www.nano-map.de	www.nano-map.de www.nanoproducts.de www.nanofirmen-datenbank.de www.firmenwissen.de; IVAM: Nano-/Mikroatlas; Anbieterhinweise auf Nano-Messen und -Konferenzen; Berücksichtigung der Unternehmensbefragung
Ermittlung von Unternehmensdaten für Nano-Unternehmen (bspw. Wirtschaftszweig, Beschäftigte)	Markus-Datenbank (Creditreform); Unternehmensberichte und Web-Seiten; Fecht et al. (2003)	Amadeus -Datenbank	www.firmenwissen.de (Creditreform) Unternehmenswebseiten
Ermittlung der Gesamtbeschäftigten in Nano-Unternehmen	Für die Stichprobe von 167 Unternehmen aus allen Größenklassen	Für Grundgesamtheit KMU mit weniger als 250 Beschäftigten	Für Stichprobe von KMU mit weniger als 250 Beschäftigten
Ermittlung der Nano-Anteile bei den Beschäftigten	Schätzung auf Grund einer Unternehmensbefragung und Ergänzung durch Fecht et al. (2003)	nein	Berichtskreisergebnisse auf der Basis einer Unternehmensbefragung
Hochrechnung	Extrapolation der Stichprobenergebnisse nach Größenklassen	nein	nein
Potenzialschätzung	nein	nein	Schätzung auf der Basis der Nano-Anteile nach KMU Größenklassen und Wirtschaftszweigen
Schätzung der Beschäftigtenentwicklung im Nanobereich	Schätzung auf der Basis der Unternehmensbefragung für 2003-2006	nein	Qualitative Berichtskreisergebnisse für 2008-2010 im Vergleich zu 2007

(Quelle: eigene Darstellung)

Zunächst einmal ist festzuhalten, dass die drei Studien in konzeptioneller Hinsicht grundsätzlich einer vergleichbaren Sequenz von Arbeitsschritten folgen. Nach dem Versuch, eine Definition von Nanotechnologien vorzunehmen, erfolgt eine Identifizierung von vermutlichen Nanotechnologie-Anbietern. Für die vermutete Grundgesamtheit von Nanotechnologie-Anbietern werden dann aus Unternehmens-Datenbanken Informationen zu Umsätzen und Beschäftigten gesammelt. Da diese Unternehmens-Datenbanken noch keine konkreten Informationen zu den Nano-Aktivitäten enthalten, werden z. T. Unternehmensbefragungen in der Nano-Grundgesamtheit nachgeschaltet, die dann in unterschiedlicher Weise für Hochrechnungen oder Potenzialschätzungen weiter verwendet werden.

Die Unterschiede zwischen den drei Studien resultieren vor allem aus Unterschieden bei dem

- Anbieterverzeichnissen,
- verwendeten Unternehmensdaten,
- verfügbaren Informationen zu den Nano-Aktivitäten.

In der vorliegenden Studie ebenso wie in den Vergleichsuntersuchungen werden Nanotechnologien gleichermaßen als „enabling technologies“ definiert, d. h. sie beeinflussen auch andere Technologien und führen hier zu neuen Produkten mit neuartigen Eigenschaften (Fleischer/Grunwald 2005). Als Folge dieser zugrunde gelegten Definitionen betreffen nanotechnologisch basierte Werkstoffe, Verfahren und Produkte und damit zusammenhängende Dienstleistungen ein breites Spektrum von Wirtschaftszweigen und Aktivitäten. Nano-Aktivitäten finden sich nicht nur entlang der klassischen Wertschöpfungskette – etwa F+E, Herstellung, Vermarktung usw. –, sondern definitionsgemäß auch bei den Anwendern, Nutzern bzw. Investoren. Dadurch verschwimmt die in der amtlichen Statistik übliche Trennung zwischen Anbietern von Waren und Dienstleistungen einerseits (angebotsorientierter, produktionswirtschaftlicher Ansatz) und den Nutzern bzw. Anwendern andererseits (Investoren- oder Nutzerkonzept). Aus diesem Grund sind Untersuchungen auf der Basis derart breiter Definitionen und die dabei generierten wirtschaftsstatistischen Indikatoren nicht vergleichbar mit Unternehmens-, Umsatz- und Beschäftigungszahlen für Wirtschaftszweige der amtlichen Statistik.

Dies sei am Beispiel der Umweltwirtschaft der amtlichen Statistik verdeutlicht. Sie umfasst die Anbieter von Waren und Dienstleistungen für den Umwelt- und Ressourcenschutz, hingegen nicht die Anwender von Umweltschutzgütern, auch wenn für letztere Umweltschutzanlagen und -dienstleistungen integraler Bestandteil oder sogar Vorraussetzung für ihre Unternehmensaktivitäten sind. Hier käme also niemand auf die Idee, Umsätze und Beschäftig-

te zu erfassen, die im Zusammenhang mit der Nutzung und Anwendung von Umwelttechnologien stehen.

Die extensive Definition von Nanotechnologien als Querschnittstechnologien schlägt naturgemäß auch bei dem nächsten Arbeitsschritt, der Bestimmung der vermuteten Grundgesamtheit von sogenannten Nano-Unternehmen durch, d. h., in den jeweiligen Grundgesamtheiten finden sich sowohl Anbieter als auch Anwender. Die Pionierarbeit des ZTC VDI TZ (2004) mündete immerhin in eine Internetplattform (nano-map.de), die alle relevanten Anbieter und Anwender einbezieht, „bei denen derzeit im Nanotechnologiebereich Aktivitäten feststehen oder zumindest stark vermutet werden“ (ebenda). Leider lässt die VDI-TZ-Studie nicht erkennen, in welchem Maß die dafür durchgeführte Befragung der erfassten Anbieter und Anwender zu einer Korrektur der Grundgesamtheit beigetragen hat. Die RWI-Studie stützt sich ausschließlich auf nano-map.de ohne weitere Hinterfragung.

In der vorliegenden Studie wurden neben der VDI-Internetplattform noch weitere Informationsquellen genutzt. Darüber hinaus wurden auch die Ergebnisse unserer Unternehmensbefragung berücksichtigt, die darauf hindeuten, dass ein Teil der Unternehmen, die in den einschlägigen Unternehmensverzeichnissen als Nano-Anbieter geführt werden, sich nicht oder nicht mehr dem Nano-Markt zuordnen. Es ist anzunehmen, dass dies im Non-response-Bereich für weitere Unternehmen zutrifft. Gleichwohl wurde mangels robuster Zusatzinformationen davon abgesehen, die Anzahl der Nicht-Marktteilnehmer hochzurechnen.

Die Gründe für die Nicht-Zuordnung zum Nano-Markt, die im Einzelnen nur teilweise verifiziert werden konnten, sind vielfältig:

- tatsächliches Ausscheiden aus dem Markt,
- Geheimhaltung der eigenen Nano-Aktivität,
- Vermeidung lästiger Fragebogenaktionen,
- mangelnde Transparenz hinsichtlich der Nano-Aktivitäten im (Groß-) Unternehmen,
- Insolvenz des Unternehmens,
- Verkauf bzw. Fusionierung des Unternehmens.

In jedem Falle bleibt festzuhalten, dass in den drei Vergleichsstudien die angenommene bzw. verwendete Grundgesamtheit um mehr als 10 % zu hoch angesetzt sein dürfte.

In Bezug auf die konsultierten Unternehmensdateien zur wirtschaftsstatistischen Beschreibung der ausgewählten Nano-Unternehmen ist festzuhalten, dass die vorliegende Untersuchung nicht über die Ressourcen verfügte, um aufwändige Recherchen in Unternehmens-Datenbanken durchzuführen: Daher ist der von uns erfasste Anteil von Nano-Unternehmen,

für die Beschäftigungsangaben gewonnen werden konnten, so niedrig, dass er keine Hochrechnung für die angenommene Grundgesamtheit erlaubt.

Ausgehend vom RWI-Ansatz, nur die Gesamtbeschäftigten in den Nano-Unternehmen mit weniger als 250 Beschäftigten auszuweisen, können auch die Vergleichsdaten für die ZTC VDI TZ und die IÖW-Untersuchung berechnet werden. „Im Hinblick auf die Interpretation der nach diesem Konzept berechneten Beschäftigungsdaten ist allerdings [...] zu bedenken, dass nicht bekannt ist, in welchem Umfang die entsprechenden Unternehmen tatsächlich nanotechnologisch basierte Produkte herstellen“ (RWI et al. 2007). Dagegen erscheint es plausibel, Großunternehmen nicht in die Betrachtung einzubeziehen, da es bei ihnen „noch sehr viel schwieriger [ist], den auf die Nanotechnologie entfallenden Produktionsanteil zu bestimmen, so dass die Einbeziehung dieser Unternehmensgruppe zu erheblichen und nicht mehr interpretierbaren Verzerrungen führen würde“ (ebenda). Insofern haben die Vergleichsergebnisse eher exemplarischen Charakter und können nicht als Indikator für das tatsächliche Beschäftigungsvolumen der Nanotechnologie herangezogen werden (ebenda).

Vor dem Hintergrund der fehlenden Aussagekraft von Beschäftigungs- und Umsatzangaben für Nano-Unternehmen aus den Unternehmens-Dateien drängen sich Unternehmensbefragungen in den vermuteten Grundgesamtheiten geradezu auf. Sowohl die ZTC VDI TZ-Studie als auch die vorliegende Untersuchung sind diesen Weg – mit unterschiedlichen Response-Quoten – gegangen, um damit eine Hochrechnung bzw. eine Potenzialschätzung zu wagen. In Bezug auf die Interpretation der ermittelten Nano-Anteile bei den Gesamtbeschäftigten ist allerdings darauf hinzuweisen, dass es sich in beiden Studien nicht um Vollzeitäquivalente handelt. Die Ermittlung von x % der Gesamtbeschäftigten im unternehmerischen Nanobereich ist eine rein personenbezogene Betrachtungsweise. Sie sagt nichts über die tatsächliche Beschäftigung in Bezug auf Vollzeitäquivalente aus. Diese Anteile dürften in der Regel deutlich unter 100 % liegen.

In Bezug auf die ZTC VDI TZ-Studie ist noch zu bemerken, dass für die Ermittlung der Beschäftigtenzahlen im Nano-Bereich „keine absoluten Zahlen, sondern Größenbereiche abgefragt wurden“ (ZTC VDI TZ 2004). Dies führt zu erheblichen Unschärfen, wie die darauf aufbauenden Hochrechnungen zeigen.

Außerdem wurde „für die Ermittlung der Beschäftigtenzahlen der Umsatzanteil der Nanotechnologie herangezogen und 1:1 auf den Anteil der Beschäftigten im Zusammenhang mit der Nanotechnologie übertragen“ (ebenda). Dies führt zu erheblichen Verwerfungen, wie die umsatz- bzw. beschäftigungsbasierten Hochrechnungen in der ZTC VDI TZ-Studie zeigen. Detaillierte Analysen der Unternehmensangaben in der vorliegenden Studie unterstreichen die

Tatsache, dass die Umsatzanteile in der Regel deutlich höher als die Beschäftigungsanteile im Nano-Bereich liegen.

In der ZTC VDI TZ-Studie wurde eine Extrapolation der Befragungsergebnisse auf die vermutete Grundgesamtheit vorgenommen. Die erhebliche Diskrepanz zwischen den Hochrechnungen auf der Basis von Umsatzzahlen und denen auf der Basis von Beschäftigungs-Anteilsklassen deutet auf erhebliche Schwächen des umsatzbezogenen Hochrechnungsansatzes hin.

Die vorliegende Untersuchung musste sich mangels ausreichender Unternehmensdaten für die Grundgesamtheit auf eine Potenzialschätzung beschränken. Dabei werden die Befragungsergebnisse mit der amtlichen Statistik verknüpft. Im Einzelnen werden die Nano-Anteile in den Beschäftigungsgrößenklassen der KMU mit den vergleichbaren Beschäftigungsdaten für die Kernbereiche des Nano-Marktes, d. h. für die Wirtschaftszweige mit signifikanten Besetzungen im Nano-Bereich, verknüpft. Dieser produktionswirtschaftliche, angebotsbezogene Ansatz orientiert sich an dem vom NIW entwickelten Ansatz zur Schätzung der potenziellen Produktion von Waren für den Umwelt- und Klimaschutz (Legler et al. 2007).

Schließlich ist noch zu erwähnen, dass die vorliegende Studie sowie die ZTC VDI TZ-Untersuchung sich der künftigen Beschäftigungsentwicklung widmen. Während die vorliegende Untersuchung auf eine qualitative Abschätzung seitens der befragten Unternehmen abstellt, werden in der ZTC VDI TZ-Studie Wachstumsraten angeboten.

Etwas problematisch dürfte es sein, den Beschäftigungszuwachs bis 2006 auf der Basis der unterschiedlichen Hochrechnungsverfahren zu quantifizieren. Darüber hinaus scheint die Qualifizierung der Beschäftigungsentwicklung als „neu geschaffene Arbeitsplätze durch die Nanotechnologie“ (ZTC VDI TZ 2004) weder anhand der gestellten Frage in der Unternehmensbefragung noch aus methodischer Sicht (nur Behandlung von Brutto-Beschäftigungseffekten) vertretbar zu sein.

8.2 Ergebnisse

Im folgenden Teil sollen – soweit möglich und sinnvoll – ausgewählte Ergebnisse der für Deutschland bislang vorliegenden Studien gegenüber gestellt werden. Dabei handelt es sich im Einzelnen um Angaben zur

- vermuteten Grundgesamtheit von Nano-Unternehmen,
- Anzahl der Beschäftigten in Nano-Unternehmen,
- Anzahl der Nano-Beschäftigten in den Nano-Unternehmen,
- Extrapolation der Befragungsergebnisse,

- Abschätzung des Nano-Beschäftigungspotenzials sowie
- Beurteilung der Beschäftigungsentwicklung in den Nano-Unternehmen.

Soweit vorhanden werden die Ergebnisse auch nach Bundesländern, Wirtschaftszweigen und Unternehmensgrößenklassen differenziert ausgewiesen.

8.2.1 Die vermutete Grundgesamtheit von Unternehmen im Bereich Nanotechnologie

Der Ergebnisvergleich in Tabelle 13 illustriert sehr deutlich die Dynamik der Marktentwicklung im Bereich der Hersteller und Anwender von Nanotechnologien. Wurden 2002 noch ca. 450 Anbieter gezählt, hatte sich diese Zahl (unkorrigiert) Anfang 2008 nahezu verdoppelt. Selbst in dem Zeitraum zwischen der RWI-Internetabfrage im September 2006 und den IÖW-Recherchen bis Anfang 2008 zeichnet sich ein rasanter Zuwachs an nanorelevanten Anbietern ab, auch wenn ein wesentlicher Erklärungsfaktor dabei die Berücksichtigung von Unternehmensverzeichnissen außerhalb der nano-map-Plattform sein dürfte. Berücksichtigt man darüber hinaus, dass die Anbieterzahlen sowohl bei der ZTC VDI TZ-Studie als auch bei der RWI-Untersuchung nicht anhand von Befragungsergebnissen nach unten korrigiert wurden, lässt sich die Hypothese einer hohen Marktdynamik auf der Angebotsseite sicherlich uneingeschränkt aufrechterhalten.

Tabelle 13: vermutete Grundgesamtheit von Nanotechnologieunternehmen

Quellen / Indikatoren	VDI TZ 2004	RWI et al. (2007)	IÖW et al. (2008)
Basisjahr	2002	2006	2008
Unternehmen insgesamt	Ca. 450	646	866
Davon: KMU mit weniger als 250 Beschäftigten	o.A.	521	o.A.
Korrigierte Grundgesamtheit	Nein	nein	800

(Quelle: eigene Erhebung)

Tabelle 14: In der Nanotechnologie aktive Akteure nach Bundesländern (2007)

Einrichtung	BW	BY	BE	BR	HB	HH	HE	MV	NI	NW	RP	SL	SN	ST	SH	TH	Insgesamt
									Anzahl								
Netzwerke	5	9	2	0	0	5	4	0	4	11	2	2	3	0	1	0	48
Forschungseinrichtungen	17	6	6	5	2	2	2	2	7	13	3	3	18	2	2	4	94
Hochschulinstitute	13	18	4	2	4	5	14	2	17	44	3	3	22	1	4	6	162
KMU	62	73	37	4	10	11	69	9	20	81	18	20	56	14	19	18	521
Großunternehmen	15	30	2	0	0	4	20	0	9	23	5	3	8	0	1	5	125
Öffentliche Einrichtungen	3	5	6	1	2	1	6	1	4	10	1	1	3	1	2	1	48
Finanzinstitutionen	9	18	5	1	2	9	4	0	0	12	1	1	4	1	0	1	68
Insgesamt	124	159	62	13	20	37	119	14	61	194	33	33	114	19	29	35	1066
									Einrichtungen insgesamt = 100								
Netzwerke	10	19	4	0	0	10	8	0	8	23	4	4	6	0	2	0	100
Forschungseinrichtungen	18	6	6	5	2	2	2	2	7	14	3	3	19	2	2	4	100
Hochschulinstitute	8	11	2	1	2	3	9	1	10	27	2	2	14	1	2	4	100
KMU	12	14	7	1	2	2	13	2	4	16	3	4	11	3	4	3	100
Großunternehmen	12	24	2	0	0	3	16	0	7	18	4	2	6	0	1	4	100
Öffentliche Einrichtungen	6	10	13	2	4	2	13	2	8	21	2	2	6	2	4	2	100
Finanzinstitutionen	13	26	7	1	3	13	6	0	0	18	1	1	6	1	0	1	100
Insgesamt	12	15	6	1	2	3	11	1	6	18	3	3	11	2	3	3	100
Zum Vergleich																	
Bevölkerungsanteil	13	15	4	3	1	2	7	2	10	22	5	1	5	3	3	3	100
BIP-Anteil	15	18	4	2	1	4	8	1	9	22	4	1	4	2	3	2	100
SV-Beschäftigungsanteil	14	16	4	3	1	3	8	2	9	21	4	1	5	3	3	3	100

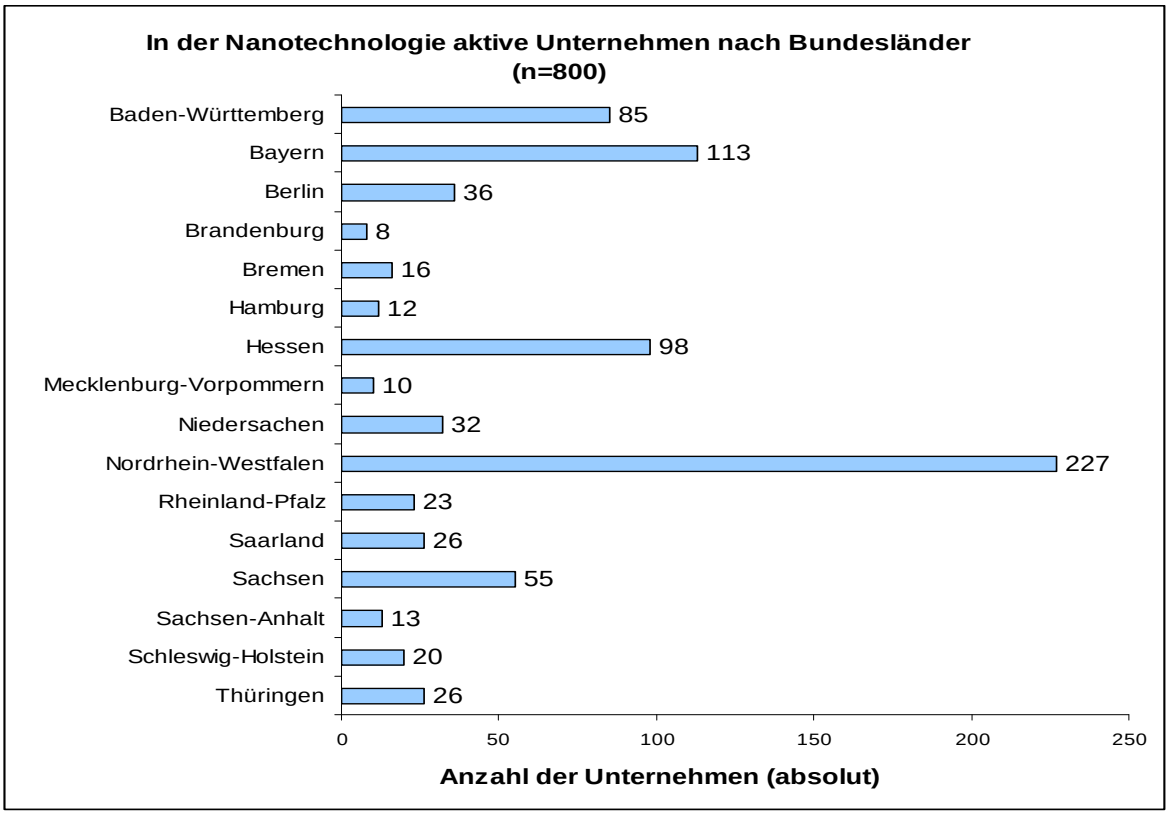
(Quelle: RWI et al. 2007)

Was die Marktpräsenz anbetrifft, so dominieren – gemessen an der Zahl der Anbieter – eindeutig die KMU mit weniger als 250 Beschäftigten (vgl.
Tabelle 14).

Einen Überblick über die Akteure im Nanotechnologiebereich nach Bundesländern liefern Tabelle 14 und Abbildung 124. Hier wird trotz unterschiedlicher Grundgesamtheiten übereinstimmend die starke Präsenz von Anbietern aus Nordrhein-Westfalen, Baden-Württemberg, Bayern, Hessen und Sachsen deutlich. Allerdings relativiert sich dieses Länder-Ranking, wenn man die Anzahl der Anbieter zu anderen Indikatoren – wie z.B. BIP oder sozialversicherungspflichtige Beschäftigten – in Beziehung setzt (vgl. Abbildung 125).

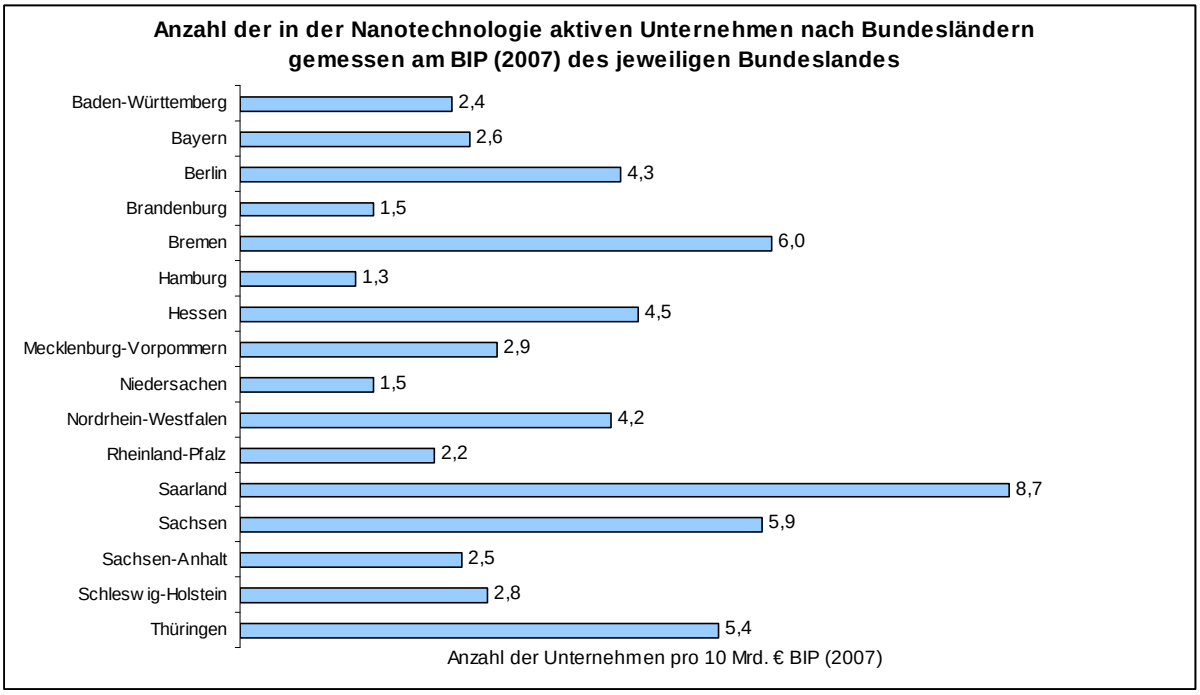
In sektoraler Hinsicht zeigt sich, dass die meisten in der Nanotechnologie tätigen Unternehmen den Wirtschaftszweigen wirtschaftliche Dienstleistungen (KA), Elektrotechnik, DV und Optik (DL) sowie dem Handel und der Kfz-Reparatur (GA) zuzuordnen sind (vgl. Abbildung 126).

Abbildung 124: In der Nanotechnologie aktive Unternehmen nach Bundesländern (2008)



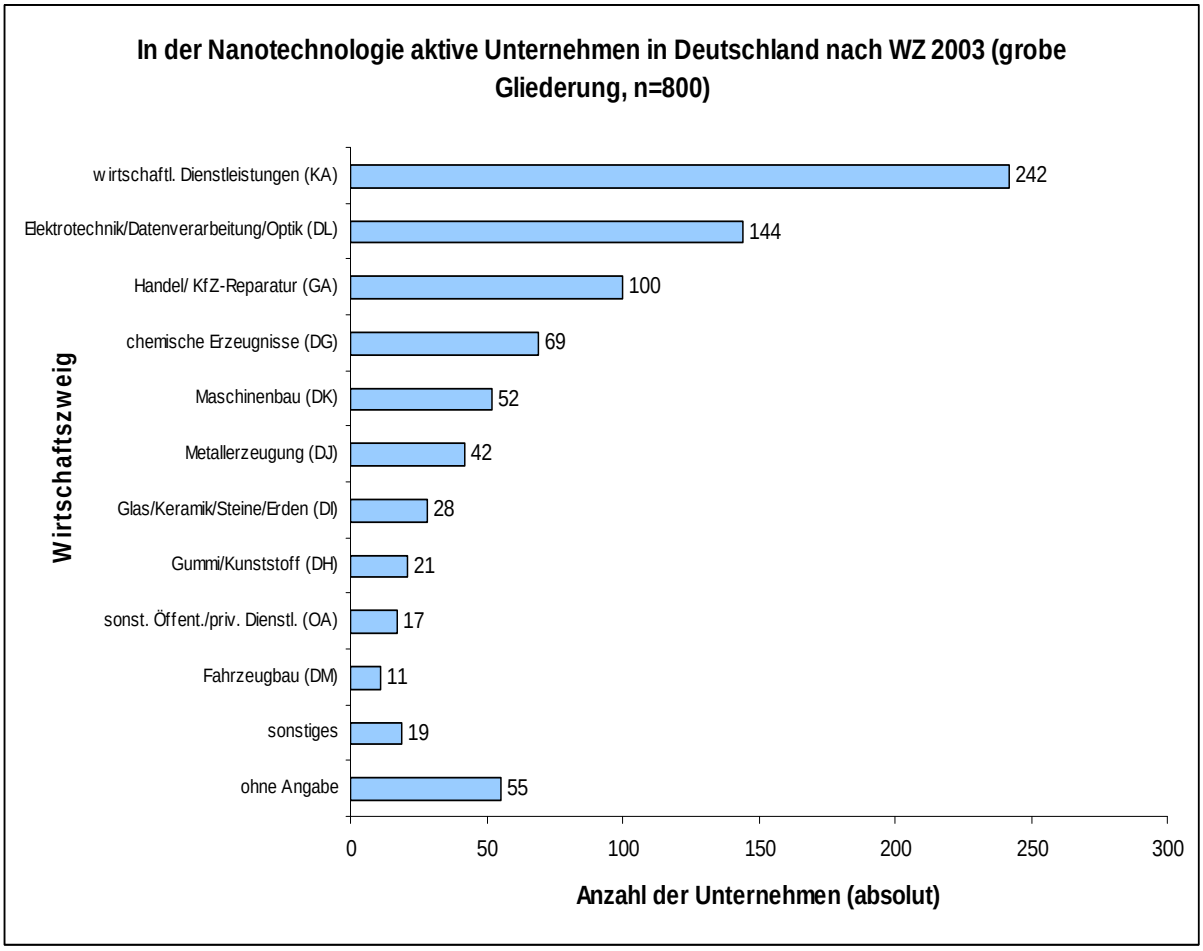
(Quelle: eigene Erhebung)

Abbildung 125: Anzahl von Nanotechnologie-Unternehmen nach Bundesländern in Relation zum BIP der Länder



(Quelle: eigene Erhebung)

Abbildung 126: Nanotechnologie-Unternehmen in Deutschland nach Wirtschaftszeigen (2008)



(Quelle: eigene Erhebung)

8.2.2 Beschäftigte in Nanotechnologie-Unternehmen

Zur Ermittlung von Beschäftigungseffekten von nanotechnologie-bezogenen Unternehmensaktivitäten sind in Abhängigkeit von Untersuchungsziel, Erkenntnisinteresse und von den verfügbaren Ressourcen höchst unterschiedliche Methoden und Datenquellen heranzuziehen. Grundsätzlich kommen folgende Beschäftigungseffekte in Betracht (vgl. Sprenger et al. 2003):

- positive und negative Beschäftigungseffekte,
- direkte und indirekte Beschäftigungseffekte,
- einzel-, branchen-, regional- und gesamtwirtschaftliche Effekte,
- kurz-, mittel-, und langfristige Beschäftigungseffekte,
- Vollzeit- und Teilzeitbeschäftigung,
- dauerhafte und zeitlich befristete Beschäftigung,
- Schaffung neuer und Erhaltung bestehender Arbeitsplätze,

- Auswirkungen auf Qualitätsmerkmale bzw. Qualifikationsanforderungen bei Nano-Arbeitsplätzen,
- Brutto- und Nettoeffekte,
- quantifizierbare und nicht-quantifizierbare Beschäftigungseffekte.

Je nach Untersuchungsinteresse kann das Spektrum der einzusetzenden Methoden von Unternehmensangaben über erweiterte Input-Output-Rechnungen bis hin zu makro-ökonomischen Modellrechnungen reichen.

Die wohl einfachste, in ihrer Aussagekraft allerdings am stärksten eingeschränkte Methode ist die Ermittlung der Bruttoeffekte auf der Basis der in den identifizierten Nano-Unternehmen insgesamt Beschäftigten, die durch die Verknüpfung von Nano-Anbieterverzeichnissen und Unternehmensdateien bewerkstelligt wird.

Die in Tabelle 15 dargestellten Untersuchungsergebnisse unterstellen, dass alle in den erfassten Nano-Unternehmen tätigen Beschäftigten als Vollzeitäquivalente ausschließlich in Nano-Aktivitäten involviert sind. Dies ist natürlich keine realistische Annahme, wie die nachfolgend unter Kapitel 8.2.3 diskutierten Befragungsergebnisse verdeutlichen.

Sieht man einmal von dieser gravierenden Einschränkung der Aussagekraft der Vergleichsergebnisse ab, so zeigen sich auch erhebliche Unterschiede zwischen den relativ zeitnah durchgeführten Untersuchungen des RWI und des IÖW.

Tabelle 15: Anzahl der Gesamtbeschäftigten in Nanotechnologie-Unternehmen

Quellen / Indikatoren	VDI-TZ (2004)	RWI et al. (2007)	IÖW
Basisjahr	2002	2005	2007
Einbezogene KMU mit weniger als 250 Beschäftigten	117	521	295
Anzahl der Gesamtbeschäftigten in KMU mit weniger als 250 Beschäftigten	3.793	9.782	14.144
Einbezogene Großunternehmen mit 250 und mehr Beschäftigten	50	162	184
Anzahl der Gesamtbeschäftigten in Groß-Unternehmen mit 250 und mehr Beschäftigten	1.258.405	o.A.	2.597.435

(Quelle: eigene Darstellung)

Trotz einer im Vergleich zum RWI deutlich geringeren Anzahl von einbezogenen KMU (295 vs. 521), für die Beschäftigtenzahlen ermittelt werden konnten, führt die Aggregation der Gesamtbeschäftigten in den Nano-KMU bei der IÖW-Analyse zu einer rd. 50 % höheren

Beschäftigungszahl. Dies ist vermutlich auf die unterschiedlichen Datenquellen bei den Unternehmensdaten zurückzuführen.

Trotz der unterschiedlichen Teilgesamtheiten und widersprüchlichen Untersuchungsergebnisse bei den Gesamtbeschäftigten weisen die nach Bundesländern und Wirtschaftszweigen differenzierten Vergleichsergebnisse ein hohes Maß an Übereinstimmung aus (vgl. Tabelle 16 und Tabelle 17 sowie Abbildung 127 und Abbildung 128). Bei den Bundesländern dominieren übereinstimmend NRW, Baden-Württemberg, Bayern, Hessen und Sachsen. Auch bei der sektoralen Betrachtung wird übereinstimmend die starke Bedeutung der Wirtschaftszweige Elektronik/E-Technik (DL), F+E-Dienstleistungen (K73) und des Handels (GA) deutlich.

Auch wenn die vorliegenden Vergleichsergebnisse keine Auskunft über die tatsächlichen Beschäftigungsvolumina im Nano-Bereich vermitteln, liefern sie doch wichtige Anhaltspunkte zu den regionalen und sektoralen Schwerpunkten der Nano-Aktivitäten.

Tabelle 16: Beschäftigte in KMU der Nanotechnologie nach Bundesländern (n=521) (Angaben für das Jahr 2005)

	Zahl der Beschäftigten in den Nanotech-KMU	Anteil des Bundeslands an den Nanotech-Beschäftigten in %	Anteil des Bundeslands an den SV-Beschäftigten in %
Baden-Württemberg	1.106	11,3%	14,2%
Bayern	1.503	15,4%	16,3%
Berlin	494	5,1%	3,9%
Brandenburg	31	0,3%	2,7%
Bremen	189	1,9%	1,0%
Hamburg	162	1,7%	2,8%
Hessen	1.329	13,6%	8,0%
Mecklenburg-Vorpommern	221	2,3%	1,9%
Niedersachsen	807	8,2%	8,8%
Nordrhein-Westfalen	1.536	15,7%	21,2%
Rheinland-Pfalz	187	1,9%	4,4%
Saarland	192	2,0%	1,3%
Sachsen	1.137	11,6%	5,1%
Sachsen-Anhalt	72	0,7%	2,8%
Schleswig-Holstein	534	5,5%	2,9%
Thüringen	282	2,9%	2,7%
Deutschland	9.782	100,0%	100,0%

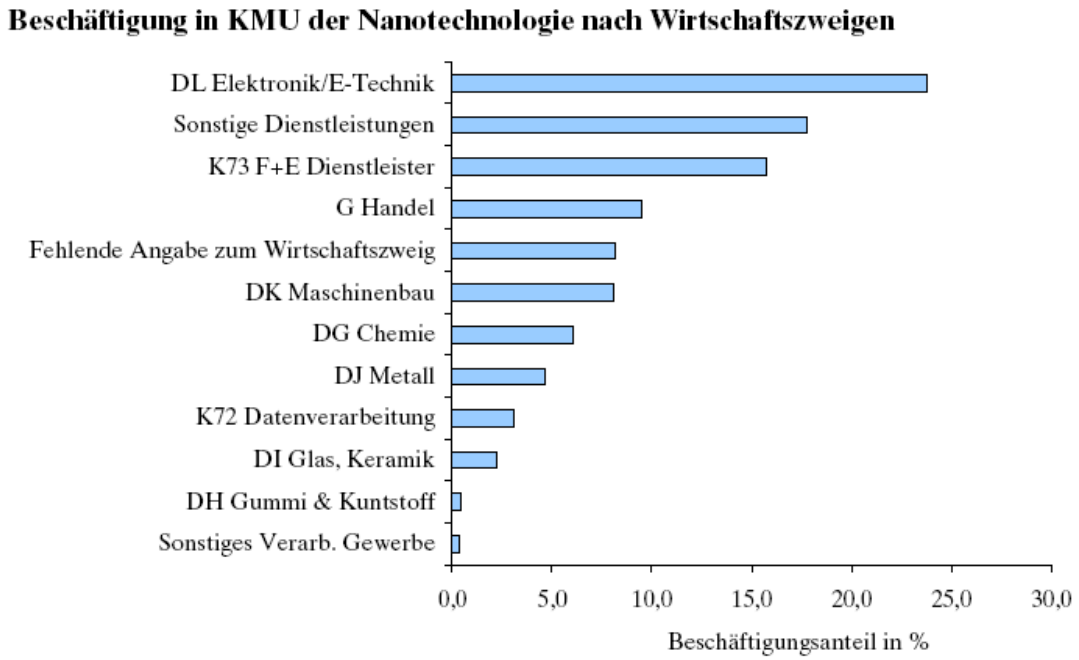
(Quelle: RWI et al. 2007)

Tabelle 17: Beschäftigte in KMU der Nanotechnologie nach Bundesländern (Angaben für das Jahr 2007, n=295)

	Zahl der Beschäftigten in den Nanotech-KMU	Anteil des Bundeslands an den Nanotech-Beschäftigten in %	Anteil des Bundeslands an den SV-Beschäftigten in %
Baden-Württemberg	1.507	10,65%	15,25%
Bayern	1.800	12,73%	17,09%
Berlin	778	5,50%	3,45%
Brandenburg	32	0,23%	2,51%
Bremen	184	1,30%	1,00%
Hamburg	163	1,15%	2,62%
Hessen	2.137	15,11%	7,69%
Mecklenburg-Vorpommern	254	1,80%	1,72%
Niedersachsen	795	5,62%	8,77%
Nordrhein-Westfalen	3.717	26,28%	21,10%
Rheinland-Pfalz	335	2,37%	4,45%
Saarland	294	2,08%	1,33%
Sachsen	1.007	7,12%	4,95%
Sachsen-Anhalt	92	0,65%	2,59%
Schleswig-Holstein	462	3,27%	2,79%
Thüringen	587	4,15%	2,69%
Deutschland	14.144	100,00%	100,00%

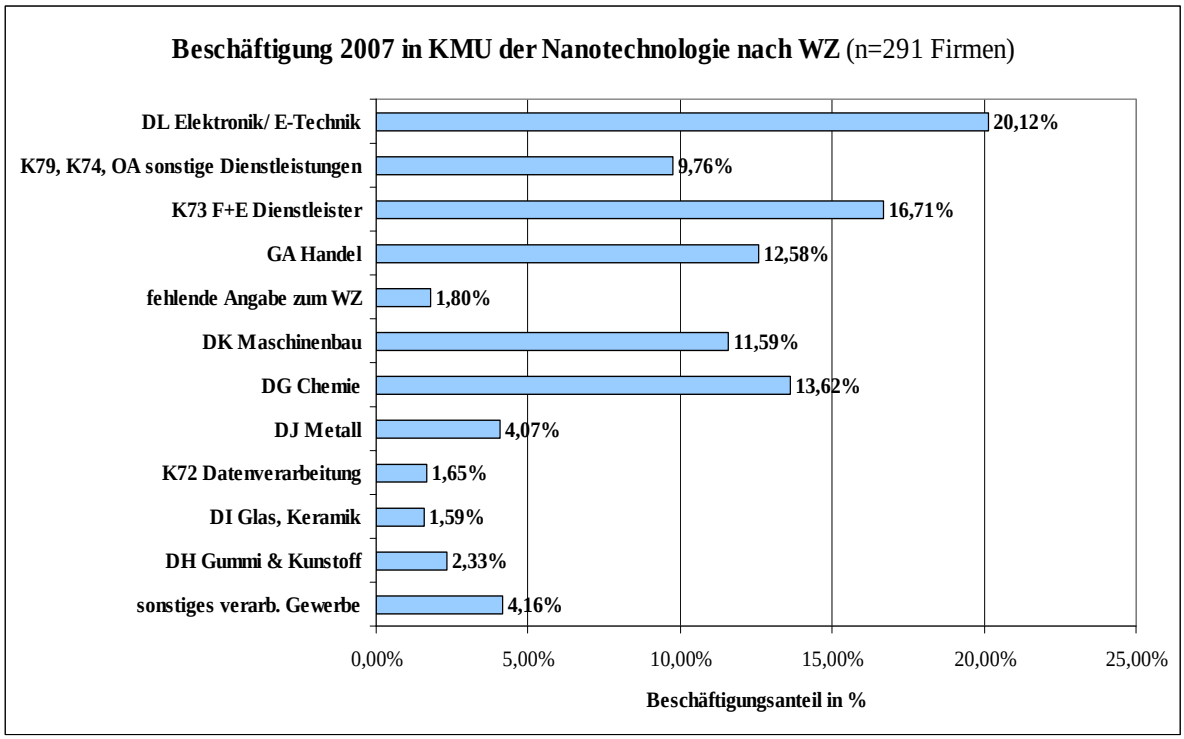
(Quelle: eigene Erhebung)

Abbildung 127: Beschäftigung (in 2005) in KMU der Nanotechnologie nach WZ (n=521 Unternehmen)



(Quelle: RWI et al., 2007)

Abbildung 128: Beschäftigung (in 2007) in KMU der Nanotechnologie nach WZ (n=291 Unternehmen)



(Quelle: eigene Erhebung)

8.2.3 Nano-Anteile der Beschäftigten in Unternehmen mit Nano-Aktivitäten

Da die Unternehmensdateien keine Auskunft zum Ausmaß der Nano-Aktivitäten der als Nano-Anbieter identifizierten Unternehmen liefern, sind Ad-hoc Befragungen dieser Anbieter erforderlich. Sowohl die ZTC VDI TZ-Studie als auch die vorliegende Untersuchung haben diesen methodischen Weg beschritten und sind zumindest in Bezug auf die Stichprobenergebnisse miteinander vergleichbar (vgl.Tabelle 18).

Bei den Durchschnittswerten derjenigen Beschäftigten, die in Nano-Unternehmen mit weniger als 250 Beschäftigten auch nanobezogene Aufgaben erfüllen, zeigt sich ein hohes Maß an Übereinstimmung. Pro KMU sind durchschnittlich 9-10 Beschäftigte in Nano-Aktivitäten involviert. Die Gesamt- und Durchschnittszahlen beschreiben Personen- bzw. Kopfzahlen, sagen aber nichts über Vollzeitäquivalente aus.

Die ZTC VDI TZ-Studie liefert auch Informationen über die Nano-Beschäftigten in Großunternehmen mit 250 und mehr Beschäftigten. Dabei wird tendenziell deutlich, dass die Mehrzahl der im Nano-Bereich Beschäftigten ihren Arbeitsplatz in Großunternehmen hat, obgleich vermutlich rd. 80% aller Unternehmen mit Nano-Aktivitäten den KMU zuzurechnen sind (vgl. Tabelle 13).

Tabelle 18: Nano-Beschäftigte in Nanotechnologie-Unternehmen

	VDI - TZ	IÖW et al.
Basisjahr	2002	2007
Erfasste KMU mit weniger als 250 Beschäftigten	117	42
Nanotechnologie-Beschäftigte in KMU der Stichprobe	1.220[1]	442
erfasste Großunternehmen der Stichprobe (mit 250 und mehr Beschäftigten)	50	11
Nanotechnologie-Beschäftigte in Großunternehmen (mit 250 und mehr Beschäftigten)	67.871[1]	2.734[2]

(Quelle: eigene Erhebung); ([1] geschätzt; [2] ein Großunternehmen in dieser Gruppe ordnete seine Gesamtmitarbeiterzahl [1200] als NanomitarbeiterInnen ein))

Bleibt noch der Hinweis auf den durchschnittlichen Anteil von Nano-Beschäftigten in den Unternehmen, für die Angaben oder Schätzungen zu den Gesamtbeschäftigten und den Nano-Anteilen verfügbar waren (vgl. Tabelle 19). Die Schätzungen des VDI-TZ ergaben für die Stichprobe von Unternehmen mit 100 und weniger Beschäftigten einen Nano-Anteil von 40%, während die Unternehmen mit 101 bis zu 250 Beschäftigten einen Vergleichswert von ca. 32% aufweisen.

Tabelle 19: Anteil der Nano-Beschäftigten in Nanotechnologie-Unternehmen der Stichprobe

Unternehmensgrößenklasse	Nano-Anteile[1] (2002) in %
1-20 Beschäftigte	46,5
21-100 Beschäftigte	37,0
101-259 Beschäftigte	23,1
251-500 Beschäftigte	18,9
501-1000 Beschäftigte	16,9
1.001-5000 Beschäftigte	18,4
5000 und mehr Beschäftigte	5,0

(Quelle: ZTC VDI TZ 2004); ([1] geschätzt über den Umsatz)

Die Befragungsergebnisse des IÖW lassen signifikant niedrigere Vergleichswerte für die KMU (vgl. Tabelle 20) erkennen. In den Unternehmen mit bis zu 49 und zwischen 50-99 Beschäftigten lag der entsprechende Nano-Beschäftigtenanteil bei jeweils rd. einem Drittel, während dieser Wert in Unternehmen mit 100-249 Beschäftigten auf ca. 16% absinkt.

Tabelle 20: Anteil der Nano-Beschäftigten in Nanotechnologie-KMU-Unternehmen des Berichtkreises (n=42)

KMU Größenklasse	Nano-Anteile (2007) in %
1-49 Beschäftigte	33,0
50-99 Beschäftigte	37,0
100-249 Beschäftigte	15,6

(Quelle: eigene Erhebung)

Die merklichen Unterschiede zwischen den beiden Studien sind vermutlich darauf zurückzuführen, dass es sich bei den ZTC VDI TZ-Werten um Schätzungen auf der Basis von Umsatzanteilen handelt, während die vergleichbaren IÖW-Nano-Anteile auf den entsprechenden Befragungsergebnissen beruhen. Damit entfällt die Gefahr von umrechnungsbedingten Verzerrungen durch Gleichsetzung von Umsatz- und Beschäftigtenanteilen für die Schätzung der Nano-Beschäftigung.

8.2.4 Hochrechnung der Nanobeschäftigten für die vermutete Grundgesamtheit von Nano-Unternehmen

Eine Hochrechnung für die vermeintliche Grundgesamtheit von ca. 450 Unternehmen mit Nano-Aktivitäten erfolgte nur in der zitierten ZTC VDI TZ-Studie des Jahres 2004. Auf der Basis der für die Stichprobe von 167 Unternehmen geschätzten Nanotechnologie-Beschäftigten im Jahre 2002 erfolgte eine Extrapolation für die vermutete Grundgesamtheit von ca. 450 Nano-Anbietern.

Da die exakten Nano-Beschäftigtenanteile nicht vorlagen, musste die Extrapolation mit Hilfe der abgefragten Anteilsklassen erfolgen. Dementsprechend fallen die Ergebnisse am unteren und oberen Rand der abgefragten Anteilsklassen unterschiedlich aus (Tabelle 21).

Tabelle 21: Hochrechnung der Nanotechnologie-Beschäftigten für 2002

Methodik	Grundgesamtheit	Anzahl der Nano-Beschäftigten
Hochrechnung auf Basis der Nano-Beschäftigten, (Untergrenze 1)	450	20.000
Hochrechnung auf Basis der Nano-Beschäftigten, (Untergrenze 2)	450	32.000
Hochrechnung auf Basis des Nano-Anteils am Umsatz	450	113.800

(Quelle: ZTC VDI TZ 2004)

Die Hochrechnung über die Umsatzanteile erreicht ein Mehrfaches der hochgerechneten Beschäftigten auf der Basis der Beschäftigtenanteile und dürfte als wenig realistisch angesehen werden. Die Annahmen für den umsatzbezogenen Hochrechnungsansatz (u. a. Annahme

eines Verhältnisses von 1:1 zwischen den erfragten Umsatzanteilen und den nicht genau erfragten Nano-Beschäftigten-Anteilen und das übermäßige Gewicht der Großunternehmen) führen zu einer großen Varianz zwischen den Ergebnissen der unterschiedlichen Hochrechnungsergebnisse. Insofern kann es nicht verwundern, dass die Autoren der ZTC VDI TZ-Studie darauf hinweisen, dass „eine exakte Ermittlung der Arbeitsplätze im Bereich Nanotechnologie nicht möglich ist“ (Luther et al. 2004) und vorsichtig formulieren, „dass bereits heute mehrere zehntausend Arbeitsplätze in Deutschland in diesen Unternehmen direkt oder indirekt von der Nanotechnologie abhängig sind“ (ebenda).

8.2.5 Schätzung des Beschäftigungspotenzials von Nanotechnologien

Für die vorliegende Untersuchung lag kein kompletter Satz von Unternehmens- und Beschäftigungsdaten für die vermutete, korrigierte Grundgesamtheit von Unternehmen mit Nanoaktivitäten vor. Daher konnte auch keine Hochrechnung auf der Basis der Befragungsdaten erfolgen.

Als eine Alternative bot sich der Ansatz der angebotsorientierten, produktionswirtschaftlichen Potenzialrechnung an, der sich inzwischen in der Literatur und Berichten der Bundesregierung zur technologischen Leistungsfähigkeit Deutschlands etabliert hat (vgl. u. a. BMBF 2007; Legler et al. 2007). Bei diesem sog. NIW-Ansatz, der vor allem bei der Produktion von Umweltschutzgütern seit 1995 Anwendung findet, wird abgestellt auf Güter, die ihrer Art nach einem bestimmten Zweck dienen können (vgl. BMBF 2007). Dabei ist die vollständige Einbeziehung der relevanten Gütergruppen in die Potenzialschätzung völlig unabhängig davon, ob der jeweilige Funktionsanteil bei 1% oder 100% liegt.

Die vorliegende Potenzialschätzung unterscheidet sich in folgenden Punkten von dem bekannten NIW Ansatz:

a. Es wird nicht auf die Produktionswerte von Warengruppen abgestellt, die ihrer Art nach auf Nanotechnologien aufbauen oder ihrer Anwendung dienen, sondern auf Unternehmen und ihre Beschäftigten.
b. Es werden nicht nur Waren, sondern auch Dienstleistungen im Zusammenhang mit dem Angebot von Nanotechnologien berücksichtigt.
c. Während bei dem NIW-Potenzialansatz letztlich unbekannt ist, in welchem Maß die erfassten Gütergruppen tatsächlich dem untersuchten Produktionszweck dienen, werden in dem vorliegenden Potenzialansatz die ermittelten Nano-Beschäftigungsanteile herangezogen, die erwartungsgemäß signifikant unter 100% liegen (vgl. Tabelle 19 und Tabelle 20).

d. Es werden im vorliegenden Ansatz nur diejenigen Wirtschaftszweige („Kernbereiche“) mit ihren KMU und Beschäftigten berücksichtigt, die zum gegenwärtigen Zeitpunkt von der Anzahl der Anbieter her den Nano-Markt prägen (vgl. Abbildung 124).

Im Ergebnis zeigt die Schätzung des Beschäftigtenpotenzials von Nanotechnologien in den Kernbereichen, welche Beschäftigung sich in 2005 ergeben hätte, wenn alle KMU in diesen Kernbereichen ihr Angebot, das seiner Art nach auch auf Nanotechnologien aufbauen könnte, anteilsmäßig auch tatsächlich auf Nanotechnologien aufgebaut hätten. (vgl. Tabelle 22 und Tabelle 23).

Tabelle 22: KMU und Beschäftigte in den Kernbereichen mit Nano-Aktivitäten im Jahr 2005

Wirtschaftsgruppe	Unternehmen mit sozialversicherungspflichtig Beschäftigten von... bis...					
	1 - 49		50 - 99		100 - 249	
	Anzahl	SV-Besch	Anzahl	SV-Besch	Anzahl	SV-Besch
DG [1]	2.624	28.726	365	26.012	325	51.450
DJ [2]	36.107	304.922	1.675	115.472	1.049	159.796
DK [3]	17.697	182.843	1.474	101.997	1.157	181.795
DL [4]	23.610	193.057	1.049	72.713	827	127.353
GA [5]	350.611	1.781.547	5.118	349.857	2.617	390.452
KA [6]	292.920	1.352.144	4.579	317.465	2.934	447.038
Insgesamt	723.569	3.843.239	14.260	983.516	8.909	1.357.884

(Quelle: Statistisches Bundesamt 2008) [1] Herstellung chem. Erzeugnisse; [2] Metallerzeugung und -bearbeitung; [3] Maschinenbau; [4] Elektrotechnik, Feinmechanik und Optik; [5] Handel, Reparatur von Kfz; [6] sonstige Dienstleistungen

Tabelle 23: Beschäftigungspotenzial in KMU der Kernbereiche mit Nano-Aktivitäten im Jahr 2005

Wirtschaftsgruppe	Nanomitarbeiter bei Unternehmen mit sozialversicherungspflichtig Beschäftigten von... bis…			
	1 - 49	50 - 99	100 - 249	Summe
DG [1]	9.480	9.788	8.042	27.310
DJ [2]	100.624	43.452	24.976	169.052
DK [3]	60.338	38.381	28.415	127.134
DL [4]	63.709	27.362	19.905	110.976
GA [5]	587.911	131.651	61.028	780.590
KA [6]	446.208	119.462	69.872	635.542
Insgesamt:	1.268.270	370.096	212.238	1.850.604

(Quelle: Statistisches Bundesamt 2008) (eigene Berechnung); ([1] Herstellung chem. Erzeugnisse; [2] Metallerzeugung und –bearbeitung; [3] Maschinenbau; [4] Elektrotechnik, Feinmechanik und Optik; [5] Handel, Reparatur von Kfz; [6] sonstige Dienstleistungen)

Das Beschäftigungspotenzial von rd. 1,850 Mio. SV-Beschäftigten allein in den Kernbereichen und in KMU mit weniger als 250 Beschäftigten mag sicherlich in seiner Größenordnung

überraschen. Wenn man allerdings berücksichtigt, dass Nanotechnologien als „enabling technologies“ definiert werden und bei den Unternehmensakteuren im Nanobereich sowohl Hersteller als auch Anwender bzw. Nutzer mit einbezogen werden, so verdeutlichen die vorliegenden Schätzungen die enorme Breitenwirkung, die Nanotechnologien auslösen können.

Abschließend bleibt festzuhalten, dass es sich bei den vorliegenden Schätzwerten nicht um Vollzeitäquivalente handelt und dass die möglichen Beschäftigungseffekte nicht als neu geschaffene Arbeitsplätze interpretiert werden dürfen. Es handelt sich eine Bruttorechnung, die naturgemäß Verdrängungseffekte nicht berücksichtigt.

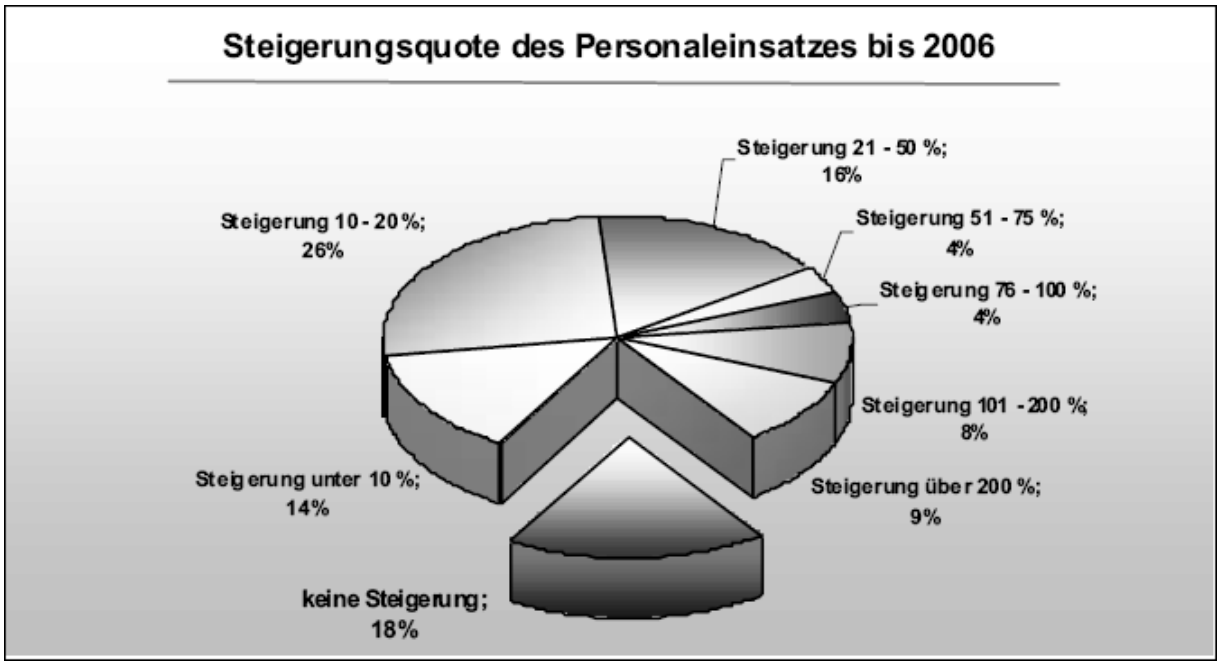
8.2.6 Erwartete Beschäftigungsentwicklung in den Nano-Unternehmen

Die vorangegangene Potenzialschätzung hat bereits deutlich gemacht, welches Wachstums- und Beschäftigungspotenzial im Nanotechnologie-Markt möglich wäre, wenn nano-affine KMU in den Kernbereichen ihr Leistungsangebot nur zum durchschnittlichen Anteil ihrer bereits nano-aktiven Branchenkollegen auf Nanotechnologien aufgebaut hätten bzw. aufbauen würden.

Diese eher hypothetische Rechnung wurde in der ZTC VDI TZ-Studie und in der vorliegenden Studie ergänzt durch Unternehmensbefragungen zu den konkreten Erwartungen der nano-aktiven Unternehmen hinsichtlich Umsatz- und Beschäftigungsentwicklung in den nächsten drei Jahren, die dem jeweiligen Basisjahr folgen.

Folgt man den Angaben in der ZTC VDI TZ-Studie „erwarten insgesamt 81,4 Prozent der befragten Unternehmen einen mehr oder weniger großen Mitarbeiterzuwachs durch die Nanotechnologie im eigenen Unternehmen“ (ZTC VDI TZ, 2004). Nur 21,5% der KMU (mit bis zu 5000 Beschäftigten) und 13,5% der Großunternehmen (mit 5000 und mehr Beschäftigten) rechnen mit keiner Personalaufstockung von 2004 bis 2006 in ihrem Nano-Bereich (ebenda). Von den KMU (mit bis zu 5000 Beschäftigten) rechnete knapp die Hälfte mit einem Mitarbeiterzuwachs von mehr als 20%, ein Drittel mit mehr als 50% und fast 20% noch mit einem Wachstum von sogar über 100% bis 2006 in ihrem Nano-Bereich. Bei den Großunternehmen gingen dagegen nur mehr als die Hälfte von einem Zuwachs von mehr als 10% aus (vgl. Abbildung 129).

Abbildung 129: Anstieg des Personaleinsatzes in Nanotechnologie im Unternehmen



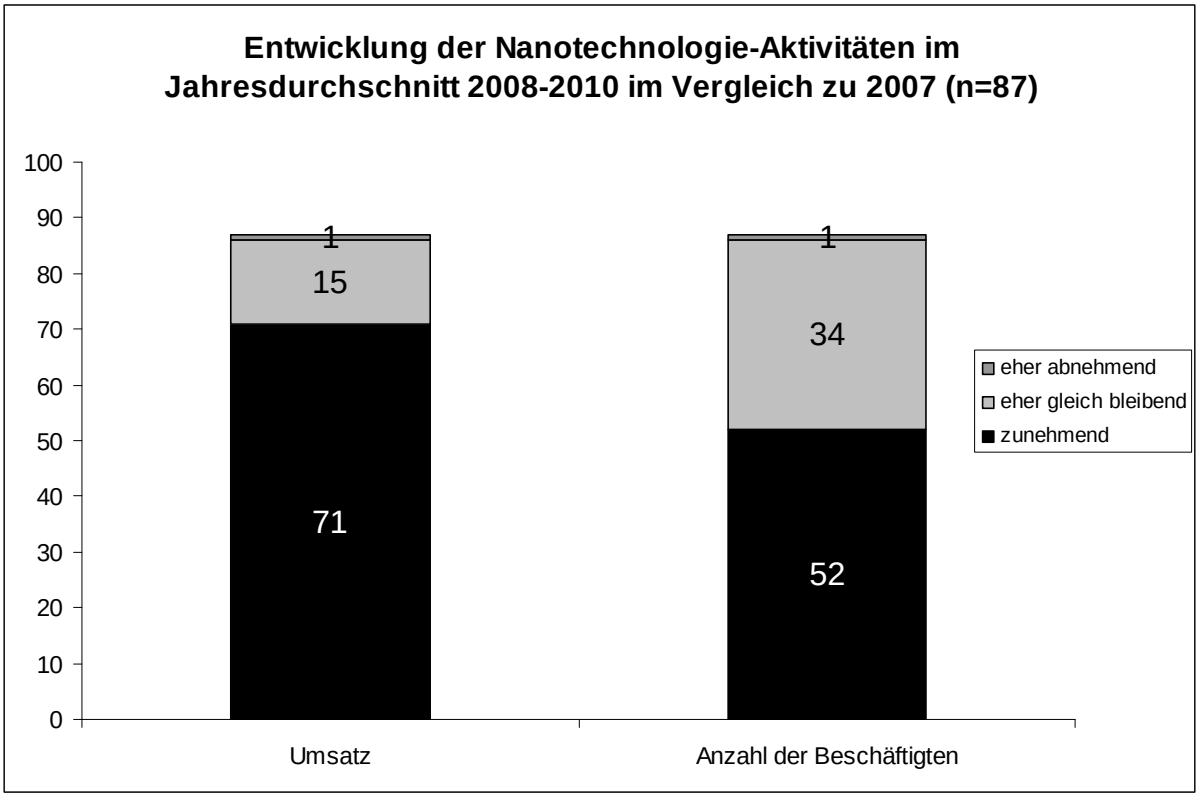
(Quelle: ZTC VDI TZ 2004)

Auf Basis der von den befragten Unternehmen erwarteten Personalsteigerungen im Bereich Nanotechnologie wurde vom ZTC VDI TZ eine Abschätzung des absoluten Zuwachses an Beschäftigten vorgenommen. Hierfür wurden die gleichen Annahmen wie für die konservative Schätzung bei der Ermittlung der derzeitigen Beschäftigung getroffen (Spanne von 20.000 bis 32.000 und 114.000). Danach ergibt sich ein erwarteter absoluter Beschäftigungszuwachs von mindestens 2.000 bis 10.000 zusätzlichen Arbeitsplätzen bis 2006 alleine für die etwa 450 existierenden Nanotechnologieunternehmen in Deutschland. Legt man alternative Annahmen zu Grunde, so ist mit einem Zuwachs an neu geschaffenen Arbeitsplätzen durch die Nanotechnologie in der Größenordnung von mindestens 10.000 bis 15.000 auszugehen (ebenda).

Diese quantifizierten Schätzungen sind angesichts der zuvor diskutierten Probleme der Schätzmethode als sehr optimistisch anzusehen. Außerdem ist die Quantifizierung des angenommenen Beschäftigungszuwachses als „neu geschaffene Arbeitsplätze“ problematisch, nachdem laut Aussagen der ZTC VDI TZ „bei Großunternehmen allerdings davon auszugehen (ist), dass die Anzahl der Mitarbeiter in der Nanotechnologie eher durch unternehmensinterne Umstrukturierung oder Umwidmungen erhärtet wird als durch die Schaffung zusätzlicher Arbeitsplätze“ (ebenda).

Wie bereits im Methodenvergleich beschrieben, bezieht sich die vorliegende Untersuchung auf qualitative Erwartungen der befragten und antwortenden Nano-Unternehmen. Was die Entwicklung bei den Umsätzen und Beschäftigten in den Jahren 2008-2010 im Vergleich zu 2007 anbetrifft, so sind die Unternehmen im Vergleich zu der ZTC VDI TZ Umfrage im Jahre 2003 weniger optimistisch (vgl. Abbildung 130), obgleich der Tendenz nach mit einer Personalaufstockung oder –versetzung im Nano-Bereich gerechnet wird.

Abbildung 130: Entwicklung der Nanotechnologie-Aktivitäten im Jahresdurchschnitt 2008-2010 im Vergleich zu 2007



(Quelle: eigene Erhebung)

Etwa 60% Unternehmen gehen von einem Beschäftigungszuwachs bis 2010 aus. Mehr als ein Drittel der antwortenden Unternehmen gehen von einem gleich bleibenden Verhältnis aus, während mit einem Beschäftigungsrückgang nur in einem Unternehmen, mit entsprechenden Angaben, gerechnet wird.

Nachdem die Umsatzentwicklung im Berichtskreis deutlich optimistischer eingeschätzt wird, zeigt sich noch einmal, dass Umsätze und Beschäftigte im Nano-Bereich nicht 1:1 miteinander korrelieren.

8.3 Fazit

Als Ergebnis der Untersuchung ist festzustellen, dass die Nanotechnologieunternehmen hinsichtlich ihrer Aktivitäten insbesondere beim Umsatz positive Entwicklungserwartungen

haben. Die durchgeführte Analyse des Beschäftigtenpotenzials im Bereich der Nanotechnologien zeigt, dass die Bedeutung dieser Technologie nicht zu unterschätzen ist. Es ist in diesem Zusammenhang allerdings darauf zu verweisen, dass Nanotechnologien als „enabling technologies“ angesehen werden und damit ähnlich wie die Materialwissenschaften zwar eine wichtige Rolle für das Innovationsgeschehen und die wirtschaftliche Entwicklung haben, diese aber letztlich nur sehr begrenzt dazu führen, dass tatsächlich neue „eigenständige“ Nano-Arbeitsplätze entstehen. Vielmehr ist davon auszugehen, dass der Einsatz der Nanotechnologie in den unterschiedlichen Verfahren und Produkten zu einer Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit dieser führen kann, es sich aber dabei in der Regel nicht um neu geschaffene Arbeitsplätze handelt, sondern vielmehr um den Erhalt bestehender Beschäftigungsverhältnisse. Ein Arbeitsplatzaufbau könnte dann erfolgen, wenn es gelingt, Nanotechnologien für Prozesse und Produkte so nutzbar zu machen, dass diese auf den diversen Absatzmärkten wettbewerbsfähiger werden. Nanotechnologien werden in der Perspektive eine Voraussetzung für wettbewerbsfähige Arbeitsplätze sein, wenn es gelingt, die technisch-wirtschaftlichen Potenziale dieser Technologien zu erschließen und in wettbewerbsfähigere Produkte und Verfahren umzusetzen.

9 FuE-Infrastruktur und -förderung, Technologietransfer und Netzwerke mit Bezug zur Nanotechnologie in NRW

9.1 Zur Definition der Begriffe „Netzwerk“ und „Cluster“

Unter dem regionalwirtschaftlichen Begriff des Clusters wird die räumliche Konzentration von Unternehmen einer Wertschöpfungskette und den damit verbundenen Zulieferern, Forschungsaktivitäten und (Aus)Bildungseinrichtungen verstanden. Die beteiligten Unternehmen stehen im Wettbewerb miteinander, können aber auch gleichzeitig untereinander kooperieren (s. Rehfeld/David 2007: 8; BMWT 2008: 9; Howaldt u.a., 2001: 10). Mit dem Begriff Netzwerk[81] werden freiwillige Zusammenschlüsse von Unternehmen, wirtschaftspolitischen Akteuren und wissenschaftlichen Einrichtungen und ggf. weiteren Akteuren belegt, die darauf abzielen die Rahmenbedingungen für derartige Cluster zu verbessern und das sich aus der räumlichen Zusammenballung ergebende Synergiepotenzial zu nutzen und zu entwickeln (ebd.). Netzwerke sind meist auf eine Region ausgerichtet und haben einen Branchen- oder Technologiebezug. Das hauptsächliche Ziel von Technologienetzwerken ist es, durch frühzeitige Zusammenarbeit von Forschungsinstitutionen und Unternehmen den Wissenstransfer dadurch zu beschleunigen, dass Unternehmen frühzeitig von Forschungsergebnissen erfahren und Forschungseinrichtungen effektiver Partner in der Wirtschaft für die Anwendung ihrer Erkenntnisse finden (vgl. BMWT, 2008: 8). Netzwerke sind seit Mitte der 1990er Jahre ein anerkanntes Instrument zur effektiveren Gestaltung des Technologietransfers von der Forschung in Anwendungen.

Die angehörigen Akteure (Unternehmen) eines regionalen Clusters müssen nicht notwendigerweise in bestimmten Feldern miteinander kooperieren, die von Netzwerken schon; denn ohne aktive Promotoren in Netzwerken und ein Mindestmaß an gemeinsam interessierenden Handlungsfeldern und Zielen würden sie schnell von der Bildfläche verschwinden. Um das Verhältnis von Clustern und Netzwerken zu beschreiben, sprechen Rehfeld/David (2007: 8) von der „Entwicklung der Cluster durch Netzwerke“ (ebenso BMWT, 2008: 9).

9.2 Zur Bedeutung von Netzwerkbildungen

Im Hinblick auf die Aufgabenstellung dieser Teilstudie geht es darum aufzuzeigen, welche Netzwerke bzw. Netzwerk- und Clusteransätze (Typ, Größe, Reichweite) es im Bereich Nanotechnologien in NRW gibt und inwieweit umweltwirtschaftliche bzw. –technische

[81] Im Rahmen der Initiative Kompetenznetze des Bundeswirtschaftsministeriums wird der Begriff Kompetenznetz synonym verwendet (BMWT, 2008, 8).

Fragen eine Rolle spielen oder Akteure aus diesen Bereichen beteiligt sind. Da die Nanotechnologien noch maßgeblich von der (Grundlagen)Forschung vorangetrieben werden und es erst wenige Anwendungsprodukte mit nanostrukturierten Funktionalitäten (Präsentation erste Beiratssitzung, 29.10.2007) gibt, kann in Bezug auf wirtschaftliche Clusterbildungen erst von Clusteransätzen in FuE-bezogenen Teilsegmenten von „Nano"-Clustern gesprochen werden. Solche Clusteransätze können in NRW in Münster (Nanoanalytik), in Duisburg (gasförmige Nanopartikel) und Aachen (nanostrukturierte Halbleitertechnik) sowie in Bezug auf die Mikrostrukturtechnik in Dortmund ausgemacht werden.

Netzwerke werden des Weiteren nach ihrer grundlegenden Ausrichtung und ihrer Gründungshistorie unterschieden (BMWT, 2008: 9ff.). In Bezug auf die im Folgenden betrachteten Nano-Netzwerke ist die regionale Ausrichtung konstitutiv, wohingegen strategische Unternehmensnetzwerke (vgl. Howaldt u.a., 2001: 11), die für etablierte Branchen bzw. Wertschöpfungsketten typisch sind, (noch) keine Rolle spielen. Hinsichtlich des Kriteriums der Gründungshistorie werden Bottom-up-Netze, exogene Top-down-Netze und endogene Top-down-Netze unterschieden. Aufgrund einer starken regionalen Identität und historisch gewachsener Beziehungen in einer mittelständisch geprägten Wirtschaftsstruktur zeichnet sich in NRW Ostwestfalen-Lippe durch eine Reihe von Bottom-up-Netzwerkbildungen aus. Die Förderpolitik des Bundes hat vor nunmehr zehn Jahren mit der Ausschreibung von Clusterwettbewerben (BioRegio, InnoRegio, Kompetenznetze) starke Impulse zur Bildung von technologisch ausgerichteten regionalen Netzwerken gesetzt (BMWT, 2008, 87), die in den folgenden Jahren durch ähnliche Clusterstrategien in einigen Bundesländern[82] aufgegriffen und verstärkt worden sind. Bereits Ende der 1990er Jahre wurde von der Stadt Dortmund und der Thyssen-Krupp AG, dem zuvor größten industriellen Arbeitgeber am Ort, ein Strategieentwicklungsprozess zur Forcierung des Strukturwandels in Dortmund („dortmundproject") eingeleitet, der auf die Standortentwicklung und Schaffung von neuen Arbeitsplätzen in neuen Technologiebranchen abzielt.

Technologie- respektive Innovationsnetzwerke sind inzwischen unbestritten ein maßgeblicher Faktor zur Erhöhung des Tempos der Generierung von Innovationen und der Umsetzung von Forschungsergebnissen in marktfähige Produkte (vgl. Bullinger, 2006, 12; BMWT, 2008, 7). Innovationsnetzwerke haben das Leitbild der Forschung in großen Zentren von Großunternehmen und staatlichen Forschungseinrichtungen abgelöst. Davon profitieren Regionen, die bisher nicht mit solchen Großzentren ausgestattet waren sowie mittelständische und neugegründete Unternehmen, denen sich in flexiblen FuE-Netzwerken Handlungsspielräume

[82] Saarland, Mitteldeutschland, Schleswig-Holstein, Brandenburg, Berlin, Bayern und NRW

eröffnen. (Technologie-)Netzwerke sind besonders gut geeignet, Akteure in neuen Feldern zu organisieren, die noch nicht eindeutig zu etablierten Branchenverbänden zugeordnet werden können.

Auf absehbare Zeit hin wird die Nanotechnologie noch in starkem Maße von Erkenntnis- bzw. Machbarkeitsfortschritten in der Grundlagenforschung bestimmt werden. Es ist derzeit noch weitgehend offen, wann welche Innovationen Marktreife erlangen können. Damit unterliegen auch alle Cluster- und Netzwerkbildungsprozesse noch einer erheblichen Dynamik, die die Ziele der augenblicklich beteiligten Akteure noch erheblich verändern können. Mit der Forschungsorientierung hängt auch zusammen, dass die nanotechnologische FuE (noch) in starkem Maße durch öffentliche Förderprogramme finanziert wird; Umfang und Ausrichtung von solchen Förderprogrammen nehmen damit (noch) erheblich Einfluss auf Netzwerke und Cluster, was sich derzeit bspw. im Übergang vom 6. Rahmenprogramm zum 7. Rahmenprogramm der EU zeigt[83]. Gleichwohl wird sich zeigen lassen, dass es stabile Konstellationen und Vernetzungen innerhalb der universitären und im Umfeld universitärer Forschung in NRW gibt, die eine vielversprechende Grundlage für die Innovationsstrategie der Landespolitik im Bereich Nanowissenschaften/Nanotechnologie sind.

9.3 Empirisches Vorgehen

Das Untersuchungsfeld wurde von zwei Seiten her erschlossen: über die nanowissenschaftlichen Forschungsschwerpunkte und –netzwerke in NRW einerseits und über die Umweltforschung andererseits. Die Schwerpunkte der Nanotechnologie-Forschung bzw. Nanowissenschaften sind über die Publikationen des Wissenschaftsministeriums[84] und den virtuellen Technologiemarkt NRW[85] gut zugänglich. Hieraus wurde eine erste Auflistung der relevanten Forschungscluster, Gründungs- und Kompetenzzentren erstellt. Das erste Expertengespräch wurde mit der IVAM geführt, in dem die Auswahl der Cluster und Netzwerke überprüft worden ist und weitere mögliche Interviewpartner ermittelt werden konnten. Weiterhin wurden die Empfehlungen des Projektbeirats in seiner ersten Sitzung (29.10.2007) aufgegriffen und die Koordinatoren der NRW-Forschungscluster Nanowissenschaften in die Auswahl einbezogen.

[83] Die im 5. und 6. Rahmenprogramm aufgebauten Networks of Excellence (NoE) werden – nach Auskunft von Interviewpartnern - im 7. RP nicht mehr weiter gefördert. Hiervon ist in NRW das „bioanalytik“-Netzwerk in Münster betroffen, dessen Koordination des Nano2Life-Networks nicht mehr weiter gefördert wird (s. Kap. 3.2.2).
[84] www.innovation.nrw.de/ForschungTechnologie/MikroNanoOptotechnologien/index.html
[85] www.technologiemarkt-nrw.de

Im zweiten Schritt wurden aus dem breiten Spektrum der Umweltforschung in NRW[86] die Institute herausgefiltert, die im Bereich des produktionsintegrierten Umweltschutzes tätig sind, und recherchiert, ob und ggf. welche Arbeitsschwerpunkte mit Bezug zu nanotechnologischen, mikroskaligen o.ä. Themen sie auf ihren Homepages ausweisen. Es sind dies einige Institute, die an der Schnittstelle von grundlagenforscherischen zu anwendungsorientierten Fragestellungen arbeiten. Weiterhin konnten hierbei auch wertvolle Hinweise aus dem Kreis des Projektbeirates aufgenommen werden.

Es wurden mit einer Vielzahl von Vertretern von Forschungsclustern, Netzwerken und Instituten Experteninterviews oder Telefoninterviews durchgeführt. Die Interviewpartner wurden auf der Ebene der Geschäftsführung, Koordination und Sprecherfunktion der Institute und Netzwerke gesucht.

Die Interviews wurden anhand eines Rahmenleitfadens geführt, der für das jeweilige Interview je nach Netzwerk- und Clustertyp und örtlichen Gegebenheiten und der Qualität der Vorinformationen spezifisch ausgerichtet wurde. In den Interviews wurden folgende Fragenbereiche angesprochen: Ziele, Akteure und Ressourcen des Clusters/Netzwerks, Aufgaben des Clustermanagements, Motive und Interessen der Mitglieder, Kooperationsbeziehungen nach innen und außen, Nano-Aktivitäten des Clusters/Netzwerks, Umweltbezug der Nano-Aktivitäten, Ressourcen für Nano-Aktivitäten, Einschätzung der Nano-Förderpolitik des Landes, Handlungsbedarfe und Empfehlungen in Bezug auf die „Nano-Umwelt“-Politik des Landes.

Außerdem hat die Autorin an den Konferenzen

- 1. NRW Nano-Konferenz am 18.-19.02.2008 in Dortmund und
- 4. MST-Regionalkonferenz NRW am 18.-19.10.2007 in Dortmund

teilgenommen und Kurzinterviews mit Konferenz- und Messeteilnehmer/innen geführt.

Zum Abschluss wurde das für die Nanotechnologie-Förderung federführende Ministerium für Innovation, Wissenschaft, Forschung und Technologie der Landesregierung befragt.

[86] Dieses Spektrum ist durch mehrere Bestandsaufnahme-Studie (insb. die jüngste Studie des IAT/WI, 2006) gut dokumentiert, die in den letzten Jahren im Auftrag des Auftraggebers durchgeführt wurden.

9.4 Charakterisierung und Typisierung wichtiger Nanotechnologie-Cluster und -Netzwerke in NRW

9.4.1 Forschungscluster

9.4.1.1 Übersicht Forschungscluster

Bei der nanotechnologischen Forschung in NRW lassen sich drei Formen von Clusterbildungen unterscheiden:

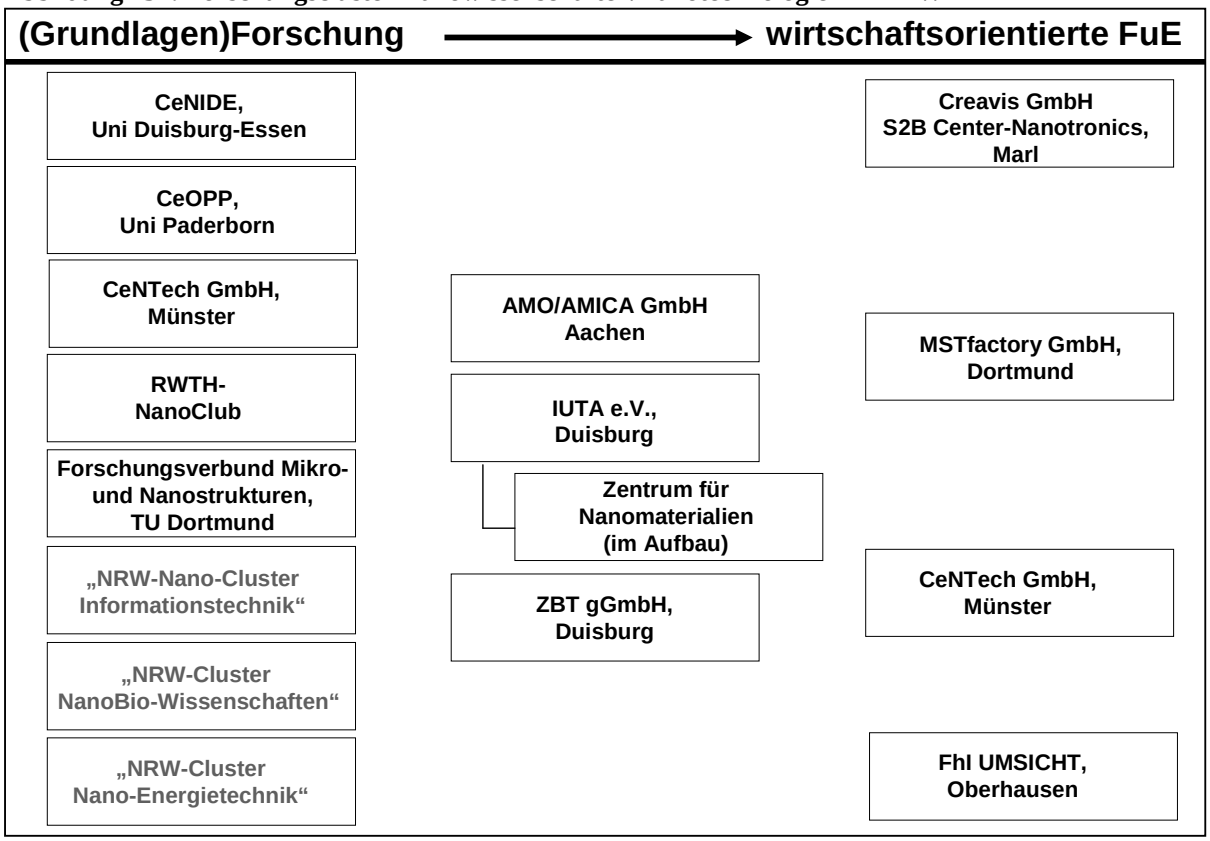
- Cluster, die hauptsächlich auf Grundlagenforschung ausgerichtet sind und an Universitäten angesiedelt sind,
- Cluster anwendungsorientierter Forschung an außeruniversitären Einrichtungen mit engem Bezug zur Universität,
- Schwerpunkte privatwirtschaftlich betriebener FuE-Einrichtungen bzw. FuE-Unternehmen sowie
- die regionenübergreifende NRW-weite Vernetzung von Forschungsinstituten und Forschungsgruppen in „NRW-Forschungsclustern“..

Kriterium ist hierbei die hauptsächliche Ausrichtung der jeweiligen Forschung in Verbindung mit der organisationalen Einbettung. Es handelt sich um eine analytische Unterscheidung, denn in der Praxis bestehen in der grundlagenforscherisch ausgerichteten Forschung in den betrachteten universitären Zentren neben vielfältigen Formen der Zusammenarbeit auf Projekt- bzw. Forschungsgruppenebene teilweise institutionalisierte Bezüge zur anwendungsorientierten Forschung (durch Mitgliedschaft) sowie vielfältige, darunter auch langjährige Projektkooperationen mit privatwirtschaftlichen Partnern, die je nach Standortgegebenheiten und Forschungsfeld unterschiedlich ausgeprägt sind.

Abbildung 131 zeigt im Überblick die Verortung der in die Befragung einbezogenen Forschungscluster und –schwerpunkte im Bereich Nanowissenschaften/Nanotechnologien in NRW, die in den nachfolgenden Kapiteln kurz charakterisiert werden. Die Zuordnung erfolgt nach dem jeweiligen Tätigkeitsschwerpunkt, folgend der üblichen Unterscheidung von Grundlagenforschung, anwendungsorientierter FuE sowie wirtschaftsorientierter FuE bzw. FuE von Unternehmen. Die universitätszugehörigen Forschungsgruppen und –Institute werden der Grundlagenforschung zugeordnet, ebenso die lose, universitätsübergreifende Koordination der Forschungsgruppen in thematischen Forschungsclustern. Den Gegenpol dazu bilden die eindeutig auf wirtschaftliche FuE ausgerichteten und/oder nach wirtschaftlichen Maßstäben geführten Institute bzw. FuE-Unternehmen. Dazwischen gibt es eine Reihe von Instituten, deren Schwerpunkt in dem breiten Feld der anwendungsorientierten FuE liegt, die auf der einen Seite aber auch institutionalisierte Bezüge zur universitären Grundlagenfor-

schung haben und auf der anderen Seite FuE-Fragestellungen auch in enger Kooperation mit Unternehmen bearbeiten, teilweise auch Dienstleistungen für Unternehmen anbieten.

Abbildung 131: Forschungscluster Nanowissenschaften/Nanotechnologien in NRW



(Quelle: sfs-Zusammenstellung)

9.4.1.2 Universitäre Forschungscluster

CeNIDE, Center for Nanointegration der Universität Duisburg-Essen

Im CeNIDE sind die nanowissenschaftlichen Forschungsaktivitäten an der Universität Duisburg-Essen – fachbereichs- und standortübergreifend - gebündelt. Es wurde 2005 gegründet, ist seit einem Jahr eine zentrale wissenschaftliche Einrichtung der Universität und umfasst mehr als 20 Forschungsgruppen aus den Fachbereichen Physik, Chemie, Elektro- und Informationstechnik sowie Maschinenbau und integriert ergänzende Kompetenzen aus der Medizin und Biologie (beide am Standort Essen). Mitglieder sind Professor/innen bzw. die Leiter/innen von Forschungsgruppen. Durch eine Personalunion auf der Vorstands- und Abteilungsleiterebene sind das Institut für Verbrennung und Gasdynamik (IVG) und das Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V. (IUTA) sowie auf der Leitungsebene auch das Zentrum für BrennstoffzellenTechnik (ZBT) in das Zentrum integriert.

Arbeits- bzw. Kompetenzschwerpunkte sind u.a. die gezielte Erzeugung von Nanopartikeln aus der Gasphase, Prozesstechnologien für Nanopartikel, Messtechniken für die In-situ-Charakterisierung, funktionelle Oberflächen und Brennstoffzelltechnologie. Aufgrund des zur Verfügung stehenden umfangreichen Methoden- und Anlagenparks können Nanomaterialien, Nanostrukturen und Nanobauelemente hergestellt und analysiert sowie Funktions- und Anwendertests durchgeführt werden.

Im Vergleich zu den im Weiteren genannten universitären Zentren ist CeNIDE sowohl stark im Bereich der Grundlagenforschung (vier DFG-geförderte Sonderforschungsbereiche[87]) und der Nachwuchsförderung (ein Graduiertenkolleg Nanotronics zur Ausbildung von Nachwuchswissenschaftler/innen) als auch stark anwendungsorientiert tätig. Im Vergleich mit den NRW-bezogenen Nano-Schwerpunkten in Münster und Aachen sehen die CeNIDE-Interviewpartner ihre Kompetenz in der Prozesstechnologie von Nanopartikeln in größeren Materialmengen, der Generierung von Anwendungsprodukten auf der Basis von nanostrukturierten Materialien sowie zukünftig im Bereich Nano-Energie. Angestrebt wird, mit den in CeNIDE versammelten Kompetenzen, ein Nano-Energie-Zentrum in Duisburg zu gründen.

Die Forschung zur Erzeugung und Charakterisierung von Nanopartikeln an der Universität am Standort Duisburg hat eine lange Tradition und ist vor allem am IVG in der ingenieurwissenschaftlichen Fakultät seit Anfang der 1990er Jahre vorangetrieben worden[88]. Eine Schlüsselfunktion kommt auch dem DFG-Sonderforschungsbereich 445 „Nano-Partikel aus der Gasphase: Entstehung, Struktur, Eigenschaften“ zu, der 1999 gegründet worden ist, mit dem fach- und fachbereichsübergreifend Forschungsgruppen eingerichtet worden sind. Durch die weiteren Sonderforschungsbereiche konnte die fachübergreifende Zusammenarbeit weiter vertieft werden. Der SFB 445 bildete den Kristallisationskern für die Integration von naturwissenschaftlicher und ingenieurwissenschaftlicher Forschung und damit auch die Voraussetzungen für die Gründung von CeNIDE, mit dem diese Zusammenarbeit auf Universitätsebene institutionalisiert worden ist. Wie sich an den nachfolgend dargestellten universitären Clusterbeispielen zeigen wird und von verschiedenen Interviewpartnern bestätigt worden ist, erweist sich ein beträchtlicher Erfahrungsschatz in der interdisziplinären Zusammenarbeit auf der universitären Ebene und darüber hinaus mit anwendungsorientierten Partnern als Kompetenzvorteil für einen FuE-Standort im Bereich Nanotechnologien. Ein weiterer Erfolgsfaktor ist eine gezielte Berufungspolitik. Hier wird befürchtet, zukünftig mittelfristig eher benachteiligt zu sein gegenüber den Universitäten, die mit dem Exzellenz-Logo ausgewiesen sind.

[87] SFB 445, 491, 616 sowie beteiligt am SFB/TR 12

[88] Einen Überblick über das Spektrum der Forschung an der Universität Duisburg-Essen gibt das Themenheft Nanotechnologie der Zeitschrift Forum Forschung 2004 der Universität.

Maßgeblich aus der ingenieurwissenschaftlichen Fakultät heraus betrieben, ist die nanowissenschaftliche Forschung in Duisburg auch stark anwendungsorientiert. In Kooperation mit der Evonik Industries (vorm. Degussa AG) und gefördert durch die DFG wurde ein neuer keramischer Separatorentyp für Lithium-Ionen-Batterien zur Marktreife entwickelt. Da keramische Separatoren hochtemperaturstabil sind, sind sie sicherer, leistungsfähiger und langlebiger als die Kunststoff-Separatoren, die in kleinen LI-Batterien in mobilen Elektronikgeräten eingesetzt werden. Damit wird es möglich, die Lithium-Ionen-Technologie auch in mobilen und stationären Großbatterien wie z.B. in Hybridfahrzeugen einzusetzen. Diese technologische Innovation wurde 2007 für den deutschen Zukunftspreis nominiert (s. PM der Universität DuE vom 11.10.07).

Die Anwendungsorientierung wird durch die bevorstehende Errichtung des Zentrums für Nanomaterialien am IUTA weiter gestärkt, mit dessen Methodenkompetenz und technischer Ausstattung beliebige Mengen von Nanopartikeln bis hin zu technischen Maßstabsmengen (10-100g) hergestellt und analysiert werden können. Das Zentrum wird damit eine wichtige Brückenfunktion ausfüllen, die Nanomaterialien bereit zu stellen, die sowohl in der Grundlagenforschung als auch der anwendungsorientierten Forschung bis hin zur Verfahrensentwicklung im vorindustriellen Maßstab benötigt werden.

Die Grundlagenforschung wird im Wesentlichen durch DFG-Förderung (s.o.) und Drittmittelförderung des BMBF, der EU und von Stiftungen finanziert.

Das Zentrum für Mikroskalige Umweltsysteme (ZMU) am Standort Essen ist ebenfalls Teil des Zentrums. Das ZMU ist 2003 gegründet worden. Gearbeitet wird zu (natürlichen) Ultrafeinstäuben, wie sie entstehen und welches ihre toxikologischen Wirkungen auf Humanzellen bzw. den Menschen sind. Untersucht werden im Rahmen eines DFG-Schwerpunktprogramms[89] zufällig entstandene Ultrafeinstäube, worunter auch Nanopartikel sind, nicht hingegen erzeugte Feinstäube zur Erzielung funktioneller Eigenschaften.

Der Vorstand wird durch eine hauptamtliche Geschäftsstelle unterstützt und durch einen international besetzten Beirat beraten. Das Clustermanagement unterstützt operativ sowohl die Kooperationen zwischen den Forschungsgruppen als auch zu externen Kooperationspartnern, dem Ministerium, den Fördereinrichtungen etc. Die Marketingbemühungen sind darauf gerichtet das ganze Spektrum der Kompetenzen an der Universität gegenüber Industriepartnern deutlich zu machen. Ein hauptamtliches Clustermanagement wird für notwendig

[89] Koordination des Ende 2007 begonnenen DFG-Schwerpunktprogramms 1313 „Biological Responses to Nanoscale Particles – Bio-Nano-Responses“

angesehen, um sich weltweit kohärent präsentieren zu können. Die Vorteile des Clusters können vor allem bei der Beantragung von großen FuE-Vorhaben ausgespielt werden.
Kooperationspartner im Bereich außeruniversitärer Forschung sind u.a. das Max-Planck-Institut für Kohlenforschung in Mülheim/Ruhr und DLR-Institute; im Bereich universitärer Forschung sind sie eher in Süddeutschland (Stuttgart, München, Karlsruhe) angesiedelt.
Eine langjährige Kooperationsbeziehung verbindet die Universität Duisburg in diesem Bereich mit der Degussa AG, heute Evonik Industries. Ein markantes Ergebnis dieser Kooperation wurde oben bereits genannt. Derzeit bestehen vor allem im Rahmen des Science-to-Business-Centers der Creavis in Marl, eines FuE-Tochterunternehmens der Evonik Industries, enge Beziehungen (vgl. Kap. 9.4.1.5 auf S. 393). Creavis ist als Praxispartner in das Graduiertenkolleg Nanotronics eingebunden. Hier soll ein Typus von „offener Zukunftsforschung“ zwischen universitärer Forschung und Industrie erprobt werden, in dem das Potenzial von Nanopartikeln in Anwendungsprodukte mit industriell handhabbaren und kosteneffizienten Herstellungsverfahren überführt werden soll.
Darüber hinaus gestaltet sich der Wissenstransfer in die Wirtschaft zu potenziellen Anwenderunternehmen im unmittelbaren regionalen Umfeld als eher schwierig, da potenzielle Anwendungsbetriebe, insbesondere im Bereich des Mittelstandes fehlen. Hier wurde versucht, mit einem „KMU-Tag“ in Zusammenarbeit mit der örtlichen Industrie- und Handelskammer potenzielle Anwenderunternehmen zu erreichen, was nicht im erwarteten Umfang gelang.

CeOPP, Center for Optoelectronics and Photonics der Universität Paderborn

Das CeOPP ist ebenfalls ein universitäres Forschungscluster, das die Forschung und Ausbildung auf den Gebieten Halbleiterphysik und Optoelektronik, der integrierten Optik und Photonik an der Universität Paderborn fakultätsübergreifend koordiniert. Es umfasst zehn Arbeitsgruppen aus den Fachbereichen Chemie, Physik sowie der Elektro- und Informationstechnik, darunter seit April 2008 ein Graduiertenkolleg[90].
Arbeitsgebiete im Bereich Nano-Photonik und Nano-Optoelektronik sind u.a. Erzeugung von Nanostrukturen durch optische Lithographie, Prozessierung von Nanopartikeln, Erzeugung geordneter Nanodots, Herstellung von größenkontrollierten Silizium-Nanokristallen und von –Nanodrähten, nichtlineare Mikroskopie, Kombination von nasschemischen Herstellungsmethoden von Nanokristallen mit der physikalischen Methode der Molekularstrahlepitaxie zur Herstellung von Halbleiterschichtstrukturen[91].

[90] Micro- and Nanostructures in Optoelectronics and Photonics zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses
[91] s. Eigendarstellungen der Mitglieder des NRW-Nanoclusters für Informationstechnik, 01/2007

Die hauptsächlichen Finanzierungsquellen für diese Forschungen sind DFG, BMBF, Volkswagen-, Heinz-Nixdorf-Stiftung, AvH-Stiftung, EU sowie Investitionsmittel des Landes zur Errichtung des Zentrumsgebäudes, das 2006 bezogen wurde.

CeNTech GmbH – Center for Nanotechnology, Münster

Das CeNTech versteht sich als Gründungs- und Kompetenzzentrum, wobei Gründung für ein Drittel der Kapazität steht, das für (neu gegründete) Unternehmen zur Verfügung steht; zwei Drittel der Raumkapazität sind durch die ausgeweiteten bzw. ausgelagerten Forschungsgruppen der Universität belegt. Da es überwiegend ein universitäres Forschungszentrum ist, soll es hier mit aufgeführt werden. In dieser Aufgabenkombination steht es einzigartig für die befragten Forschungscluster in NRW. Das CeNTech-Zentrum wurde im Jahr 2000 gegründet und ist eine Tochterfirma der Technologieförderung Münster GmbH/der Wirtschaftsförderung der Stadt Münster, der Universität und der örtlichen Sparkasse. 2003 konnte in das neue Gebäude am heutigen Standort eingezogen werden.

Schwerpunkt ist Nano-Bio-Analytik für unterschiedliche Anwendungsbereiche: Für dieses deutschlandweit einzigartige Profil ist entscheidend, dass die Ingenieure und Naturwissenschaftler, aufgrund der räumlichen Nähe und der regional verfolgten Vernetzungen,
mit der klinischen Forschung im großen Uni-Klinikum in Kooperation treten.

Das Zentrums-Management bietet Trainings (Workshops, Seminare, Summer schools), veranstaltet Kongresse und Messen, macht Technologietransfer-, Gründungs- und Kommerzialisierungsberatung, bietet Patentrecherchen und Patentierungsberatung an und vertritt die Nanoaktivitäten in Münster in nationalen und internationalen Netzwerken und Verbundprojekten. Das CeNTech hat u.a. das BMBF-Kompetenzzentrum Nanoanalytik, das Forschungscluster Nanobiotechnologie NRW und das NoE-Projekt „Frontiers“ im 6. EU-Rahmenprogramm mit dem Schwerpunkt im Bereich Oberflächen- und Grenzflächentechnologien koordiniert.

Im europäischen Wettbewerb sieht man sich am Standort Münster im Bereich Nano-Bio-Analytik als gut aufgestellt an und im Spiel mit den maßgeblichen Forschungsgruppen/-einrichtungen in Europa auf Augenhöhe. Mit dem Schwerpunkt Nanoanalytik sieht man sich gut an einer strategischen Schnittstelle positioniert, an der die Geschwindigkeit weiterer nanotechnologischer Fortschritte maßgeblich bestimmt wird.

Da die Förderung im 6. RP ausgelaufen ist, war es zum Zeitpunkt des Interviews allerdings noch offen, ob und ggf. wie die Vernetzung auf europäischer Ebene fortgesetzt werden

kann[92]. Die befristete Förderung der Nano-Forschung wird generell als ein großes Problem für die Erzielung von nachhaltigen Wirkungen angesehen.

NanoClub der RWTH Aachen

Er wurde 2002 auf Initiative von vier Professoren eingerichtet und verfolgt das Ziel, die nanowissenschaftlichen Aktivitäten an der RWTH in den Schwerpunktbereichen molekulare und komplexe Systeme, Nanoanalytik und Nanomechanik, Nanoelektronik und Integration, Informationstechnologie/Quanteninformation sowie medizinische Forschung zu vernetzen. Er umfasst inzwischen ca. 40 Forschungsgruppen und Institute.

Der lose Zusammenschluss wird von einer aktiven Kerngruppe im Umfeld der Gruppe der initiierenden Professoren getragen, die miteinander in Projekten auch enger zusammenarbeiten. Fallweise bzw. themenbezogen kommen Beteiligte aus dem äußeren Kreis hinzu. Vom Club werden Workshops und Vorträge organisiert. Der Aufbau des Clubs wurde in den ersten drei Jahren durch eine Anschubfinanzierung des Landes gefördert und stagniert derzeit. Die Betreuung des Clubs soll zukünftig in den Aufgabenbereich des zentralen Büros für Technologietransfer und Innovation der RWTH übertragen werden.

Derzeit wird eine stärkere Vernetzung mit den außeruniversitären Einrichtungen in Aachen, insb. AMICA-AMO, dem FZ Jülich (im Rahmen der JARA-Jülich-Aachen-Research-Alliance[93]) und den Fraunhofer-Instituten sowie der Provinz Limburg in den Niederlanden verfolgt.

Die in Aachen verfolgten nanowissenschaftlichen Forschungsthemen haben nur einen entfernten Bezug zu umwelttechnischen Fragestellungen, abgesehen von der Energietechnikforschung, die in nächster Zukunft im Rahmen von Stiftungsprofessuren der E.ON ausgebaut werden wird. In Fragen der Brennstoffzellentechnologie wird mit dem ZBT in Duisburg kooperiert. Auf die Frage, welche Nano-Club-Mitglieder umweltbezogene Problemstellungen bearbeiten, wurde auf eine Studie zur Toxizitätsproblematik von Nanopartikeln verwiesen, die von Prof. Simon aus dem Initiatorenkreis des Clubs für die Projektgruppe der Europäischen Akademie Bad Neuenahr „Nanomaterialien, Nanodevices, Nanocomputing“ (2003-2006) erstellt worden ist.

Forschungsverbund Mikro- und Nanostrukturen (MIKRONANO) der Technischen Universität Dortmund

[92] Im Sept. 2008 ist das von der European Science Foundation geförderte internationale Projekt NANOPARMA gestartet worden, das von einer Arbeitsgruppe des CeNTech koordiniert wird (s. PM der Universität Münster vom 29.08.2008).
[93] Eine ähnliche Intensivierung der Kooperation zwischen Universität und Großforschungszentrum wird in Karlsruhe verfolgt.

Dieser Verbund ist ein ebenfalls (im Vergleich zu den o. g. Zentren an den Universitäten Duisburg-Essen und Paderborn) eher lockerer Verbund von zehn Forschungsgruppen aus den Fakultäten Physik, Chemie, Maschinenbau, Elektro- und Informationstechnik, Bauwesen und des Delta-Zentrums für Synchrotronstrahlung. Es ist bisher nicht gelungen, die fakultätsübergreifende Kooperation stärker zu institutionalisieren.
Mit dem Arbeitsbereich nichtlineare optische Eigenschaften von Verbindungshalbleitern aus Elementen der III. und V. Hauptgruppe des Periodensystems wie Gallium- und Indium-Arsenid und drei weiteren Arbeitsgruppen war die TU Dortmund am NRW-Forschungscluster Nanoelektronik beteiligt.

Center of Nanostructures and Nanomaterials der Ruhr-Universität Bochum
In ähnlicher Weise, allerdings etwas früher, als an der TU Dortmund, haben sich die Materialwissenschafter/innen an der Ruhr-Universität Bochum aus vier Fakultäten zunächst 1997 zum Materialforum zusammengeschlossen und 2002 das NanoCenter eingerichtet. Die Initiative dafür ging vom Arbeitskreis Nanostrukturen und Nanomaterialien des Materialforums aus. Mit dem NanoCenter ist beabsichtigt, die interdisziplinäre Arbeit auf dem Gebiet der anorganischen Materialien mit Abmessungen im Submikrometerbereich zu fördern. Derzeit sind insgesamt 15 Lehrstühle und Arbeitsgruppen beteiligt. Im Juni 2008 hat das neue Materialforschungszentrum ICAMS (Interdisziplinary Centre for Advanced Materials Simulation) seine Arbeit aufgenommen, das zu gleichen Teilen vom Land und einem Industriekonsortium unter Führung von ThyssenKrupp finanziert wird. Gegenstand der Forschung ist die Multiskalenmodellierung von Materialien (metallische Legierungen, Keramiken, Gläser, Kunststoffe) (s. WR, 07.06.08)

9.4.1.3 „NRW-Forschungscluster“
Die Landespolitik hat bereits früh begonnen, im Rahmen ihrer Strukturförder- und Innovationspolitik, die Entwicklung und Verbreitung von Mikrosystem- und Nanotechnologien zu fördern. 1993 wurde die Mikrostruktur-Initiative NRW IVAM als Initiative zur Verbreitung von Anwendungen der Mikrosystemtechnik gestartet. Die sich hierzu bildende Interessengemeinschaft aus Wissenschaft und mittelständischer Industrie hatte zum Ziel insbesondere kleinere Unternehmen darin zu unterstützen innovative Produkte und Herstellungsverfahren, zunächst für die Mikrostrukturtechnik, bis zur Marktreife zu entwickeln. Anfang dieses Jahrzehnts wurden die Entscheidungen getroffen, die sich herausbildenden FuE-Zentren im Bereich der Nanowissenschaften und Nanotechnologien durch Investitionszuschüsse für die

Errichtung von geeigneten Zentren zu unterstützen[94]. Diese Zentren wurden durch regionale Technologieinitiativen und Netzwerke (wie die Technologieinitiative Münster, das dortmund-project) einerseits in Gang gesetzt, wobei die auf Regionen ausgerichteten Wettbewerbe des BMBF (1998-1999) teilweise einen ausschlaggebenden Impuls gegeben haben. Und andererseits hat die BMBF-Förderung der Vernetzung der nanowissenschaftlichen Forschung in Kompetenznetzen Früchte getragen. Im Wettbewerb zur „Nationalen Nanotechnologie Initiative“ konnten sich aus NRW die RWTH Aachen und die Universität Münster erfolgreich durchsetzen und die Koordination zweier Kompetenzzentren, das für funktionale laterale Nanostrukturen und das für Nanoanalytik[95], übernehmen.

In diesem Kontext steht die Förderung von „Forschungsclustern“ in der Nanotechnologie durch die Landesregierung NRW, mit der bezweckt wurde, die Forschungskompetenzen in NRW zu bündeln, und zwar in drei Feldern

- Nanotechnologie für die Informationstechnik,
- Nanotechnologie für die Biowissenschaften und
- Nanotechnologie für die Energietechnik.

Die mit der Koordination beauftragten Institute bzw. Zentren (AMO, CeNTech und ZBT) wurden seit 2003/2004 für die Koordination in begrenztem Umfang (ca. eine halbe Stelle) unterstützt. Die Förderung ist 2007 ausgelaufen und derzeit (zum Zeitpunkt des Interviews) ist noch offen, ob und wie sie weitergeführt werden soll.

Bei allen drei Netzwerken war es das Ziel, die Forschungsgruppen in NRW stärker in Austausch untereinander zu bringen, vor allem auch disziplinenübergreifend, und nach außen die Forschungskompetenz in NRW sichtbar zu machen. Sie verstanden sich als „offene Innovationsplattformen“ (AMO, 01/07) der aktiven universitären Forschungsgruppen in der Grundlagenforschung zur Nanotechnologie in NRW und/oder als Marketing- und Informationsplattformen für den Aufbau von Kontakten zur Industrie sowie als Ansprechpartner für die Landesregierung.

Die NRW-Forschungscluster „Nano-IT“ und „NanoBio“ umfassten Arbeitsgruppen aus jeweils fast allen Universitäten, aus einigen Fachhochschulen sowie dem Forschungszentrum Jülich. Am Energiecluster waren auch das MPI für Kohlenforschung und Eisenforschung in Mülheim/Ruhr sowie der DLR beteiligt.

[94] Inbetriebnahme des CeNTech in Münster (2003) und des AMO in Aachen (1997), der MSTfactory in Dortmund und des Science to Business-Center in Marl (2005)

[95] Zusammen mit der Universität Hamburg und LMU München

Es wurden Workshops durchgeführt, Informations- und Marketingbroschüren (Nanotechnologie Informationstechnik 2004/2. Auflage 2005; NanoEnergietechnik, 2006) sowie Kompetenzdarstellungen (Reader zum Workshop 2004 NanoBio NRW – Profile und Projekte; Eigendarstellungen der Mitglieder des NRW-NanoClusters für Informationstechnik 01/2007) erstellt, mit denen die Aktivitäten kenntlich gemacht wurden.

Während in den Netzwerken „Nano-IT“ und „NanoBio“ mit den begrenzten Ressourcen ein relativ intensiver Austausch organisiert wurde, der in der Fachöffentlichkeit merkliche Resonanz gefunden hat, haben die Aktivitäten im Energietechnik-Netzwerk kein vergleichbares Niveau erreicht und sind wegen personeller Diskontinuität in der Koordination frühzeitig zu Ende gegangen. Es zeigt sich daran auch, dass eine Weiterentwicklung der Konturen der Nanotechnologie-Forschung und eine Intensivierung der Forschungskooperationen eines „Kümmerers“ bedarf mit ausreichenden und kontinuierlichen Ressourcen, um die Kontakte zu den Forschungsgruppen zu pflegen, Austauschforen und Workshops zu organisieren, Projektkooperationen zu stiften und Beziehungen zu Partnern in der Wirtschaft aufzubauen.

9.4.1.4 Anwendungsorientierte Forschungscluster

AMO/AMICA GmbH, Aachen

Die AMO – Gesellschaft für Angewandte Mikro- und Optoelektronik mbH ist ein privatwirtschaftliches Forschungs- und Technologiezentrum, deren Nanotechnologie-Abteilung das AMICA (Advanced Microelectronic Center Aachen) ist.

Die AMO wurde 1993 als Forschungs- und Kompetenzzentrum aus der RWTH Aachen (Institut für Halbleitertechnik) ausgegründet. Es ist das erste der neugegründeten Forschungs- bzw. Kompetenzzentren im Bereich Nanotechnologien in NRW und auch bundesweit. Es versteht sich als FuE-Unternehmen mit einer „Brückenfunktion zwischen Grundlagenforschung und angewandter Forschung“ in den Bereichen Nanomanufacturing, Nanoelektronik und Nanophotonik sowie Nanostrukturen für die Biotechnologie. AMO ist vollständig auf Nanotechnologie ausgerichtet und verfügt über die dafür notwendigen Reinraumflächen und Geräteausstattungen (Nano CMOS-Prototyping, Elektronenstrahllithographie, UV-Nanoimprint Stepper, Interferenz-Lithographie, Nanoanalytik).

Die AMO ist auf der einen Seite über Personalunion auf der Leitungsebene und Nachwuchskräfterekrutierung eng mit der universitären Forschung an der RWTH verbunden und kooperiert forschungsseitig mit deutschen (TU Darmstadt, Universität des Saarlandes und Stuttgart), europäischen (Louvain, Liverpool, Surrey) und amerikanischen Spitzenuniversitäten (MIT, Harvard, Chalmers) und außeruniversitären Forschungszentren (Jülich, CNRS).

Auf der Anwenderseite wird mit einigen der weltweit namhaften Halbleiter-Herstellern (AMD, Infineon, Quimonda, IBM) zusammen gearbeitet. Diese haben ihre Forschungs- und Produktionsstandorte außerhalb von NRW bzw. Deutschland.

In NRW wird mit einer der kleinen forschungsorientierten, etablierten Firmen, der Fa. Raith in Dortmund, zusammengearbeitet, die ebenfalls im Bereich Hochleistungssysteme zur Herstellung von Nano-Strukturen sowie zur Fehlererkennung bei Halbleitern tätig ist.

Das Tätigkeitsspektrum reicht von Grundlagenforschung über einen großen Bereich von anwendungsorientierter Forschung bis hin zu Prototypentwicklungen und Kleinserien-Auftragsfertigung (foundry services).

Nanostrukturierung auf der Basis von Silizium steht im Mittelpunkt der FuE. Im Jahr 2000 wurde die NanoCMOS-Technologie-Plattform eingerichtet. AMO sieht sich in der Rolle des „Pfadfinders für technologische Innovation“, die frühzeitig aufgegriffen und auch gegen Zweifel von Gutachtern und Industrie in Deutschland verfolgt und durchgesetzt werden.

Grundlagenforschung, die über die Siliziumtechnologie hinausführen soll, wird im Bereich Graphen-Monolagen gemacht. Monolagen aus Kohlenstoff werden als eines der attraktivsten Materialien für zukünftige Elektronik angesehen (AMO-Broschüre: Vergangenheit-Gegenwart-Zukunft, o.J.). Im letzten Jahr wurden weltweit erstmals Graphen-Transistoren mit Top-Gate demonstriert. In der Perspektive Biotechnologie wird die Kopplung von elektronischen und biologischen Systemen verfolgt (nanoelektronische Biosensoren, integrierte photonische Biosensoren, maßgeschneiderte künstliche biologische Oberflächen, gedruckte nanofluidische Bauelemente).

Das Nano-imprint-Verfahren wurde im Haus bis zur Marktreife entwickelt; hier wird weltweite Marktführerschaft bzw. Alleinstellung in Anspruch genommen. Die FuE-Aktivitäten in diesem Bereich wurden 1998 begonnen; 2004 wurde das NILCom-Industriekonsortium gegründet, um diese Technologie zu kommerzialisieren. Das weltweite Konsortium bietet Unterstützungsleistungen (Anwendungsentwicklung, Prototyping, Benchmarking, Marktforschung) und die Infrastruktur zur Überführung der Nanoimprint-Technologie in die Massenfertigung. In diesem Konsortium ist AMO ein „Exzellenzzentrum für die Prozesstechnologie“.

UV-Nanoimprint ist eine junge Lithographietechnologie zur Fabrikation nanoskaliger Strukturen im Bereich der Nanoelektronik, Photonik und Biotechnologie. Sie steht in Konkurrenz zu Heißpräge-Technologien (DUVL, EUVL), da sie eine höhere Auflösung bei einem Bruchteil der Kosten ermöglicht (www.amo.de/153.0.html). Ein Teil der Kostenreduk-

tion resultiert aus einem geringeren Energieaufwand (z. B. Durchführung bei Raumtemperatur).

Der größte Teil der finanziellen Ressourcen kommt aus öffentlichen Förderprogrammen (6. und 7. RP der EU, BMBF, Land NRW); es sind dies Network- und Verbundprojekte mit Beteiligung industrieller Partner. 30% des Umsatzes werden mit Auftragsforschung bestritten.

AMO hat das bundesweite Kompetenzzentrum für laterale Nanostrukturen und, nach Beendigung der BMBF-Förderung, von 2003 bis zum letzten Jahr das NRW-Forschungscluster Nano-IT koordiniert.

Als universitätsnahes Institut ist AMO eingebunden in die Kooperation der RWTH mit dem Forschungszentrum Jülich (JARA), in die grenzüberschreitende Kooperation mit der Provinz Limburg in den Niederlanden zur Sicherung des Fachkräftebedarfs in der Zukunft für die gesamte Region sowie die Errichtung eines neuen Forschungs- und Technologieparks „Campus RWTH“ in unmittelbarer Nachbarschaft zu den naturwissenschaftlichen Instituten und dem Universitätsklinikum.

Zu den anwendungsorientierten Forschungsinstituten sind weiterhin zu zählen

- **das IUTA e.V., Institut für Energie- und Umwelttechnik** und
- **das ZBT – Zentrum für Brennstoffzellen-Technik gGmbH**,

beide inzwischen An-Institute an der Universität Duisburg-Essen sowie

- **das Fraunhofer Institut Umwelt-, Sicherheits-, Energietechnik UMSICHT** in Oberhausen.

Wegen ihres expliziten Umweltforschungsbezugs werden sie in Kap. 9.4.3 auf S. 405 vorgestellt.

Wir unterscheiden diese genannten anwendungsorientierten Institute von den nachfolgend dargestellten wirtschaftsorientierten Instituten und FuE-Unternehmen, weil sie auch grundlagenforscherische Fragestellungen bearbeiten und ausdrücklich die enge Kooperation mit der Grundlagenforschung an der Universität als ihr spezifisches Profilmerkmal benennen. Dies ist Grundlage für ihre institutionelle Anbindung an die Universität und die Gewährung von direkten Finanzzuweisungen des Landes.

9.4.1.5 Wirtschaftsorientierte FuE-Cluster

Hier sollen nun die explizit privatwirtschaftlich betriebenen FuE-Unternehmen und Gründungszentren in NRW vorgestellt werden, die sich ausschließlich mit Nanotechnologien

beschäftigen wie Creavis in Marl und CeNTech in Münster oder offen für Unternehmensgründungen im Bereich Nanotechnologien sind wie die MSTfactory in Dortmund.

Creavis GmbH, Science to Business Center der Evonik Degussa, Marl

Es handelt sich dabei um eine FuE-Tochterfirma der Evonik Industries (vormals Degussa AG) zur beschleunigten Generierung von innovativen Produkten in Kooperation mit externen (universitären) Forschungsgruppen. Ein Schwerpunktbereich wird mit „Nanotronics" bezeichnet.

Dieses Modell ist als innovativer Typus für die Organisation des Wissenstransfers zwischen universitärer Forschung und der Industrie für die großchemische Industrie (ohne Pharma-Forschung) in Deutschland anzusehen. Intensive Kooperationsbeziehungen werden hier mit CeNIDE der Universität Duisburg-Essen gepflegt. Den Teilnehmer/innen des dortigen Graduiertenkollegs Nanotronics wird die Möglichkeit gegeben, praxisnah zu forschen und industrielle Anforderungen und Problemstellungen in der Grundlagenforschung zu bearbeiten. Dieses Modell der Forschungskooperation wird mit einer Anschubfinanzierung seitens des Landes unterstützt.

MSTfactory GmbH, Dortmund

Die MSTfactory ist ein wirtschaftsorientiertes Gründungs- und Wachstumszentrum allein für (neu gegründete) Unternehmen, zunächst im Bereich Mikrostrukturtechnik und inzwischen zunehmend auch in der Nanotechnologie. Anders als in Münster (CeNTech) und Aachen (AMO) findet im Zentrum keine Nutzung durch Forschungs- bzw. Universitätsinstitute statt, sondern es ist allein privatwirtschaftlichen Mietern zugänglich. Beide Zentren werden gleichwohl als Referenzgrößen in NRW für die Profilierung der eigenen Strategie gesehen. Mit dem Münsteraner Zentrum, das komplementäre Technologien verfolgt, wird kooperiert.

Die MSTfactory ist eingebettet in und das Ergebnis der Entwicklungsstrategie der Wirtschaftsförderung Dortmund und der weiteren beteiligten Akteure, die „dortmundproject" genannt wird. Diese Entwicklungsstrategie wurde von der Stadt und der Thyssen-Krupp AG Ende der 1990er Jahre initiiert, um nach Schließung des Hoesch-Stahlwerks in Dortmund den Aufbau neuer, zukunftsträchtiger Arbeitsplätze zu beschleunigen, und von der Unternehmensberatung McKinsey begleitet (Jonas u.a. 2002). Als einer der profilbildenden Bereiche, auf den die Investitionen im Zeitraum eines Jahrzehnts konzentriert und die Aktivitäten und Vernetzungen der beteiligten Akteure fokussiert werden, wurde die Mikrosystemtechnik, inzwischen erweitert um Nanotechnologie, identifiziert. Dieser Strategiefokus wurde nicht

willkürlich gewählt, sondern basierte darauf, dass an der Universität und der Fachhochschule in Dortmund Forschung und Ausbildung in diesem Bereich schon in den Jahren davor aufgebaut wurden und im Umfeld der Hochschulen bereits seit Anfang der 1980er Jahre Unternehmen in diesem Technologiebereich gegründet wurden (wie z. B. Fa. Raith, ETR-Elektronik Technologie Rump, ELMOS, Steag microparts/heute Boehringer Ingelheim microParts) und diese sich in einem Netzwerk, der Interessengemeinschaft zur Verbreitung von Anwendungen der Mikrostrukturtechniken NRW e.V. (IVAM), organisierten. Mit der Einwerbung von Strukturfördermitteln des Landes und des Bundes[96] sowie des Landes und der EU[97] sowie Risikokapital soll im Rahmen des „dortmundprojects“ ein förderliches Gründungsklima und Infrastrukturen für die Gründung und Ansiedlung von Unternehmen geschaffen werden, was als weitgehend gelungen beurteilt werden kann.

Ein zentraler Strategiebaustein, um Forschungsergebnisse im Bereich der Mikrostrukturtechnik und zunehmend auch der Nanowissenschaften in wirtschaftliche Anwendungen zu überführen, ist das Gründungszentrum MSTfactory. Bestandteil des Zentrums ist ein Zentrallabor, der sog. Inkubator, in dem Gründer/innen Reinräume, Geräte und entsprechendes Personal zu günstigen Mietpreisen zur Verfügung gestellt werden. Im Zentrum stehen 1500 m^2 Reinräume zur Verfügung, die größte freie Fläche in Deutschland außerhalb von Großunternehmen.

Der Zugang zur MSTfactory ist daran gebunden, dass der Gründungs- und Finanzierungsweg zusammen mit der MST-Beratung gegangen wird. Erstrangiges Aufnahmekriterium ist die Qualität der Aktivität. Die Innovation müsse von außen kommen, wie einer der Interviewpartner sagte. So wolle man außerordentlich interessante Unternehmen ins Zentrum bekommen. Gefördert wird auch die Kooperation zwischen den Unternehmen im Zentrum; teilweise werden gemeinsame Entwicklungen gemacht und gemeinsam Geräte angeschafft. Betreiberstrategie ist, nur Unternehmen ins Zentrum zu holen, die komplementär zueinander sind. Es werden keine Konkurrenten zu bereits im Zentrum ansässigen Unternehmen ins Haus geholt. Hinsichtlich des Gründertypus will man keine Eigenbrötler haben, die sich abschotten. Damit will man eine bessere Gerätenutzung erreichen und darüber die Unternehmen an das Zentrum bzw. den Standort binden. Vorgesehen ist, dass die neu gegründeten Unternehmen fünf bis acht Jahre im Zentrum verbleiben und dann auf die freie Fläche in der Umgebung ziehen. Der kontinuierliche Wechsel ebenso wie die Begrenzung auf diese Technologiebereiche gehört zur Betreiberstrategie.

[96] Gemeinschaftsaufgabe zur Verbesserung der Wirtschaftsstruktur
[97] Europäischer Fonds für regionale Entwicklung EFRE

Diese anspruchsvolle Betreiberstrategie erfordert ein umfassend kompetentes Zentrumsmanagement, das neue Unternehmen von der Gründungsberatung bis zur Wachstumsphase bzw. zum Auszug aus dem Zentrum berät und begleitet. Seine Aufgaben umfassen die Beurteilung von Gründungsideen und Businessplänen, Technologie-, Patent- und Marktanalysen, Vermittlung von Kooperationspartnern und Zugängen zu Risikokapital, Business-Development sowie das Facility-Management im engeren Sinne. Als entscheidende Voraussetzung für das Zentrumsmanagement wird nicht nur angesehen, dass ein/e Zentrumsmanager/in die betriebswirtschaftlichen Kompetenzen aufweist und die Spielregeln des Gründungsgeschäftes kennt, sondern auch ein naturwissenschaftliches oder technisches Studium absolviert haben muss, um den Perspektivwechsel nachvollziehen zu können, den Hochschulabsolvent/innen beim Weg in die Selbstständigkeit gehen müssen.

Nach Einschätzung des Interviewpartners haben sich die Profile der Gründer/innen nicht verändert; sie kämen überwiegend von der Technologie her. In den letzten fünf-sechs Jahren sei allerdings die Qualität der Gründungsideen deutlich gestiegen. Um das Jahr 2000 sei viel Geld verfügbar gewesen und das Hauptmotiv der Selbstständigkeit sei gewesen, Geld zu verdienen. Die Probleme seien heute zum einen der Fachkräftemangel, d.h. für die neu gegründeten Unternehmen die geeigneten Mitarbeiter/innen zu finden. Zum anderen stehe heute die Option, ein eigenes Unternehmen zu gründen in Konkurrenz mit attraktiven Beschäftigungsangeboten. Wer jetzt den Weg der Selbstständigkeit wähle, sei davon überzeugt und verfolge ein hochwertiges Unternehmenskonzept.

Zum Gründungszentrum gehört auch, dass in unmittelbarer Nachbarschaft Gewerbeflächen bzw. –immobilien zur Verfügung gestellt werden können, mit denen die Unternehmen Wachstumsperspektiven verfolgen können. Die erste Firma (aus Dortmund), für die derzeit ein neues Betriebsgebäude von einem Investor (Fa. Freundlieb) auf dem Gelände von „Phoenix West“ gebaut wird, ist die Fa. Raith (gegr. 1980, derzeit im Technologiepark angesiedelt). Es ist ein Sonderanlagenbauer im Bereich Mikro-/Nanotechnologie, der elektronische Mikroskope mit Elektronenstrahllaser zur Oberflächenbehandlung herstellt.

Die Wirtschaftsorientierung der MSTfactory kommt auch in der eigenen Vernetzungsstrategie zum Ausdruck. Sie ist Mitglied in der Industrieplattform Mikroverfahrenstechnik (besteht seit 2000 bei der DECHEMA) und dem Industrieforum Mikrofertigungstechnik des Forschungszentrums Karlsruhe.

Die MSTfactory hat 2005 ihren Betrieb aufgenommen und wurde 2007 erweitert. Vorausgegangen ist, dass bereits 2001 das „Zentrum für Aufbau- und Verbindungstechnik AVT-Zentrum“ eröffnet worden ist. Zweck ist auch hier, mit Hilfe von öffentlichen Investitionen

eine Geräte- und Anlagen-Infrastruktur zu günstigen Mietpreisen zur Entwicklung und Fertigung von Prototypen, Muster- und Nullserien im Bereich der Silizium-, Sensor- und Mikrosystemtechnik bereitzustellen. Die beteiligten Unternehmen (u.a. HL-Planartechnik, Raith, Bartels-Mikrotechnik) haben sich im Gegenzug verpflichtet, ihre Technologien Dritten als Dienstleistungen (foundry services) zur Verfügung zu stellen.

Zum Kontext der MSTfactory gehört auch, dass im Rahmen der „start2grow"-Gründungswettbewerbe des „dortmundprojects" seit 2003 jährlich ein Mikrostruktur-Gründungswettbewerb („allmicro") durchgeführt wird, mit dem Unternehmensgründungen in diesem Technologiebereich, insbesondere auch Spin-off-Gründungen aus der Forschung heraus, stimuliert werden sollen. Den Wettbewerbsteilnehmenden wird im Rahmen des Wettbewerbs ein umfassendes Beratungs- und Coaching-Angebot zur Verfügung gestellt, das auf einem Netzwerk von ca. 600 ehrenamtlich im Rahmen des Wettbewerbs tätigen Berater/innen und Expert/innen beruht. Zur Unterstützung der Gründungsinteressierten aus der Region haben sich die Gründungsberater/innen der Wirtschaftsförderung, der Kammern, der Technologiezentren und der Hochschulen im Berater/innen-Netzwerk G-Dur zusammen geschlossen.

Zum Cluster Mikrostrukturtechnik gehören inzwischen in Dortmund über 40 Unternehmen, wovon 17 in der MSTfactory angesiedelt sind. Letztere haben zwischen einem und 30 Mitarbeiter/innen, die bei den kleineren dieser Unternehmen fast ausschließlich Akademiker/innen sind; bei den schon etwas größeren liegt der Akademikeranteil bei 70%. Die Unternehmen außerhalb der factory sind teilweise etwas größer (10-70 Mitarbeiter/innen), teilweise große Unternehmen (wie BI microParts mit ca. 330 und ELMOS mit ca. 680 Mitarbeiter/innen). Das Tätigkeitsspektrum liegt bei den kleineren in der kundenspezifischen Entwicklung, des Prototyping und der Auftrags- und Kleinserienfertigung von mikroelektronischen und mikrofluidischen Komponenten und Systemen; bei den beiden genannten Großunternehmen wird in Großserien gefertigt (bei BI microParts Mikrozerstäuber und Mikrotiterplatten; bei ELMOS ASICs und mikromechanische Sensoren auf Silizium-Wafern).

Nanotechnologie-Unternehmen in der MSTfactory sind Innolume, OptoGaN und NanoRelief. Die Fa. Innolume wird als ein Vorzeigeunternehmen im Bereich Nanotechnologie angesehen. Sie baut Quantendotlaser und wird auf diesem Feld derzeit als weltweit einzigartig eingestuft. NanoRelief entwickelt und produziert einen neuen Typ von Hochleistungs-Lichtmodulatoren (weltweites Patent). OptoGaN ist die Tochterfirma eines finnischen Unternehmens, das kundenspezifische Produkte für LED-Hersteller (Templates, Wafer) entwickelt.

Von den Dortmunder Unternehmen, die außerhalb der factory angesiedelt sind, hat die Fa. Raith Bezüge zur Nanotechnologie. Die Raith GmbH entwickelt und vertreibt weltweit Hochleistungssysteme zur Herstellung feinster Strukturen bis in den Nanometer-Bereich mit Elektronenstrahl-Lithographie.

Ein **Gewinn für die Umweltschutz** wird von den Produkten der Dortmunder Mikrostruktur- und Nanotechnologie-Unternehmen in Folgendem gesehen: Die Leuchtdioden der Fa. OptoGaN seien erheblich energieeffizienter als die derzeitigen Marktprodukte. Die Gasmessgeräte und -analysatoren der Firmen GfG Gesellschaft für Gerätebau und G.A.S. Gesellschaft für analytische Sensorsysteme bzw. deren Sensoren erbringen energieeffizientere und qualitativ bessere Messungen von Leckagen (Einträge in Wasser und Luft). Die Mikroprodukte von BI microParts (Mikrozerstäuber u.a.) erbringen einen deutlichen Gewinn im Ressourcenverbrauch, zumal dadurch, dass sie in Millionenstückzahlen hergestellt werden. Von der jungen Firma adlantis Dortmund Ambient Sensor Systems GmbH in der MSTfactory werden neuartige Sensorsysteme für die Analytik luftgetragener Stoffe erwartet.

CeNTech GmbH – Center for Nanotechnology, Münster

Das CeNTech versteht sich, wie oben erwähnt (vgl. Kap. 9.4.1.2), vor allem auch als Gründungszentrum. Derzeit sind 8 (FuE-) Firmen im Zentrum angesiedelt. Es sind dies überwiegend Ausgründungen aus den örtlichen Forschungsinstituten und der Universität sowie Tochtergründungen von ansässigen Unternehmen.

Was den Gründungszentrumsauftrag anbetrifft, arbeitet das CeNTech ähnlich wie die MSTfactory. Beide sind in komplementären Nano-Gebieten tätig, kooperieren miteinander und sehen sich beiderseits als Benchmark für die jeweils eigene Strategieentwicklung und Marktpositionierung (neben dem AMO in Aachen).

Das Zentrums-Management bietet Trainings (Workshops, Seminare, Summer Schools), veranstaltet Kongresse und Messen, macht Technologietransfer-, Gründungs- und Kommerzialisierungsberatung, bietet Patentrecherchen und Patentierungsberatung an und vertritt die Nanoaktivitäten in Münster in nationalen und internationalen Netzwerken und Verbundprojekten. Im Hinblick auf die überregionalen Koordinierungsaufgaben sind hier u.a. zu nennen die bundesweite Koordinierungsstelle des BMBF-Kompetenzzentrums Nanoanalytik, die Koordination des NRW-Forschungsclusters Nanobiotechnologie sowie des Networks of Excellence „Frontiers“ im 6. EU-Rahmenprogramm zu Oberflächen- und Grenzflächentechnologien.

Als Gründungszentrum ist CeNTech von zentraler Bedeutung für die Entwicklung von Wertschöpfung aus der nanowissenschaftlichen Forschung an der Universität und den benachbarten Forschungsinstituten (MPI für molekulare Biomedizin). Münster ist traditionell wenig mit größeren Industrieunternehmen (außer Wyett, BASF Coatings) ausgestattet, weshalb die Förderung von Unternehmensgründungen, insbesondere aus den Forschungsinstituten heraus, die Hauptaufgabe des Zentrums darstellt. Beispiele für solche Spin-off-Gründungen sind die Firmen „nanoAnalytics“ und „ChemBiotech“, die im CeNTech angesiedelt sind. Die erst genannte Firma ist in der Serviceanalytik für Ober- und Grenzflächen bis in den Mikro- und Nanometerbereich tätig und ist akkreditiertes Prüflabor nach ISO 17025. ChemBioTech ist im Bereich funktionelle Beschichtungen von Nanopartikeln mit Genen und Proteinen für Tumormarker und für den Wirkstofftransport tätig. Die neuen Unternehmen sichern einerseits ihre wirtschaftliche Existenz durch marktgängige Produkte und Dienstleistungen und entwickeln andererseits Innovationen „nebenher“ in Kooperation mit den benachbarten Wissenschaftler/innen.

Bereits 1989 wurde die Firma ION-TOF von Professoren der Universität Münster gegründet; sie stellt ein Erfolgsmodell für die Kommerzialisierung von Forschungsergebnissen dar. Sie ist ein technologisch führender Hersteller von Ionen-Massenspektrometern zur Oberflächenanalytik. Das Unternehmen war Industriepartner im BMBF-Kompetenznetzwerk Nanoanalytik. Die Tochterfirma TASCON ist im CeNTech angesiedelt.

9.4.2 Forschungs- bzw. Technologie-Netzwerke

Im vorangegangen Kapitel wurde der Fokus auf die räumliche Konzentration von Nanotechnologie-bezogenen Forschungseinrichtungen und Hochschulen gelegt, die als Cluster bezeichnet werden und in eher forschungszentrierte, anwendungsorientierte oder wirtschaftsorientierte Forschungscluster unterschieden werden.

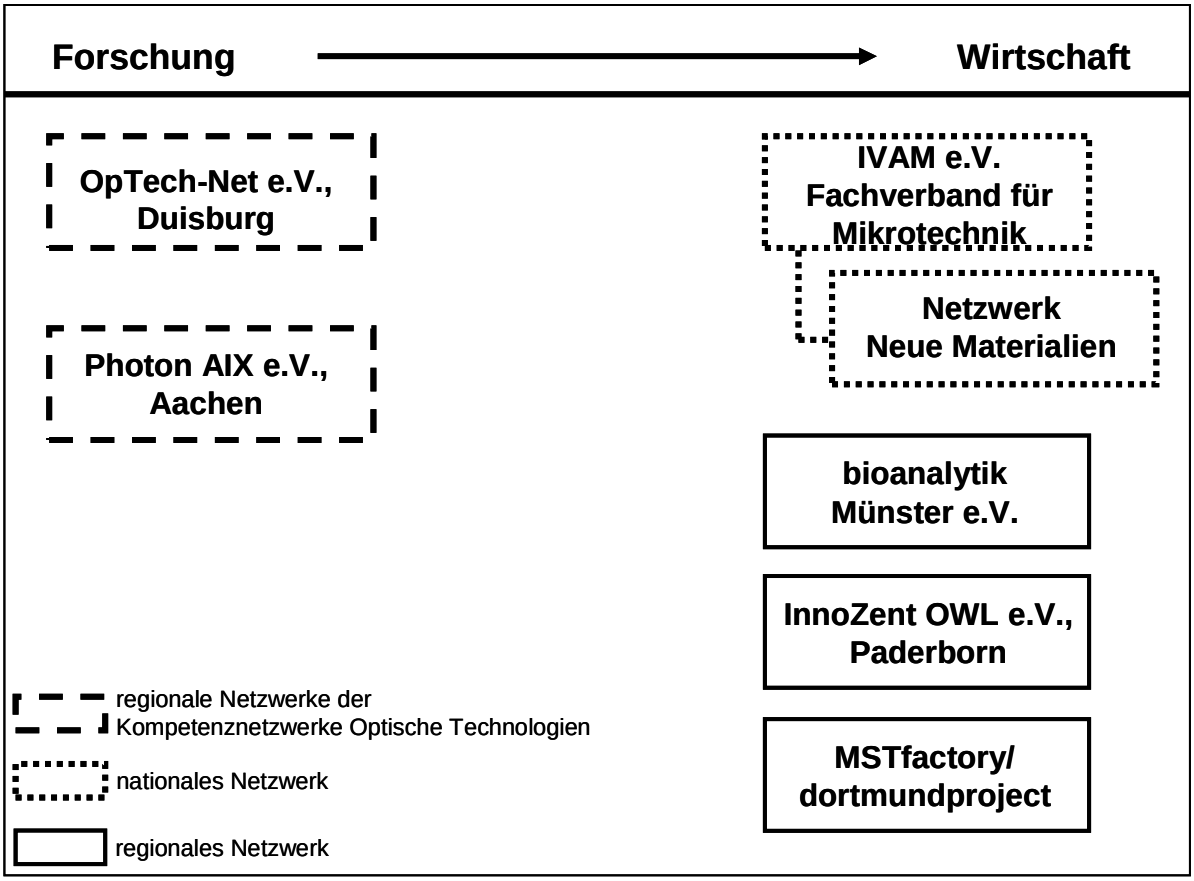
Im Folgenden soll nun der Blick auf regionale Technologie-Netzwerke gerichtet werden, in denen unterschiedliche regionale Akteure (kommunale Wirtschaftsförderung, Kammern, Sparkassen, Hochschulen, Technologiezentren u.a.) zusammenarbeiten, deren Ziel es ist, die jeweilige Region als Technologiestandort voranzutreiben und bekannt zu machen. In ihnen wird die Interessenkoordination der unterschiedlichen Akteure gefördert, was in der Regel Voraussetzung dafür ist, dass „Leuchtturm-Projekte“, wie Gründungs- oder Forschungszentren zustande kommen, Investitionsmittel des Landes erfolgreich dafür eingeworben und die erforderliche Kofinanzierung durch die Region geleistet werden können. Es soll also der

Frage nachgegangen werden, welchen Beitrag Netzwerke in NRW zur Clusterbildung im Bereich Nanotechnologien geleistet haben.

9.4.2.1 Übersicht Forschungs- bzw. Technologie-Netzwerke

Die in der nachfolgenden Abbildung benannten Netzwerke verstehen sich als Netzwerke regionaler Akteure zur Unterstützung von Mikrostrukturtechnik und/oder Nanotechnologie. Sie sind in dem virtuellen Netzwerk des Technologiemarktes NRW locker zusammengeschlossen. Mitglied ist hier für Dortmund die MSTfactory. In der Abbildung wird das dortmundproject genannt, da es den maßgeblichen Akteurshintergrund für die Gründung und Unterstützung des Gründungs- und Kompetenzzentrums in Dortmund bezeichnet.

Abbildung 132: FuE-Netzwerke Nanowissenschaften/Nanotechnologien in NRW



(Quelle: sfs-Zusammenstellung)

9.4.2.2 Wirtschaftsorientierte Netzwerke

Hier sollen exemplarisch zwei Technologie-Netzwerke aus NRW, die auf die Unternehmen ausgerichtet sind, vorgestellt werden, die bioanalytik Münster und InnoZentOWL in Paderborn.

Zu nennen ist hier weiterhin die **IVAM**, die 1993 als „Interessengemeinschaft zur Verbreitung von Anwendungen der Mikrostrukturtechniken NRW e.V." als regionales Netzwerk von Dortmund aus gestartet ist. Inzwischen ist sie ein nationaler und internationaler Fachverband für Mikrotechnik mit 265 Mitgliedsunternehmen und Instituten aus inzwischen 18 Ländern und damit über die Reichweite und Funktion von Netzwerken weit hinaus gewachsen. Etwa 40% der Mitglieder kommen derzeit aus NRW. Ihre Verwurzelung in der Region ist aber nach wie vor erkennbar und sie spielt für die Vernetzung der Mikrostrukturakteure in Dortmund und in NRW eine besondere Rolle.

Mit dem Anschluss des früher eigenständigen Netzwerks „Neue Materialien" hat sich auch der thematische Fokus der IVAM erweitert.

Die IVAM versteht sich auch als Fachverband, der Nanotechnologie-Unternehmen organisiert und deren Interessen vertritt. Sie versteht sich als Pool von Gleichgesinnten, der die technologischen Potenziale von Mikrostruktur- und Nanotechnologien und die sie hervorbringenden Unternehmen bei Anwendern und in der Öffentlichkeit bekannt macht.

Gesellschaft für *Bioanalytik Münster e. V.*, Münster

Von zentraler Bedeutung für die disziplinen- und akteursübergreifende Bündelung der nanowissenschaftlichen und -technologischen Aktivitäten in Münster sind zum einen die „Gesellschaft für Bioanalytik Münster e.V." und zum anderen die bereits dargestellte „Center for Nanotechnology GmbH (CeNTech)".

Die **Bioanalytik Münster** ist ein regionales Netzwerk aller relevanten Gruppen (Hochschulen, Forschungszentren, Unternehmen, Transfereinrichtungen und Investoren) in der Region, dessen Zweck ist, Wissenschaft, Forschung und Bildung im Bereich der Bioanalytik in der Region Münster zu fördern und die Region Münster zu einem führenden Bioanalytik-Standort mit dem Schwerpunkt im Bereich der Nanobioanalytik auszubauen.

Die Gesellschaft wurde im Jahr 2000 gegründet. Die Vernetzung der regionalen Akteure wurde im „Bio-Profile"-Wettbewerb des BMBF durch die „Technologieinitiative Münster" (beteiligt sind Stadt, IHK, HWK, Sparkasse, Hochschulen) in Gang gesetzt. Mit der Anschubfinanzierung des BMBF und Mitteln aus der Region (Sparkasse Münster) wurde zusammen mit der Boston Consulting ein Standortkonzept entwickelt, in dem die biowissenschaftlichen und Analytik-Kompetenzen als ausreichende kritische Masse zur Entwicklung eines Forschungs- und Technologieprofils für die Region bestimmt worden sind. Aufgabe der Gesellschaft bzw. ihrer Geschäftsführung war zunächst, das Netzwerk der Firmen in der Region (inzwischen knapp 30 Unternehmen) aufzubauen und die Beteiligung aller relevanten

Gruppen in der Region in der Zusammensetzung des Vorstandes abzubilden sowie die Wissenschaftler/innen aus den verschiedenen natur- und ingenieurwissenschaftlichen Fachbereichen miteinander ins Gespräch zu bringen. Neben der internen Organisation des Netzwerkes ging es auch wesentlich darum, dieses Profil von Münster nach außen zu vermarkten. Im weiteren Verlauf der Netzarbeit wurde der Fokus zum Einen um die nanowissenschaftliche Forschung (CeNTech) erweitert und zum anderen die Anwendungsperspektive des regionalen Profils durch die Einbindung der medizinischen Forschung an den Universitätskliniken verstärkt. Das Netzwerk war zwar zunächst in der Hauptphase des BMBF-Wettbewerbs nicht erfolgreich, konnte sich aber in späteren Wettbewerben bundes- und EU-weit (Kompetenzzentrum Nanoanalytik, NoE „Frontiers“ und „Nano2Life“ im 6. EU-Forschungsrahmenprogramm) erfolgreich positionieren.

Die Geschäftsführung (Geschäftsführer und zwei Mitarbeiterinnen) des Netzwerkes finanziert sich überwiegend selbst durch Einwerbung von Projektmitteln. Als Vorteil einer professionellen Geschäftsführung wird angesehen, dass sie bei Wettbewerbs- und Förderausschreibungen schnell agieren könne und eine neutrale Plattform für den Dialog der beteiligten Akteure sei. Man sieht sich auf gutem Wege darin, den Wert einer kontinuierlichen Netzwerkarbeit durch Akquisitionserfolge für die Region unter Beweis stellen zu können. Sie beruhten einerseits auf frühzeitiger Kenntnis des „Forschungsmarktes“ und andererseits auf vertieften und guten Kenntnissen über die Kompetenzen der regionalen und überregionalen Kooperationspartner.

Die zukünftigen Perspektiven des Netzwerkes Bioanalytik Münster werden zum einen darin gesehen, die internen Strukturen weiter zu festigen, wobei dem Dialog zwischen der Physik und der Medizin eine besondere Aufmerksamkeit zukommen soll, und das Unternehmensumfeld in Münster, ähnlich wie in Dortmund, weiter auszubauen. Zum anderen will das Netzwerk in der europäischen Forschung weiter eine führende Rolle spielen und sich daran beteiligen, strategische Forschungsfelder im Bereich der Nanobiotechnologie zu definieren. Die weitere Unterstützung durch die regionale Wirtschaftsförderung und die Landespolitik wird hierfür als notwendig angesehen.

InnoZentOWL e. V., Paderborn

InnoZent OWL e.V. ist das Innovationszentrum für Internettechnologien und Multimediakompetenz in Ostwestfalen Lippe mit Sitz (im Technologiepark[98]) und Schwerpunkt in Paderborn. Es ist ein auf die Wirtschaft ausgerichtetes Netzwerk von mittlerweile etwa 50 Mitgliedern, davon etwa ein Drittel Unternehmen, das Ende 1998 gegründet worden ist.

[98] Ist nach Dortmund der zweitgrößte nach Anzahl Unternehmen/Beschäftigten in NRW

Neben großen und kleinen, traditionsreichen und neu gegründeten Unternehmen (wie Siemens, Wieneke, Benteler, INSPIRE, iXtronics) gehören auch Verbände, Bildungsträger, Wirtschaftsförderung, IHK und Kreishandwerkerschaft, die Universität, das Fh-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration (IZM)[99] und weitere Forschungseinrichtungen zum Netzwerk. Die Namensnennung geht auf den damaligen Internet-Hype und die Kompetenzen der ortsansässigen Unternehmen und Forschungseinrichtungen zurück. Inzwischen werden Technologien breiter gefasst und Produktentwicklungen vielfältiger Art fokussiert, die einen Bezug zur Elektronik (Steuerung) haben. So hat man auch Mikrostrukturtechniken bis hin zu Nanotechnologien im Blick[100].

InnoZent ist ein regionales Technologie-Netzwerk**,** das älteste Netzwerk in der Region, neben der Bio-Tec-Region OWL e.V. in Bielefeld. Die weiteren Netzwerke in OWL, das für seine vielfältigen Netzwerkbildungen in NRW bekannt ist, sind Branchen-Netzwerke[101], die sich in Konkurrenz zu den Interessenverbänden dieser Branchen begeben. Die Funktion von Technologie-Netzwerken wird dagegen darin gesehen, übergreifende Themen und Prozesse sowie längerfristige Perspektiven, wie z. B. Nano, Mikro/Nano zu verfolgen. Schlüsselbegriffe zur Beschreibung der Ziele und Aktivitäten des Netzwerkes sind Systemintegration, Transfer und Adaption von bekannten Techniken in neue Anwendungsfelder sowie Produkt- und Nachfrageorientierung.

Seit 2005 steht die Landesinitiative „Innovative Industrielle Systemintegration“[102] im Mittelpunkt des Netzwerkes mit den als strategisch für das Netzwerk bzw. die Region angesehenen Handlungsfeldern RFID, Wireless Sensor Systems, Smart Power und Mikro-Mechatronik und in Zukunft Systemzuverlässigkeit und Sicherheit. Dieses Landesförderprogramm wurde vom Netzwerk initiiert und wird von ihm koordiniert. Mit Hilfe des Netzwerks wurde beispielsweise im Rahmen dieser Initiative das „System Integration Design Center SIDeC“-Projekt gestartet, mit dem der Transfer von wissenschaftlichen Erkenntnissen in marktfähige komplexe Systemlösungen in den genannten Produktbereichen beschleunigt werden soll. Adressaten sind insbesondere mittelständische Produkthersteller, denen häufig das umfassende technologische Wissen und die entsprechende Geräteausstattung fehlen, um Mikro- und Nano-Komponenten in innovative (Makro-)Systemlösungen integrieren zu

[99] Hauptsitze in München und Berlin

[100] Derzeit ist ein Unternehmen im Bereich Mikrotechnik (Fa. F&S Stereolithographietechnik GmbH, die Stereolithographiemaschinen sowie Tools zur Herstellung von dichten metallischen und keramischen Teilen und Formen mittels des selektiven Laserschmelzens entwickelt und Auftragsfertigung durchführt) tätig, das sich in Richtung Nanodimensionen positioniert.

[101] wie die Initiativen OWL Maschinenbau, zur Gesundheitswirtschaft, das Netzwerk Energie Impuls OWL, Netzwerke zu Food Processing und Kunststoffe, Zukunftsinitiative Möbelindustrie NRW

[102] Gefördert vom Arbeits- und Wissenschaftsministeriums des Landes

können. Vom Projektkonsortiums – Fraunhofer IZM, Universität Paderborn (Fachgebiet Sensorik) und ZAVT – Zentrum für Aufbau- und Verbindungstechnik GmbH in Bad Lippstadt– werden Dienstleistungen wie Systementwurf, Simulation von Einzelkomponenten und des Gesamtsystems, Packaging, Funktionsverifikation und Systemzuverlässigkeitsanalyse ortsnah in der Region bereitgestellt, mit denen Anwenderunternehmen eigene Produktentwicklungen vorantreiben können sollen[103]. Erste Industrieprojekte wurden beispielsweise mit den Automobilzulieferern Hella-Hueck und Benteler identifiziert.

Derzeit werden zwei Dutzend Projekte verfolgt bzw. bearbeitet. Der Nutzen daraus wird für das Netzwerk in Folgendem gesehen[104]: Gewinnung neuer Mitglieder; die Mitglieder profitieren direkt durch die Entwicklungskooperationen; das Networking erhält durch die Projekte eine neue Qualität und wird schneller, präziser und verbindlicher; durch Beteiligung an überregionalen Projekten wird die technologische Kompetenz der Region in Schlüsselbereichen deutlicher sichtbar gemacht; das Netzwerk wird als kompetenter Partner von den Landesministerien anerkannt und in den Dialog zu strategischen Fragen eingeladen. Insgesamt nimmt die Bedeutung und Attraktivität des Netzwerkes nachhaltig zu.

Das InnoZent-Netzwerk finanziert sich, ebenso wie andere Netzwerke, nur zum kleinen Teil durch Mitgliedsbeiträge und zum größeren durch akquirierte Projektmittel. Die Geschäftsstelle hat derzeit neben dem GF noch 2 Mitarbeiter/innen.

Mit dem OWL-Forum für Technologie und Innovation „solutions“ ist ein Medium etabliert worden, mit dem aktuelle, technologiebezogene u.a. Themen in der Region kommuniziert werden können. Es handelt sich dabei um eine Veranstaltungsreihe über 2-3 Monate zum Leitthema „Technologiestandort OWL“, die von allen Branchen- und Technologie-Netzwerken in der Region gemeinsam durchgeführt wird. Sie hat 2007 zum fünften Mal stattgefunden mit 17 Veranstaltungen, zu denen rund 2000 Teilnehmer/innen kamen. Ziel ist, die technologieorientierten Leistungspotenziale der Region deutlich zu machen und Innovationsanreize zu setzen.

9.4.2.3 Forschungsorientierte Netzwerke

Als eher forschungsorientierte bzw. forschungsgetriebene Netzwerke sind OpTechNet e.V. und PhotonAIX e. V. einzuordnen. Auch mit den NRW-Forschungsclustern war seitens des Wissenschafts- bzw. Innovationsministeriums primär intendiert, die Vernetzung der Forschungsgruppen NRW-weit zu fördern.

[103] Eine ähnliche Dienstleistungsfunktion für KMU nimmt das „Zentrum für Aufbau- und Verbindungstechnik“ im Technologiezentrum Dortmund in den Bereichen Silizium-, Sensor- und Mikrosystemtechnik wahr.

[104] Die Nutzenaspekte werden von den Netzwerkmanager/innen anderer Netzwerk ähnlich bzw. analog gesehen.

Im Vergleich dazu sind der inzwischen ziemlich große Fachverband für Mikrotechnik (IVAM) und das regionale Gründungszentrum und –netzwerk MSTfactory in Dortmund und das regionale Technologie-Netzwerk InnoZentOWL in Paderborn als schwerpunktmäßig wirtschafts- bzw. unternehmensorientiert anzusehen.

9.4.3 Vernetzungen zwischen Nanotechnologien und Umweltforschung

In den „Nano-Instituten“ spielen Umweltfragen eine nachrangige oder gar keine Rolle. Daher stellt sich die Frage, wie die Erschließung der Nanotechnologie als Forschungsfeld von der Seite der Umweltforschung erfolgt ist bzw. welche Rolle Nanotechnologie aus der Perspektive der Umwelt(technik)forschung spielt und ob sich Nanotechnologie Kooperationen stiftend und Netzwerk bildend bereits auswirkt.

Im Hinblick auf die Untersuchungsfragestellung dieser Bestandsaufnahmestudie sind insbesondere folgende drei Institute in NRW zu nennen, die sich mit den Möglichkeiten von Nanopartikeln bzw. nanostrukturierten Funktionalitäten beschäftigen:

IUTA e.V., Institut für Energie- und Umwelttechnik an der Universität Duisburg-Essen

Das IUTA wurde unter dem Namen Institut für Umwelttechnologie und Umweltanalytik 1989 aus der Universität heraus in Kooperation mit Industriepartnern gegründet und am Standort der ehemaligen Versuchsanstalt des Kruppschen Stahlwerks in Duisburg-Rheinhausen angesiedelt. Es ist seit 1991 ein An-Institut der Universität und trägt seit 1998 den heutigen Namen. Mit 116 Mitarbeiter/innen, davon 53 Wissenschaftler/innen (2007) ist es eines der größten Institute im Bereich Umweltforschung und –dienstleistungen[105]. 70% des Finanzvolumens kommen aus öffentlichen Quellen (Land, Drittmittelprojekte) und die restlichen 30% aus Auftragsprojekten und Dienstleistungen. Bisher erhielt das Institut einen Zuschuss des Landes in Höhe der eingeworbenen Drittmittel. Diese Landesfinanzierung läuft im nächsten Jahr aus.

Die Forschungsbereiche sind Luftreinhaltung, Filtration, nachhaltige Nanotechnologie, Umwelthygiene, Gasaufbereitung, Wasserstofftechnologie und Nanopartikelsynthese. Themen der nachhaltigen Nanotechnologie sind Expositionsbestimmung und Toxikologie, Modellierung und Anwendung von gasförmigen Nanopartikeln sowie die Verbreitung von nanostrukturierten Materialien in der Umwelt (Life-Cycle-Assessment). Der Arbeitsschwerpunkt Erzeugung hochspezifischer Nanopartikel wird durch den Aufbau eines neuen Zentrums für Nanomaterialien ausgeweitet werden. In diesem Zentrum sollen Nanopartikel

[105] Darüberhinaus werden Qualifizierungsmaßnahmen zur Arbeitsmarktintegration für etwa 30 Personen durchgeführt.

hergestellt werden in den Mengen und Spezifikationen, die für die Forschung, Entwicklung und verfahrenstechnische Versuche benötigt werden.

Das IUTA ist auf mehreren Ebenen (Leitungsebene, Rekrutierung von Mitarbeiter/innen, Projektkooperationen) in die Nanoforschung an der Universität Duisburg-Essen im Rahmen von CeNIDE eingebunden. Aufgrund dieser engen Zusammenarbeit mit der Grundlagenforschung an der Universität ist das IUTA als anwendungsorientiertes Institut unmittelbar an der Weiterentwicklung des Standes der Wissenschaft mit beteiligt und kann ihn unmittelbar in den Bereichen Messtechnik, Analytik und Verfahrensentwicklung umsetzen.

In der Entwicklungsgeschichte des IUTA zeigen sich in charakteristischer Weise die Wechselwirkungen von durch die Umweltpolitik gesetzten Bedarfen und neuen Möglichkeiten der Technik. Anlass für die Gründung des zunächst privaten Instituts waren die zunehmenden Anforderungen der Luftreinhaltung für Industrieanlagen, Müllverbrennungsanlagen etc., die eine Weiterentwicklung der Messtechnik für Partikelemissionen (insb. Dioxine) und der Verfahrenstechnik für die Aerosolabscheidung erforderlich machten. Seit Mitte der 1990er Jahre werden Partikel in Nanogrößenordnungen gemessen und bestimmt. Seit 2000 wurden Messkonzepte für die Erfassung von Feinstäuben in verkehrsbelasteten Zonen entwickelt und Feinstaubmessungen in verschiedenen Städten durchgeführt. Vor etwa fünf Jahren wurde das Tätigkeitsfeld um die Nanopartikelsynthese erweitert. Hierbei wurde der Perspektivwechsel hin zur gezielten Erzeugung von ultrafeinen Partikeln vorgenommen.

Das IUTA sieht sich in Verbindung mit der Universität im Rahmen von CeNIDE in der Verbindung von Forschung zu Nanopartikeln, von messtechnischen und analytischen Dienstleistungen, verfahrenstechnischen Entwicklungen im Bereich des Up-Scaling von Katalyseverfahren bis hin zu Demonstrationsanlagen sowie der integrierten Bearbeitung von Fragen des Energiemanagements und der Energieeffizienz als einzigartig an in Deutschland. Dieses Duisburger Cluster gehört im Bereich der Gasreinigung zu den wesentlichen Akteuren in Deutschland. Es sieht sich als optimaler Partner zur Überbrückung der derzeit noch großen Kluft zwischen der universitären Nano-Forschung und der Industrie auf dem langen Entwicklungsweg von der Erzeugung von Nanopartikeln im Forschungslabor zum kontrollierten Handling der Nanopartikel in einem industriellen bzw. marktfähigen Produkt. Die Industriepartner des Clusters befinden sich im gesamten Bundesgebiet, schwerpunktmäßig in NRW und hier wiederum im Ruhrgebiet und an der Rheinschiene.

ZBT – Zentrum für Brennstoffzellen-Technik gGmbH, Duisburg

Das ZBT wurde 2001 zunächst als privatwirtschaftliches Institut gegründet und 2005 in ein An-Institut der Universität Duisburg-Essen in Form einer gGmbH umgewandelt. Durch diese Umwandlung wurde das ZBT förderfähig in öffentlichen Förderprogrammen und konnte über die Einwerbung entsprechender Projektmittel drei neue Abteilungen eröffnen, u.a. zu Mikrosystemen. Es ist ein industrienahes Forschungsinstitut in der Technologieentwicklung im Bereich der Membran-Brennstoffzelle/Niedertemperatur-Brennstoffzelle (PEFC/PEM). Die Geschäftsführerin ist gleichzeitig Professorin an der Universität. Personale Querbeziehungen existieren darüber hinaus zur Abteilung Energietechnik des IUTA.

Das Institut arbeitet unmittelbar und in Verbundprojekten im Rahmen der BMBF- und AIF-Förderung mit Industrieunternehmen zusammen. Wegen der gegebenen Konkurrenz der Wasserstofftechnologie zur traditionellen Energieerzeugung auf Kohlenstoffbasis sind die Industriepartner nicht die großen Energieversorgungsunternehmen und die klassischen Energieanlagenbauer, sondern im Inland Unternehmen aus dem Bereich des Maschinen- und Apparatebaus, der Systemelektronik, des Hausgerätebaus, kleiner Energieversorger und neu gegründete Unternehmen im Bereich der Brennstoffzelle sowie Unternehmen im Ausland. Damit ist auch der industrielle Bereich benannt, aus dem heraus das ZBT zunächst als privatwirtschaftliches Institut, ebenso wie das IUTA, gegründet worden ist. Dem Trend entgegen gerichtet, dass die öffentlichen Fördermittel für die Energieforschung reduziert worden sind, stellt die Neugründung des ZBT eine Ausnahme dar. Sie wurde seitens des Wirtschafts- bzw. Energieministeriums des Landes NRW unterstützt.

Schwerpunkte in der FuE sind Gasprozesstechnik (mehrstufige katalytische Prozesse für kleine Systeme, Entschwefelungsproblematik), Brennstoffzellen- und Systemtechnik sowie Schichttechnik (Katalysatoren, Membrane).

In dem stark anwendungsgeprägten Kontext der Brennstoffzelle und Wasserstofftechnologie wird Nanotechnologie in einer „dienenden“ Funktion gesehen, die punktuell zu besseren Lösungen beitragen könnte. Hieraus leitet sich auch ab, dass Nanotechnologie nicht der leitende Gesichtspunkt für Netzwerkbildung ist. Die technologischen Akteure aus NRW und darüber hinaus sind hier im Kompetenz-Netzwerk Brennstoffzelle und Wasserstoff NRW der EnergieAgentur.NRW versammelt. Das ZBT nimmt koordinierende Funktionen in mehreren Arbeitskreisen im Netzwerk wahr.

Fraunhofer-Institut Umwelt-, Sicherheit-, Energietechnik UMSICHT, Oberhausen

Das UMSICHT beschäftigt sich seit seiner Gründung im Jahre 1990 mit hochporösen Agenzien und ordnet sich seit etwa 1999 mit Entwicklungsarbeiten im Bereich Biopolymere, Partikeltechnologien und Werkstofftechnologien dem Bereich Nanotechnologie zu. Dieses Geschäftsfeld wird mit dem Aufbau eines Partikelsyntheselabors sowie eines Membran- und Mikrosieblabors weiter ausgeweitet. Auf dem Gebiet der Ausrüstung von Polymeren mit organischen Füllstoffen konnten in Bezug auf Schlagfestigkeit und Zugfestigkeit eine um 50% gesteigerte Funktionalität erzielt werden. Im Partikelsyntheselabor sollen in nasschemischen Verfahren komplexere Strukturen in einer Skalierung bis zum Industrie(mengen)maßstab hergestellt werden.

In der FuE-Landschaft sieht sich das UMSICHT als Fraunhofer Institut in Konkurrenz zur anwendungsorientierten Forschung an Universitätsinstituten. Im Vergleich zu diesen arbeite man wirtschaftsnäher und kooperiere vor allem mit kleineren und mittelständischen Unternehmen in Anwendungsbranchen. Aus dieser Perspektive der Kunden werde grundsätzlich darauf geschaut, welche neuen Funktionalitäten mit nanostrukturierten Materialien machbar sind und welche davon im industriellen Maßstab dargestellt werden können. So würden bei Nanokomposites unter industriellen Bedingungen die positiven und negativen Effekte in der Summe häufig gegenseitig aufgehoben werden. In der Kooperation mit mittelständischen Anwenderunternehmen könne man mit Nanokomposites nur überzeugen, wenn man ein „Anfassmuster“ mitbringe.

Die Vielfalt der Möglichkeiten sieht man durch die Zuordnung zu dem Begriff Nanotechnologie, das eher als Marketing-Label angesehen wird, eher verdeckt als dass sie transparent gemacht werden würden. Nanotechnologie werde als der Problemlöser dargestellt, die noch zu lösenden vielfältigen Probleme und Detailfragen würden dabei überdeckt.

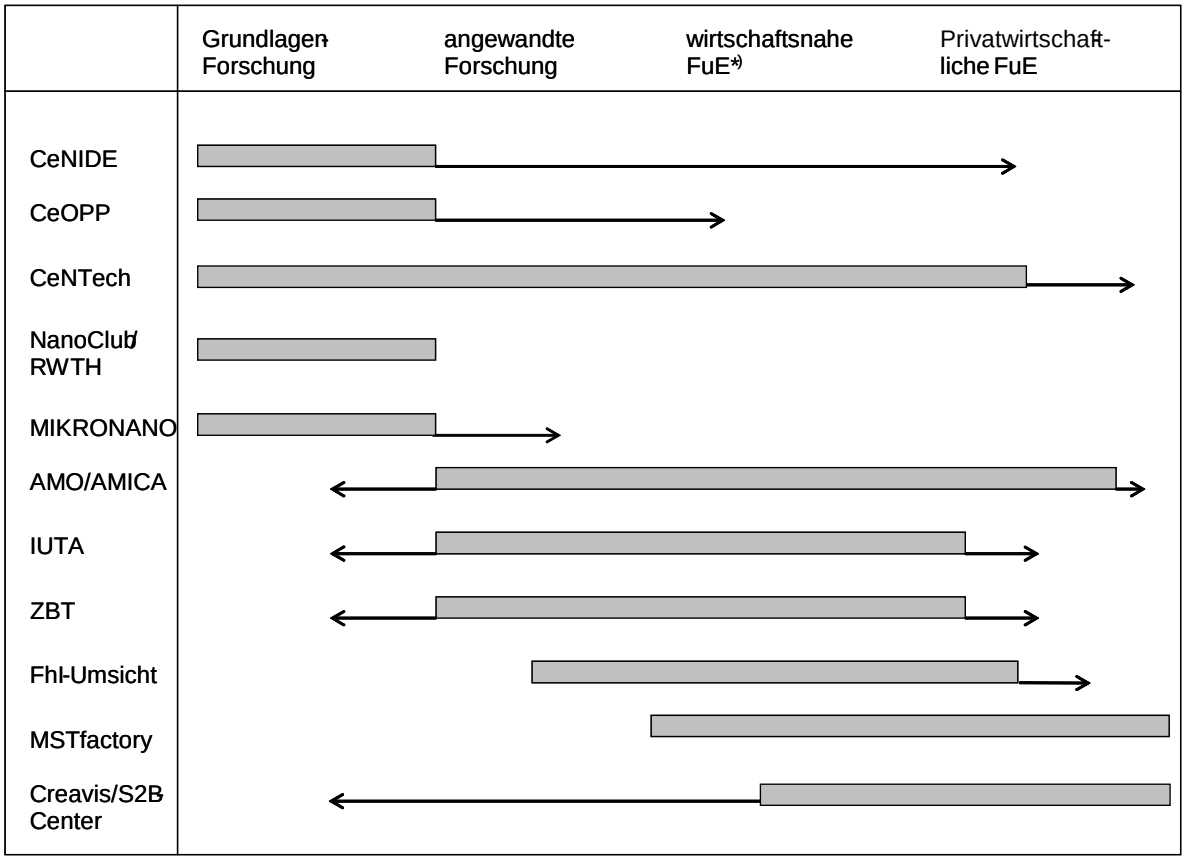
Chancen durch Nanostrukturen werden in Bezug auf die Umwelttechnik in folgenden Bereichen gesehen: In der Membrantechnik (z.B. schaltbare Membrane) zur Auftrennung von Abwasserströmen, in der CO_2-Abtrennung, in der Feinstaub-Abtrennung mit Adsorbentien. Herausforderungen werden gesehen in der umweltverträglichen Herstellung von Nanokomposites. Bei der weiteren Miniaturisierung von mikroskaligen zu nanoskaligen Partikeln wird es für notwendig angesehen, frühzeitig die Risikobewertung in die technologische Entwicklung mit einzubeziehen, da von (phasenweise) flüchtigen organischen Partikeln möglicherweise Risiken ausgehen könnten.

9.5 Bewertung der Befunde zur FuE-Infrastruktur im Bereich Nanowissenschaften/Nanotechnologien in NRW

In den letzten Jahren ist es an mehreren Universitäten in NRW gelungen, die **nanowissenschaftliche Forschung fachbereichs- bzw. fakultätsübergreifend zu bündeln** und sie als Einrichtung der jeweiligen Universität bzw. universitätsnah zu institutionalisieren (Bsp. AMO/Aachen, CeNTech/Münster, CeNIDE/Duisburg-Essen, CeOPP/Paderborn). Es ist allerdings notwendig, die jeweiligen regionalen Potenziale und Erfolgsfaktoren genau zu betrachten. Es zeigt sich dabei, dass es sich jeweils um **regional spezifische Clusterbildungen** handelt, je nach dem in welchem Bereich der Nanowissenschaften der Schwerpunkt der Forschung liegt und wie die Ausgangsbedingungen für die Generierung einer „kritischen Masse" waren.

In Abbildung 133 werden die **Profile der Nano-Forschungscluster in NRW** im Hinblick auf deren vertikaler Integration von der Grundlagenforschung und bis zur privatwirtschaftlichen FuE und Vermarktung von technologischen Innovationen im Überblick dargestellt.

Abbildung 133: Profile der Nano-FuE-Cluster in NRW



(Quelle: sfs-Darstellung) ***) Kooperationen, Spin-Off-Gründungen**

Der Schwerpunkt in **Aachen** liegt im Bereich **Nanoelektronik,** ein Forschungsfeld, in dem durch kurze Innovationszyklen die nanotechnologische Entwicklung vorangetrieben wird. Mit dem Institut für Halbleitertechnik an der RWTH Aachen, dem anwendungsorientierten Forschungszentrum AMO/AMICA und den kooperierenden Industriepartnern in Deutschland und Europa wird **die Wertschöpfungskette bis zur Schwelle der industriellen Anwendung vollständig abgebildet**. Es wird eine enge Verzahnung von Grundlagenforschung (z.B. im Bereich alternativer Halbleitermaterialien (Graphen) für Transistoren für die Nach-Silizium-Phase), von anwendungsorientierter Forschung und Entwicklung bis hin zu Prototypentwicklungen und Vermarktung der eigenen Innovationen (foundry services im Bereich UV-Nanoimprint im Rahmen eines Industriekonsortiums) praktiziert. Die Akteure in Aachen verstehen sich als **„Pfadfinder" für technologische Spitzeninnovationen** und haben sich damit als Schlüsselakteur etabliert. In der **UV-Nanoimprint-Technologie** wird **Weltmarktführerschaft** beansprucht. Sie sind in der Lage, die **finanziellen Ressourcen** sowohl auf der Seite der öffentlichen Förderprogramme (BMBF, EU-Rahmenprogramme, Investitionsmittel des Landes) als auch der Industriepartner zu generieren. Die Bündelung der in Deutschland vorhandenen Kompetenzen wurde mit dem **Aufbau des ersten nationalen BMBF-Kompetenzzentrums** für laterale Nanostrukturen (1999) vorangetrieben. Als Folgeinitiative wurde **das NRW-Forschungscluster Nano-IT initiiert**.

Dieses Muster der **vertikalen Clusterbildung von der Grundlagen(spitzen)forschung bis hin zur Vermarktung der technologischen Innovationen** ist typisch für den Standort Aachen. Im Vergleich zu den anderen Standorten bzw. Clustern kann in Aachen „aus dem Vollen geschöpft werden". Als technische Universität mit langer Tradition kann die RWTH in vielen technischen und naturwissenschaftlichen Fachbereichen Grundlagenforschung und anwendungsorientierte Forschung auf hohem Niveau und mit breiter Ressourcenbasis aufweisen. Im Blick für technologiebezogene Clusterbildungen stehen auch die jeweiligen Anwendungsbranchen. Nanotechnologie bzw. Nanowissenschaften als Leitidee für horizontale Clusterbildung scheint deshalb nicht wie an anderen Standorten in NRW (Duisburg, Münster und Mikrostrukturtechnik in Dortmund) so integrierend für die Akteure zu wirken[106].

Im Vergleich zu Aachen sind **die Clusterbildungen an der Universität Duisburg-Essen und an der Universität Münster** demgegenüber bemerkenswerte Beispiele von fachbereichsübergreifender **Integration von universitären Kompetenzen unter dem Leitbegriff Nano**. In Duisburg ist es frühzeitig gelungen, die **Bottum-up-Clusterbildung** der Ingenieur- und Naturwissenschaften durch Einwerbung eines Sonderforschungsbereichs der DFG (1999)

[106] Der NanoClub ist, wie der Name schon ausdrückt, ein eher informeller Diskussionskreis, derzeit auch ohne hauptamtliche Netzwerkorganisation.

und mit der damit verbundenen langfristigen Finanzierungsperspektive (von 5-10 Jahren) zu stabilisieren. Es konnten damit vor allem auch die Voraussetzungen für das Lernen von disziplinübergreifender Forschungszusammenarbeit geschaffen werden, die die **institutionelle Integration in Form des CeNIDE-Zentrums** (2005) erst möglich gemacht hat. Weiterhin wurden die zunächst als privatwirtschaftliche Forschungsinstitute gegründeten Institute IUTA und ZBT schrittweise in die Universität integriert und damit die **Anwendungsorientierung der universitären Nanotechnologie-Forschung** noch weiter ausgebaut und gestärkt. Im Verbund können Fragen der Grundlagenforschung zu **gasförmigen Nanopartikeln**, des Up-Scaling von Prozess- und Messtechniken bis hin zur Entwicklung von Prototypanlagen und der Produktion von Nanomaterialien in beliebigen Mengen für Forschungs- und Testverfahren bearbeitet werden. Letzteres wird durch das im Aufbau befindliche neue Zentrum für Nanomaterialien am IUTA noch an Bedeutung gewinnen. Das Kompetenzspektrum des CeNIDE-Zentrums umfasst sowohl **Emissionen und Immissionen von Feinstäuben als auch die gezielte Erzeugung von Nanopartikeln**. Insbesondere mit dem IUTA, das im letzten Jahrzehnt mit den wachsenden Problemen der Luftreinhaltung aufgrund von Feinstäuben gewachsen ist, wird ein breites Spektrum von Know how in der Entwicklung von Messkonzepten und –verfahren für Partikelemissionen und Feinstaubimmissionen in das Cluster eingebracht. Das Tätigkeitsspektrum des CeNIDE-Clusters wird damit auch auf Dienstleistungen im Bereich der Analytik und Forschung zur Risikobewertung von Partikelimmissionen erweitert.

Zur Industrie bspw. Degussa, jetzt Evonik Industries bestehen langjährige Kooperationsbeziehungen. Ein leuchtendes Beispiel für die hier **praktizierte vertikale FuE-Wertschöpfung** ist die **Entwicklung eines keramischen Separators für Lithium-Ionen-Batterien**. Aktuell werden neue Formen der Kooperation mit diesem Unternehmen im Rahmen des **Forschungsaustausches von Nachwuchswissenschaftler/innen** im Graduiertenkolleg Nanotronics mit der FuE-Tochterfirma Creavis von Evonik Industries erprobt. Damit sollen aktuelle Erkenntnisse aus der nanotechnologischen Forschung in die Wirtschaft getragen, aber die Nachwuchswissenschaftler/innen auch mit den Fragestellungen und Anforderungen der industriellen Praxis konfrontiert werden.

Die universitären Akteure können in Duisburg als treibende Akteure für die Clusterbildung und die Integration von Grundlagenforschung und Anwendungsforschung ausgemacht werden. Mit dem umfassenden methodischen Know how und der technischen Infrastruktur können Nanopartikel für Forschung und Test- und Demonstrationsverfahren bereitgestellt werden und diese auch durchgeführt werden. Es wird damit eine **Brückenfunktion zwischen**

Forschung und Anwendungsprodukten ausgefüllt, die von mehreren Interviewpartnern als grundlegender Engpassfaktor für die Überführung von Nanotechnologie in Anwendungsprodukte bezeichnet worden ist.

Ein einzigartiges Merkmal des Nano-Clusters in Duisburg ist die **institutionelle Integration von technologischer und umweltbezogener Forschung**. Messen und Charakterisieren von Nanopartikeln, die verfahrenstechnische Vermeidung von Emissionen und die Risikobewertung von Nanopartikeln kann „in einer Hand" durchgeführt werden. Plädiert wird für eine nachhaltige Nanotechnologie-Forschung, bei der frühzeitig eine Abschätzung möglicher Risikopotenziale vorgenommen werden sollte, um spätere Anwendungs- bzw. Akzeptanzprobleme zu vermeiden. Ein weiterer Schwerpunkt der Nanoforschung in Duisburg/Essen stellt das NRW NanoCluster NanoEnergie dar, welches vomZentrum für Brennstoffzellen-Technik (ZBT) koordiniert wird.

Ein kritischer Faktor für die Überführung von Laborergebnissen in größere Dimensionen bis hin zu industriellen Größenordnungen ist die Kontrolle der Betriebskosten. Ein wesentlicher Faktor sind dabei wiederum die Energiekosten, weshalb die **Energieeffizienz** inhärent ein wesentliches Kriterium im Up-Scaling auch nanotechnologischer Innovationen ist.

Ein wesentliches Moment der **nano-biowissenschaftlichen Forschungsclusterbildung in Münster** ist, wie in Duisburg, die Bündelung der Forschungsgruppen aus verschiedenen Fachbereichen in einem Zentrum, dem CeNTech. Die räumliche Nähe der Forschungsgruppen, die zu einem intensiven disziplinenübergreifenden Austausch führen soll, wird in Münster mit der **Förderung von Unternehmensgründungen aus der universitären Forschung** heraus verbunden. Das CeNTech ist als Forschungs- und Gründungszentrum ein einzigartiges Modell des Wissenstransfers in der **Bioanalytik und Nano-Biotechnologie** in NRW. Mit diesen thematischen Schwerpunkten hat es ebenfalls ein besonders Profil gegenüber den anderen Nano-Clustern in NRW. Das CeNTech ist ein wesentlicher Baustein der regionalen Entwicklungsstrategie der Technologieinitiative Münster, die auf die Schaffung eines günstigen regionalen Umfeldes für die wirtschaftliche Nutzung von nanoanalytischen Innovationen durch die Förderung von Unternehmensgründungen setzt. Vorreiterunternehmen für erfolgreiche Spin-off-Gründungen aus der Universität heraus ist die Firma ION-TOF. Die Promotoren dieser regionalen Entwicklungsstrategie sind im **bioanalytik-Netzwerk** zusammengeschlossen.

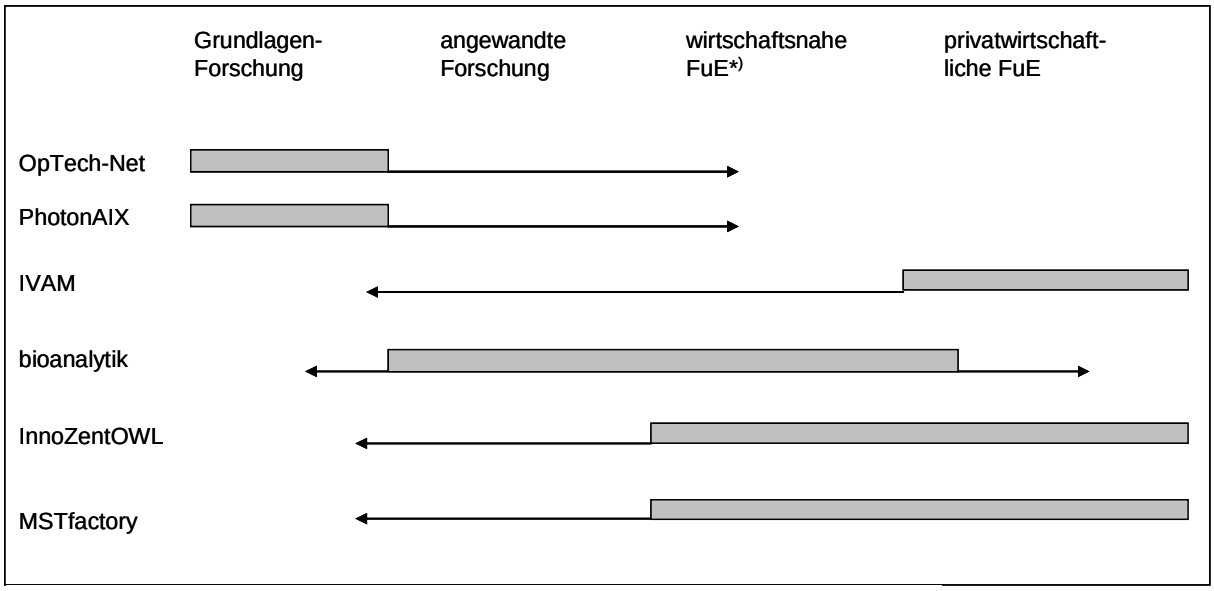
Eine **starke Wirtschaftsorientierung** zeichnet auch das privatwirtschaftlich geführte Gründungszentrum der **MSTfactory in Dortmund** aus. Der profilierende Schwerpunkt liegt im Bereich der Mikrostrukturtechnik. Inzwischen sind auch einige im Bereich Nanotechnolo-

gien tätige Unternehmen im Zentrum angesiedelt, so dass die Nanotechnologie zunehmend in den Fokus der regionalen Akteure tritt. Mit dem Gründungszentrum ist ein **Gründungswettbewerb im Bereich Mikrostruktur „all micro“** verbunden, der seit 2003 jährlich im Rahmen der „start2grow“-Wettbewerbe von der Wirtschaftsförderung Dortmund/dortmundproject und der MSTfactory durchgeführt wird.

Der Verbund MIKRONANO der nanowissenschaftlichen Forschungsgruppen an der TU Dortmund ist nicht in gleichem Maße uni-intern institutionalisiert wie in Duisburg, Münster und Paderborn, sondern ein informelles Netzwerk.

Die **Profile der Nanotechnologie-Netzwerke in NRW** werden im Hinblick auf deren vertikale Integration zwischen Grundlagenforschung und wirtschaftlicher FuE im Überblick in der folgenden Abbildung 134 dargestellt.

Abbildung 134: Profile der Nano-Netzwerke in NRW



(Quelle: sfs-Darstellung) ***) Kooperationen, Spin-Off-Gründungen**

InnoZentOWL in Paderborn ist im Vergleich zu den anderen befragten Technologie-Cluster und -Netzwerken ein regionales Technologie-Netzwerk, das ausgeprägter als die bisher genannten sich an den **Innovationspotenzialen und Handlungsproblemen der Anwenderunternehmen** orientiert. Hieran wird zum einen deutlich, dass es noch ein weiter Weg ist, bis nanotechnologische Innovationen in marktfähige Endprodukte umgesetzt werden. Zum anderen wird sichtbar, dass Austauschforen zwischen Technologieanbietern und -anwendern notwendig sind, um den **Wissenstransfer in beiden Richtungen zu fördern**. Weiterhin sind Zwischenschritte notwendig, wie sie beispielsweise von den Zentren für

Aufbau- und Verbindungstechnik in Bad Lippstadt und Dortmund, den Foundry services der AMO und dem Science-to-Business-Center der Evonik Industries in Marl in Kooperation mit CeNIDE in Duisburg angeboten werden.

Von der Praxisseite aus wird die Kooperation mit der universitären Forschung als eine **Kooperation zwischen zwei verschiedenen Welten** wahrgenommen. Die universitäre Forschung müsse sich an Exzellenzkriterien orientieren und befasse sich von daher mit Fragestellungen, die in 5 bis 10 Jahren für wirtschaftliche Unternehmenskonzepte interessant werden könnten, wie sie bspw. von einem Gründungszentrum wie der MSTfactory verlangt werden. Um aus der universitären Spitzenforschung wirtschaftliche Konzepte in längerer Frist generieren zu können, sei es notwendig, diesen Prozess der Entwicklung von wirtschaftlich tragfähigen Konzepten, für die in der Regel verschiedene technologische Bausteine und damit möglicherweise auch Kooperationspartner gebraucht würden, mit Geduld und Ausdauer zu moderieren.

Sowohl von Seiten der befragten universitären Forscher als auch der wirtschaftsorientierten Clustermanager wird ein Hauptproblem darin gesehen, dass von der Politik und der Öffentlichkeit **zu schnell wirtschaftlich zählbare Erfolge von technologischer Spitzenforschung erwartet** würden. Von nanowissenschaftlicher Grundlagenforschung könne realistischerweise erst in 10-15 Jahren mit wirtschaftlich interessanten Resultaten bzw. Produkten gerechnet werden. Die beispielsweise vom BMBF u.a. präsentierten Zukunftserwartungen (vgl. z. B. BMBF-Broschüre Nanotechnologie erobert Märkte, 2004, 10) werden als viel zu optimistisch eingeschätzt; die dort angegebenen Zeiträume für das Erreichen der Marktreife müssten um den Faktor 2 in die Zukunft verlängert werden. Der wirtschaftliche Höhepunkt der Nanotechnologie wird in 20-30 Jahren erwartet, wenn Produkte wie die Wirkstoffapplikation über Nanopartikel in der Tumortherapie verfügbar sein könnten.

Nanowissenschaften macht die **interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Naturwissenschaftler/innen, insbesondere aus Physik und Chemie, und Ingenieurwissenschaftler/innen** erforderlich, in bestimmten Themenbereichen auch darüber hinaus mit der medizinischen Forschung bzw. den Life Sciences. Von allen Interviewpartnern wurde bestätigt, dass diese Zusammenarbeit von den beteiligten Forscher/innen als schwierig und langwierig wahrgenommen wird. Entgegen aller Bekenntnisse zur Notwendigkeit interdisziplinärer Forschung sei diese bei weitem **kein Selbstläufer**. Sie erfordere kommunikative Persönlichkeiten, deren fachliche Kompetenz in ihrer eigenen Disziplin von allen Beteiligten anerkannt werde, die aber gleichzeitig ein so großes Maß an Empathie und Kenntnis der benachbarten Disziplinen aufwiesen und eine sichere Vorstellung von den mobilisierbaren Potenzialen

haben müssen, dass sie solche Kooperationen kompetent moderieren und vorantreiben könnten.

Die befragten Forschungscluster umfassen 10 bis über 20 Forschungsgruppen, die regionalen Netzwerke haben 40-50 Mitglieder. Von daher ist es unmittelbar nachvollziehbar, dass die befragten Cluster- und Netzwerkmanager ein **hauptamtliches Clustermanagement** für notwendig erachten. Dies ist bei den institutionalisierten Forschungsclustern weitgehend erreicht, wenn gleich die finanziellen Ressourcen teilweise abhängig sind von der Einwerbung von Projektmitteln. Die Ressourcen werden teilweise von den Trägern (Universität) gestellt, teilweise aus Mieteinnahmen, kostenpflichtigen Dienstleistungen (wie z.B. Patentberatung) oder aus Drittmittelprojekten generiert. Demgegenüber wird an den informellen Forschungs-Netzwerken deutlich, die „nebenher" organisiert werden, dass dies nicht mehr ausreicht, um ein Forschungscluster nach innen und nach außen erkennbar und leistungsfähig zu organisieren.

Die hauptsächliche Funktion des Clustermanagements wird darin gesehen, die **Kompetenzen des Forschungsclusters nach außen transparent zu machen**, Ansprechpartner für Kooperationspartner, Ministerin, Förderorganisationen und Unternehmen zu sein und Informationen an die Clustermitglieder zu vermitteln. Der signifikante Vorteil wird darin gesehen, dass es gelinge, schnell auf Anforderungen (insb. Ausschreibungen von Förderprogrammen und -wettbewerben) von außen zu reagieren, wenn die Kompetenzen und Interessen hinreichend bekannt sind und die Mitglieder untereinander schon ein hinreichendes Vertrauen aufgebaut haben[107].

Mitglieder der regionalen Technologie-Netzwerke sind Unternehmen, kommunale Entscheidungsträger/Wirtschaftsförderungsgesellschaften, die Kammern der Wirtschaft, die örtliche Sparkasse, Hochschulen, weitere Forschungseinrichtungen wie Fraunhofer Institute, Transfer- und Beratungsstellen u.a.. In diesen regionalen Netzwerken werden die Unternehmen direkt eingebunden. Beispiele für solche technologiebezogenen Netzwerke sind bioanalytik in Münster, InnoZentOWL in Paderborn und MSTfactory/dortmundproject in Dortmund. Die beiden letzteren verstehen sich selbst als wirtschaftsnahe bzw. Unternehmensnetzwerke.

Die Ressourcen für das Netzwerkmanagement der regionalen Technologie-Netzwerke sind vergleichsweise begrenzt und werden zum überwiegend Teil über Drittmittelprojekte eingeworben. Nur ein kleiner Teil der Ressourcen kann durch Mitgliedsbeiträge aufgebracht

[107] Der aktuelle „MikroNano+Werkstoffe.NRW"-Wettbewerb ist inzwischen mit der Juryentscheidung beendet worden (PM des MIWFT vom 07.11..08). Ein Teil der Gewinner-Beiträge kommt aus regionalen Institutionen, die in dieser Studie betrachtet werden. Es kann daher begründet vermutet werden, dass sich bei ihnen die jahrelange Netzwerkpraxis als vorteilhaft im Wettbewerb erwiesen hat. Dies müsste allerdings noch genauer untersucht werden, wobei hier alle beteiligten Partner der Verbundprojekte einbezogen werden müssten, die derzeit noch nicht bekannt sind.

werden. Von mehreren Interviewpartnern wurde beklagt, dass sich die **Förderbedingungen für die Netzwerkarbeit** in den letzten Jahren **zunehmend verschlechtert** habe und die Arbeit der Netzwerke nicht ausreichend wert geschätzt werde. Insbesondere wurde kritisch bewertet, dass in der Förderstrategie des Landes seit 2005 die Arbeit der regionalen Netzwerke nicht mehr gefördert werde. Durch Wettbewerbsverfahren würden einerseits durchaus wirksam die Aktivitäten regionaler Akteure bzw. Netzwerke in Gang gesetzt, andererseits stelle das damit verbundene Scheiternsrisiko und generell die „Konjunktur" von Förderprogrammen die Nachhaltigkeit der Netzwerkarbeit immer wieder infrage.

Die **Ressourcen für die Nanotechnologie-Forschung** selbst kommen hauptsächlich von der DFG, insbesondere mehrere Sonderforschungsbereiche und Schwerpunktprogramme, vom BMBF und aus den EU-Forschungsrahmenprogrammen und von verschiedenen Stiftungen (VW-, A.-v.-Humboldt-, Heinz-Nixdorf-Stiftung u.a.). Für die anwendungsorientierten Projekte ist die BMBF-Förderung ebenfalls wichtig, hinzu kommen Förderungen durch die Wirtschafts- und Umweltministerien sowie Industrieaufträge. Von Seiten des Landes sind in den letzten Jahren die Investitionsmittel für die Zentren von maßgeblicher Bedeutung, teilweise in Verbindung mit Strukturbeihilfen des Bundes und der EU. Bei diesen Investitionen sind aber jeweils auch Investitionsmittel aus der Region beteiligt[108].

Die Förderpolitik des BMBF hat im Bereich Nanowissenschaften/Nanotechnologien wirksame **Anreize für die Bündelung und Vernetzung von Forschungsaktivitäten** (Kompetenznetzwerke) gesetzt. Mit Hilfe von Strukturförderzuschüssen der EU, des Bundes und des Landes konnten gerade in NRW markante Investitionen in die Nano-Infrastruktur getätigt werden und neue Zentren mit einer Nano-geeigneten Ausstattung (in Paderborn, Dortmund, Münster, Duisburg, Aachen) errichtet werden.

Hinsichtlich der Existenzgründungen wurde von den Befragten berichtet, dass sich die Profile der Gründer (darunter sind kaum Frauen) in den letzten fünf-sechs Jahren kaum verändert hätten, wohl aber die **Qualität der Gründungsideen**. Gründer kommen überwiegend aus der (Nano-)Technologie und haben von daher mit den üblicherweise betriebswirtschaftlichen Kenntnisdefiziten Probleme. Generell schwierig sei für sie daneben auch, den notwendigen Perspektivwechsel zu vollziehen und aus einer technischen Idee eine wirtschaftlich tragfähige Geschäftsidee zu machen. Um das Jahr 2000 sei das Hauptmotiv der Selbstständigkeit gewesen, Geld zu verdienen. Wer derzeit den Weg in die Selbstständigkeit wähle – bei

[108] Von Seiten der Landesregierung ist eine Übersicht über die Landesförderung im Bereich Nanotechnologien und die Akquisition von FuE-Fördermitteln von NRW-Akteuren vom Bund und der EU nicht verfügbar bzw. wurde nicht zur Verfügung gestellt.

attraktiven alternativen Beschäftigungsangeboten – sei davon überzeugt und verfolge ein hochwertiges Geschäfts- bzw. Unternehmenskonzept.

Gründungszentren für neu gegründete Unternehmen im Bereich Nanotechnologie und Mikrostrukturtechnik sind zum Teil das CeNTech in Münster und zur Gänze die MSTfactory in Dortmund. Sie bieten Nano-Unternehmen vibrationsfreie Reinräume, technologiespezifische Gründungsberatung und –serviceleistungen (Finanzierungs-, Patentberatung), Zugang zu Geräten und Analytik sowie Einbindung in Netzwerke.

Die oben genannten regionalen Technologie-Netzwerke sind lose im **„Technologiemarkt NRW“** zusammengeschlossen; er ist derzeit zum einen eine lose Koordinationsform der regionalen Netzwerke und zum anderen eine virtuelle Informationsplattform, die von der IVAM eingerichtet worden ist und koordiniert wird[109]. Eine weitergehende Vernetzung der Netzwerke auf der Landesebene ist derzeit noch nicht entschieden. Das Ausschreibungsverfahren zur Vergabe eines landesweiten Clustermanagements für den Bereich Nanotechnologie ist derzeit (Stand: 24.11.08) noch nicht abgeschlossen.

Im Vergleich zu den oben dargestellten Technologie-Netzwerken nimmt die IVAM eine Sonderrolle ein. Sie hat sich von einem zunächst regionalen bzw. NRW-Netzwerk (1993 gegründet) zu einem bundesweiten und inzwischen internationalen **Fachverband für Mikrotechnik** weiter entwickelt, in dem inzwischen auch Nanotechnologie-Unternehmen vertreten sind, allerdings erst in einer kleinen Anzahl. Dies ist ein Erfolgsbeispiel dafür, wie in einem neuen Technologiefeld, dessen Branchenzuordnung nur schwer möglich ist, zunächst durch Selbstorganisation in überschaubarem (regionalen) Rahmen sich Interessenvertretungs- und Selbstmarketingstrukturen herausbilden können.

Der Stand der nanowissenschaftlichen Grundlagenforschung in Deutschland wird von den Interviewpartner im weltweiten Vergleich als gut bewertet. Das Verhältnis von Aufwendungen und Resultaten wird sogar als ausgesprochen effizient angesehen (Prof. Kurz bei der 1. NRW Nano-Konferenz am 18.02.2008). Auch die **Nano-Forschung in NRW** wird als **gut positioniert** im Vergleich mit vor allem Universitäten und Instituten in Süddeutschland bewertet. Die Interviewpartner sind sich einig darin, dass das **Marketing der NRW-Forschung verbessert** werden könnte und müsste. Hier wurde von den Interviewpartnern auf das bessere Marketing von Bayern und Hessen verwiesen, an dem man sich in NRW orientieren sollte. Die erreichte gute Wettbewerbsposition wird allerdings als gefährdet angesehen, wenn das mit der Revision der Landesförderpolitik durch die derzeitige Landesregierung

[109] Die Projektförderung durch das Land ist beendet.

verbundene Fördermoratorium weiter andauern sollte und die Forschungsfördermittel nicht erhöht werden sollten (zur Förderpolitik des Landes: s. dazu das nachfolgende Kapitel).

Im Grundsatz wird von den Interviewpartnern auch eine **stärkere Koordination der nanotechnologischen Forschung in NRW** befürwortet. Dabei wird empfohlen mit Bezug auf die bereits erfolgten Cluster- und Netzwerkbildungen mit entsprechenden Anreizen die Selbstorganisation der Akteure „vor Ort" zu fördern. Zu bezweifeln ist, ob dies ausreicht, um zu einer noch stärkeren Bündelung der Nano-Forschungkompetenzen in NRW zu kommen. Von RWI-Institut für Wirtschaftsforschung und Stifterverband für die deutsche Wissenschaft wurden in ihrem Innovationsbericht 2006 für die Landesregierung als Schwächen von NRW u.a. bezeichnet, dass zu viele Akteure in der Technologie- bzw. Innovationspolitik generell tätig seien und zwischen diesen zu wenig Abstimmung untereinander stattfinde (vgl. RWI/SV 2006: 81)[110]. Auch im Bereich Nanotechnologie ist daher nicht von der Hand zu weisen, dass eine stärkere Koordination als bisher auf der Landesebene wünschenswert ist, um insbesondere die Zusammenarbeit zwischen der nanowissenschaftlichen Forschung und technologischen Anwendern zu intensivieren.

Ebenso einhellig wird von den Interviewpartnern allerdings auch beklagt, dass für die Transformation der Forschungserkenntnisse in marktfähige Anwendungen **eine problemadäquate Förderstrategie** fehle, so dass viele gute Ansätze, auch im Bereich der Vernetzung und Clusterbildung aufgrund von fehlender Anschlussförderung oder unpassender Förderbedingungen wieder verloren gingen. Die Förderstrategien auf Landes-, Bundes- und EU-Ebene werden sowohl von den Forscher/innen als auch von den wirtschaftsnahen Netzwerkmanagern kritisch gesehen. Die Zielsetzung, sowohl Spitzenforschung als auch die Umsetzung in Anwendungsprodukte unter besonderer Berücksichtigung von mittelständischen Unternehmen gleichzeitig mit demselben Förderinstrumentarium (nur anteilige Förderung der (Grundlagen)Forschung, Kofinanzierung durch industrielle Partner, keine oder zu geringe Förderung von Aufgaben der Cluster- bzw. Netzwerkorganisation) erreichen zu wollen, wird anscheinend weder den Anforderungen der (Grundlagen-)Forschung noch den Innovationsbedingungen in mittelständischen Unternehmen gerecht. Die **Nachhaltigkeit der Förderpolitik** wird als großes Problem angesehen, da - gemessen an den zu lösenden Grundlagenfragen und Up-Skaling-Problemen in der Nanotechnologie – die Förderpolitik auf allen Politikebenen (Ausnahme: DFG-Förderung mit Sonderforschungsbereichen und Schwerpunktprogrammen) zu kurzfristig und zu sehr auf Einzelprojekte ausgerichtet angelegt sei.

[110] Des Weiteren wurden von RWI/SV mit Blick auf eine anscheinend zielstrebigere und effizientere Innovationspolitik in Bayern der Landesregierung NRW empfohlen, die Fördermittel zu bündeln und deren Vergabe in landesweiten Wettbewerben durchzuführen. Dies erfolgte in diesem Jahr mit dem o. g. „MikroNano+Werkstoffe.NRW"-Wettbewerb.

Ein spezifisches Problem für die Umsetzung technologischer Innovationen wird im Bereich der Nanoelektronik gesehen. Aufgrund der kurzen Produktzyklen ist der Halbleitermarkt stark vermachtet. Die Aufspaltung zwischen wenigen Großunternehmen, die den Markt weltweit beherrschen, und kleineren Unternehmen hat **erhebliche Markteintrittsbarrieren** für letztere und neugegründete Unternehmen zur Folge. Obwohl inzwischen unbestritten ist, dass gerade kleine Unternehmen durch Kooperation und gemeinsames Auftreten ihre Marktmacht stärken können, träten sie noch zu sehr als Einzelkämpfer auf. Sie müssten sich in stärkerem Maße als bisher in Forschungsverbünden und Netzwerken zusammenschließen. Den bestehenden regionalen Technologienetzwerken kommt hier die wichtige Funktion der vertrauensbildenden Vorbereitung und Stiftung von Kooperationen der passenden Partner zu.

9.6 Zur Förderpolitik des Landes NRW im Bereich der Nanotechnologie

9.6.1 Die neue Innovationsstrategie der Landesregierung

Mit der 2006 beschlossenen Innovationsstrategie will die Landesregierung erreichen, dass die Innovationsschwäche gegenüber dem Bund (RWI u.a. 2006) mittelfristig ausgeglichen wird und NRW bis 2015 zum „Innovationsland Nr. 1“ unter den Bundesländern wird. Zentrales Anliegen der Innovationspolitik ist es, den Strukturwandel hin zu einer „wissensbasierten Ökonomie in NRW“ entscheidend voran zu bringen. Dazu soll die Forschung an den NRW-Hochschulen zu international konkurrenzfähiger Spitzenforschung weiterentwickelt, in der Kooperation von Hochschulen und Wirtschaft technologisch innovative Produkte und Dienstleistungen generiert und die unternehmerische Basis in der innovativen mittelständischen Wirtschaft gestärkt werden.

Die Strategie beinhaltet die folgenden, in dem hier betrachteten Zusammenhang zentralen Elemente:

- Schaffung von innovationsförderlichen Rahmenbedingungen für die Hochschulen (weitgehende Handlungsautonomie mit Globalhaushalt, Profilbildung über Zielvereinbarungen mit innovationsbezogenen Incentives) und Bereitstellung von Finanzmitteln, mit denen die NRW-Hochschulen im überregionalen Wettbewerb um Spitzenforscher und Drittmittel („Rückkehrer“-Programm, Ko-Finanzierungen etc.) gestärkt werden;
- Förderung des Wissens- bzw. Technologietransfers von der Forschung in die Wirtschaft (Kooperationsprojekte zwischen Hochschulen und KMU, PPP zwischen Hoch-

schulen und Wirtschaft, Science-to-Business"-Modelle, Gründungsförderung für innovative Unternehmen aus Hochschulen heraus);

- Vergabe der Fördermittel in Wettbewerbsverfahren, um die Qualität der Vorhaben zu steigern und die Akteure landesweit zu mobilisieren (bis Ende Oktober 2008 sind die Ausschreibungsfristen von 22 der insgesamt 24 vorgesehenen Wettbewerbe beendet und in 18 Verfahren eine Juryauswahl der eingereichten Wettbewerbsbeiträge, darunter der Nano-Wettbewerb, erfolgt (MIWT, 2008);
- Sukzessive Erhöhung der Landesmittel (bis hin zur „Lissabon"-Leitmarke von 3% FuE-Mittel/BIP);
- Generieren von zusätzlichen Förder- bzw. Investitionsmitteln für FuE durch Einrichtung eines Landesinnovationsfonds aus Privatisierungserlösen und FuE-Investitionen von Großunternehmen für Forschungseinrichtungen der Hochschulen;
- Bündelung der Landesmittel und der EU-EFRE-Strukturfondsmittel (2007-2013) und deren Vergabe nach der ressortübergreifend abgestimmten, einheitlichen und landesweiten Innovationsstrategie (mindestens 50% der EU-Mittel sollen zur Förderung von technologischen Innovationsprozessen ausgegeben werden; das Ziel2-Fördergebiet erstreckt sich auf das gesamte Bundesland, was für alle westdeutschen Bundesländer für diese neue Förderperiode gilt);
- Schaffung eines forschungsfreundlichen Umfeldes durch Berechenbarkeit und Verlässlichkeit der landespolitischen Rahmenbedingungen;
- eine stärkere Verzahnung von Förderzielen und –schwerpunkten des Landes mit Förderprogrammen Dritter, insb. BMBF und EU-FRP;
- Bündelung der Zuständigkeit für Wissenschaft, Forschung und Technologie in einem Ressort und eine arbeitsteilige Durchführung der Wettbewerbsverfahren mit der Federführung der Fachressorts für einzelne Wettbewerbe.

Im Mittelpunkt der Innovationsförderung stehen hierbei vier, für NRW für zukunftsrelevant erkannte Technologiefelder, darunter Nano-/Mikrotechnologie/Innovative Werkstoffe sowie Energie- und Umweltforschung. Diese Schwerpunktsetzung geht konform mit denen der übergeordneten Förderprogramme auf der Bundes- und EU-Ebene.

9.6.2 Bedeutung der Nanotechnologie in der Innovationsstrategie

Die Nanotechnologie, zusammen mit Mikrotechnologie und neuen Werkstoffen, nimmt in der Innovationsstrategie des Landes eine gewichtige Rolle ein. Für den in diesem Jahr durchgeführten „NanoMikro+Werkstoffe.NRW"-Wettbewerb sind relativ zu den weiteren 23 thematischen Wettbewerben am meisten Finanzmittel (für die Förderperiode 2008-2011) vorgesehen. Er ist in der ersten Ausschreibungsrunde mit 61 Mill. € dotiert. Offen ist derzeit (für alle Wettbewerbe), wann es eine zweite Ausschreibungsrunde geben wird.

Von den insgesamt 76 Einzelanträgen, die von 30 Projektteams in der ersten Wettbewerbsrunde eingereicht worden sind, wurden insgesamt 15 Antragsteller von der Jury ausgewählt und zur Einreichung eines Förderantrages aufgefordert. 11 der 15 Gewinner-Beiträge sind nach Angaben des MIWFT Projektverbünde aus Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Universitäten (PM vom 07.11.08). Aus Hochschulstandorten entstammen 13 der 15 Gewinner-Beiträge, bezogen auf die Herkunft des Antragstellers[111]. Bemerkenswert ist, dass die fünf Gewinner-Anträge aus Dortmund alle von Unternehmen des MST-Nano-Clusters gestellt wurden. Eine weitergehende Analyse der Vernetzungsstrukturen in den Projektkonsortien ist beim jetzigen Stand des Verfahrens noch nicht möglich.

9.6.3 *Bewertung*

In einer bisher nicht gekannten Eindeutigkeit hat die Landesregierung mit der Innovationsstrategie einen Vorrang für technologische Innovationen gesetzt und sowohl programmatisch als auch organisatorisch (auf der Ebene der Landesministerien) die Verzahnung von Forschungs- und Technologieförderung umgesetzt. Diese strategische Ausrichtung erstreckt sich auch auf die Verwendung der Strukturfondsfördermittel der EU für NRW. Diese EFRE-/Ziel 2-Fördermittel stellen einen wesentlichen Finanzierungsbeitrag[112] für die Umsetzung der Landesstrategie insgesamt dar.

Neue technologische Produkte und Dienstleistungen für den Markt zu generieren, ist folgerichtig das erstrangige Ziel bei der Verwendung dieser EU-Strukturfondsmittel, die sich auf das gesamte Bundesland erstrecken kann (MWME 2007). Das bei der Strukturförderung bisher vorrangige standort- und ausgleichspolitische Motiv, weshalb die Ziel 2-Förderung bis 2006 auf die besonders strukturschwachen Gebietskörperschaften im nördlichen Ruhrgebiet sowie Teilzonen von Duisburg und Dortmund beschränkt war, ist demgegenüber als nachrangig gesetzt worden.

[111] Aus Aachen (2 Anträge), Bochum (1), Dortmund (5), Duisburg (2), Münster (2), aus OWL-Lippe Lemgo (1)

[112] Für die erste Ausschreibungsrunde aller Wettbewerbe stehen rund 312 Mill. € EU-Mittel und rund 144 Mill. € Landesmittel zur Verfügung. Mit den Eigenleistungen der Projektkonsortien und weiteren Drittmitteln soll ein Ausgabevolumen von über 600 Mill. € ausgelöst werden (PM des Wirtschaftsministeriums vom 05.11.2008).

Waren die vorherigen clusterpolitischen Ansätze des Landes zum einen auf die Intensivierung der interdisziplinären Forschung zwischen den NRW-Hochschulen in drei thematischen Forschungsclustern (Nanoelektronik, Nanobio, Nanoenergie) und zum anderen auf Infrastruktur-Investitionen in FuE- und Gründungszentren (wie AMO in Aachen, CeNTech in Münster, MSTfactory in Dortmund) ausgerichtet, so wird der Fokus in der neuen Förderstrategie darauf gerichtet, „Innovationen entlang von Wertschöpfungsketten in überregionalen Clustern und Kompetenzzentren zu realisieren“ (MIWFT 2006, Pkt. g). Der landespolitische Akzent liegt auf der Beschleunigung des Wissens- bzw. Technologietransfers von den Hochschulen in die Wirtschaft durch Förderung innovativer Projekte, um so möglichst rasch Wachstum und Beschäftigung in NRW zu generieren.

Im Bereich der eher grundlagenorientierten Forschung sind vor allem die DFG sowie das BMBF die maßgeblichen Förderer, in kleinerem Umfang auch Stiftungen (VW-Stiftung, A-v.-Humboldt-Stiftung). Der Landesbeitrag „beschränkt“ sich auf die Grundfinanzierung der Hochschulen und auf die ergänzende Ko-Finanzierung von Spitzenforschung (Exzellenzinitiative des Bundes, NRW-Beitrag für überregionale Forschungseinrichtungen). Ziel des Landes ist es hier, die NRW-Hochschulen und –Forschungseinrichtungen im Wettbewerb um überregionale Drittmittel zu stärken und damit mittelfristig einen höheren Anteil dieser Drittmittel für NRW zu akquirieren..

Die Globalzuweisungen decken allerdings (seit 2006) nicht mehr vollständig den Finanzierungsbedarf der Hochschulen ab, weshalb sie sich neue Quellen erschließen müssen. Und ein Teil der Zuweisung von Haushaltsmitteln erfolgt leistungsbezogen und richtet sich nach dem Erreichen der in Zielvereinbarungsprozessen vereinbarten Outcome-Ziele. Vor dem Hintergrund der seit längerem schon knappen Finanzausstattung der Hochschulen ist über die Deckelung und die leistungsbezogene Vergabe sowie die Notwendigkeit, zusätzliche Drittmittel zu generieren, mit einer relativ großen Hebelwirkung der von der Landesregierung gesetzten Innovationsincentives zu rechnen.

Eine Stärke wäre es, wenn es tatsächlich gelingen würde, durch Privatisierungserlöse den neuen Innovationsfonds des Landes zu füllen und wenn die Unternehmen in NRW dem Aufruf der Landespolitik folgen würden, ihre FuE-Investitionen zu steigern, um so eine entscheidende Innovationsschwäche von NRW, die unterdurchschnittliche FuE-Intensität der Wirtschaft, beheben zu können. Hier sind bereits erste Erfolge zu verzeichnen, auch im Bereich Nanotechnologie. So wird das ICAMS-Zentrum an der Ruhr-Universität Bochum zu einem maßgeblichen Anteil mit Investitionen von einigen Großunternehmen (wie bspw. Thyssen Krupp Steel, Bayer Material Science, Bayer Technology Services u.a.) bestritten.

Eine herausgehobene Rolle spielen in der Innovationsstrategie des Landes innovative mittelständische Unternehmen. Ihre Leistungsfähigkeit soll durch eine intensivere Kooperation mit Hochschulen und Forschungseinrichtungen (z.B. im Rahmen der Innovationsallianz der NRW-Hochschulen) gefördert und durch Unternehmensneugründungen auf eine breitere Grundlage gestellt werden. Ausgründungen von Unternehmen aus Hochschulen sollen hierbei besonders gefördert werden.

Netzwerke spielen bei der Stiftung solcher FuE-Kooperationen und bei der Schaffung eines gründungsfreundlichen Klimas in der Region unbestritten eine positive Rolle. Es zeigte sich auch bei der Analyse der FuE-Infrastruktur im Bereich Nano in NRW, dass sie bei der Profilierung bestimmter Regionen in den vergangenen Jahren eine wichtige Rolle gespielt haben. Solche Netzwerkarbeit wird allerdings in der operativen Umsetzung der Innovationsstrategie bisher als nicht förderfähig ausgeklammert. Da die Unterstützung seitens des Landes schon seit längerem ausgelaufen ist, müssen die Netzwerke ihre Aktivitäten begrenzen und sind möglicherweise sogar ganz in ihrem Bestand gefährdet. Damit würden bereits erreichte Schwerpunktsetzungen an bestimmten Standorten unter Umständen wieder gefährdet. Netzwerke von KMU mit anspruchsvollen Zielsetzungen des regionalen Technologiemarketings und der Generierung von innovativen Entwicklungskooperationen können nach den Erfahrungen der interviewten Netzwerkmanager ohne einen Anteil von öffentlichen Mitteln längerfristig nicht arbeitsfähig gehalten werden.

Die operative Implementation der Innovationsstrategie ist in der ersten Runde der Wettbewerbe nicht optimal erfolgt. So hat es nach Auskunft diverser Interviewpartner eine zu lange Wartezeit für die Beitragseinreicher zwischen Einreichung und Juryentscheidung bzw. Bewilligung (bisher sind insgesamt nur wenige Projekte bewilligt worden, im Bereich Nano noch keines), nicht verlässliche Informationen über Förderbedingungen während der Antragsstellungsphase, eine insgesamt unzureichende Informationspolitik und eine Festlegung der Förderrichtlinie nachdem in den meisten Wettbewerben die Einreichefrist schon abgelaufen war, gegeben, was generell insbesondere auf KMU abschreckend wirkt. Auch war die Neukonzipierung der Förderpolitik des Landes faktisch mit einem landesseitigen Fördermoratorium von gut zwei Jahren verbunden. Dadurch sind vermutlich innovative Projektideen verloren gegangen, weil Forschungsgruppen, Verbünde und Netzwerke von Kooperationspartnern nicht mehr aufrechterhalten werden konnten und/oder Ideenträger in attraktivere Beschäftigungen abgewandert sind. Daher ist es wahrscheinlich, dass sowohl die Förderbedingungen (Förderquote, Veröffentlichungspflichten etc.) als auch die Verfahrensbedingun-

gen (lange Wartezeiten, nur eine Ausschreibungsrunde bisher) selektiv auf die Beteiligung am Nano-Wettbewerb gewirkt haben.

Für die Zukunft wird deshalb empfohlen, das Vergabeverfahren zu ändern und dabei sich am ZIM-Förderprogramm des Bundeswirtschaftsministeriums zu orientieren, das durchweg von den Interviewpartnern, die in KMU-Netzwerken tätig sind, als KMU-freundlich eingestuft wird.

Als längerfristig problematisch ist anzusehen, dass in der bisherigen Umsetzung der Landesstrategie die Förderung von Infrastrukturen ausgeklammert wird. Die Nachhaltigkeit der Förderpolitik ist damit in Frage gestellt, da die jetzigen Erfolge zumindest eines Teils der Wettbewerbsbeiträge aus bestehenden Zentren und Netzwerken heraus erfolgte, mithin also auf Investitionen in der Vergangenheit beruhen. Daher ist es derzeit offen, woher die Investitionen in FuE-Infrastrukturen für das angestrebte Wachstum des Bereichs Nano kommen sollen, die von den zentralen übergeordneten Forschungsförderern (EU, BMBF, DFG) ebenfalls nicht getätigt werden (dürfen).

Die Koordination der Nano-Förderung auf Landesebene durch einen Träger, der im Auftrag des MIWFT tätig ist, ist derzeit ebenfalls noch offen; sie ist noch nicht vergeben worden. Damit ist derzeit auch noch nicht bekannt, wie das Aufgabenfeld dieser Koordinationsstelle aussehen wird (z.B. über den Kreis der im Wettbewerb erfolgreichen Akteure hinaus, Kommunikation und Stiftung von Kooperation hin zu potenziellen Anwendungsbranchen) und wie die Zusammenarbeit zwischen Landeskoordination und regionalen Netzwerke klappen wird.

10 Förderlandschaft

10.1 Vorgehen und Methoden

Um Rückschlüsse auf die Förderung der Nanotechnologie in NRW zu ziehen wurde zuerst die Förderlandschaft im Nanotechnologie-Bereich in der gesamten Bundesrepublik Deutschland untersucht. Dabei wurde hauptsächlich die Bekanntmachungen und Ausschreibungen des Bundesministeriums für Bildung und Forschung und die Webseiten der jeweiligen Projektträger sowie das Bundesbericht Forschung (2006) als Quelle hinzugezogen.

Probleme ergaben sich größtenteils aus erheblichen Abweichungen in den Angaben zur Höhe der Fördersummen und der Förderdauer. Außerdem kann bei den Ergebnissen kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben werden, da es durchaus Förderprogramme gibt, die nicht direkt auf die Förderung der Nanotechnologie abzielen, nichtsdestotrotz aber Projekte mit Nanotechnologie-Bezug fördern.

10.2 Ergebnisse

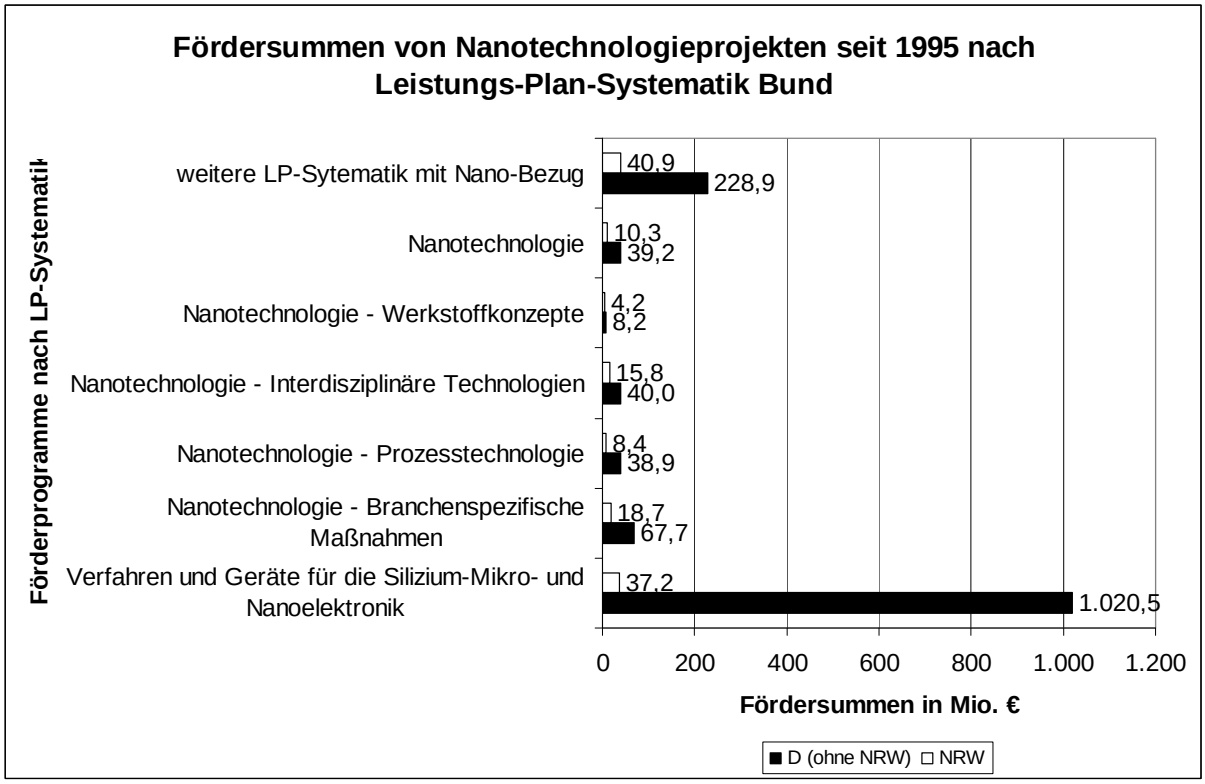
10.2.1 Förderprogramme auf Bundesebene mit Bezug zur Nanotechnologie

Im Jahre 2006 wurde die High-Tech-Strategie für die Bundesrepublik Deutschland vorgestellt. Mit einem Gesamtbudget von etwa 14,6 Mrd. € sollen ressortübergreifend neue innovative Technologien verstärkt gefördert werden. Es wurden 17 Zukunftsfelder identifiziert, darunter auch der Bereich der Nanotechnologie. Diesen Zukunftsfeldern wurden dann entsprechende Rahmenprogramme zugeordnet. Der Bereich der Nanotechnologie ist dabei überwiegend durch das Rahmenprogramm „Nanotechnologie erobert Märkte“ bzw. „Nano-Initiative – Aktionsplan 2010“ vertreten, welches seit 2004 existiert und als ein offener und lernender Handlungsrahmen angelegt ist. Die Fördersumme beläuft sich nach Angaben des BMBF auf etwa 250 Mio. €. Doch auch schon in den früheren Programmen wurde die Nanotechnologie als Schwerpunkt gefördert (so z.B. das Schwerpunkt „Nano geht in die Produktion“, das im Rahmen des Programms „Forschung für die Produktion von morgen“(1999-2005) mit 15 Mio. € gefördert wurde). Auch weitere sog. Zukunftsfelder (z.B. Umwelttechnologien, Luftfahrttechnologien, Sicherheitsforschung), sind aufgrund des Querschnittscharakters der Nanotechnologie eng mit Nanotechnologien verbunden und werden deshalb bei der Betrachtung der Nano-Förderlandschaft einbezogen. Dazu gehören die Felder Biotechnologie, Mikrosystemtechnik, Optische Technologien und vor allem den Bereich der Werkstofftechnologien. Diesen Felder können entsprechend die Rahmenprogramme Mikrosysteme (Laufzeit: 2004-2009, Budget: 260 Mio. €), Optische Technologien –

Made in Germany (2002-2006 (vorerst); 280 Mio. €) und Werkstoffinnovationen für Industrie und Gesellschaft (WING) (2004-2008; 250 Mio. €) zugeordnet werden.

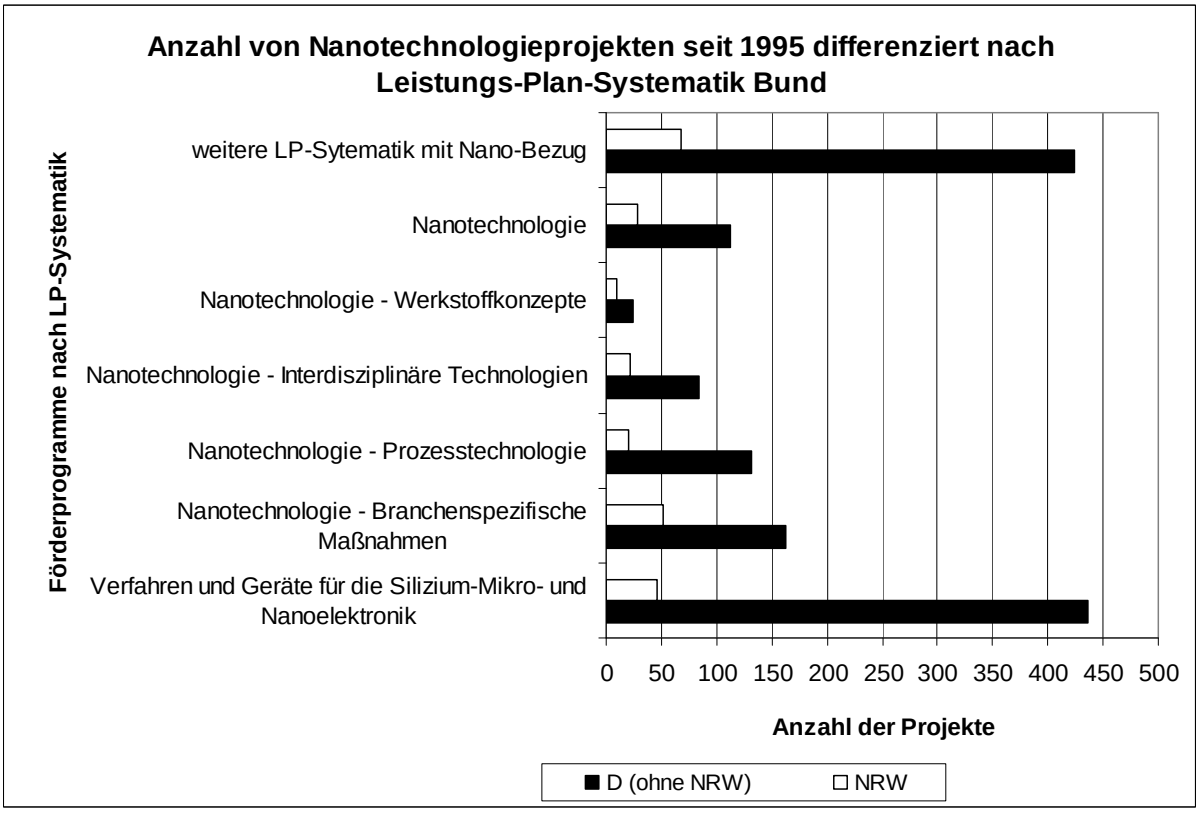
Die einzelnen Rahmenprogramme beinhalten noch eine Anzahl von Unterprogrammen, die direkt der Nanotechnologie-Förderung zugeordnet werden können. Im Rahmen des Programms „Nanotechnologie erobert Märkte“ gehört dazu der Bereich der Nanobiotechnologie, aber vor allem die Leitinnovationen NanoMobil (Budget: 37 Mio. €), das auf Anwendung in der Verkehrstechnik abzielt und NanoFab (323 Mio. €; hier sind auch die Fördersummen für den Bereich der Nanoelektronik seit 2001 enthalten), das hauptsächlich auf den Bereich der Elektronik gerichtet ist. Des Weiteren existieren die Leitinnovation NanoLux (15 Mio. €), die sich mit anorganischen Leuchtdioden beschäftigt, und die Leitinnovation NanoforLife (ca. 25 Mio. €), das den Einsatz von Nanotechnologien und Nanomaterialforschung bei Wirkstofftransport, Implantat- und Regenerativmedizin sowie In-vivo-Diagnostik fördert. In Verbindung mit dem Rahmenprogramm WING gibt es noch weitere Leitinnovationen, die die Bereiche der Chemie (NanoChem: 34,6 Mio. €), der Textilindustrie (NanoTextil: ca. 15 Mio. €) und des Bauwesens (NanoTecture: ca. 15 Mio. €) umfassen.
Ferner werden im Rahmen des WING-Programms die Nachwuchsforschung im Bereich der Nanotechnologie (NanoFutur: ca. 45 Mio. €) sowie kleine und mittlere Unternehmen, die auf dem Gebiet der Nanotechnologie tätig sind bzw. ihr Geschäftsfeld durch den Einsatz von Nanotechnologie erweitern und stärken wollen („KMU-innovativ: Nanotechnologie“ (NanoChance): über 15 Mio. €), gefördert.
Im Rahmenprogramm der Mikrosysteme werden u.a. die Schwerpunkte „Magnetische Mikro- und Nanotechnologien“ mit ca. 20 Mio €, sowie „Mikro-Nano-Integration für die Mikrosystemtechnik“ gefördert.
Bei den Optischen Technologien sind vor allem die Programme NanoOptik (19 Mio. €) und die OLED-Initiative (56 Mio. € - Stand: 2006) zu nennen.
Zusätzlich existieren z.B. das Projekcluster NanoCare (ca. 8 Mio. €), das sich mit den Gefahren und Risiken der Nanotechnologie beschäftigt, sowie die Kompetenzzentren für die Nanotechnologie, die seit 1998 von BMBF gefördert werden.

Abbildung 135: Fördersummen von Nanotechnologieprojekten seit 1995 nach Leistungs-Plan-Systematik Bund



(**Quelle: Förderkatalog BMBF/BMWi; eigene Darstellung)**

Abbildung 136: Anzahl von Nanotechnologieprojekten seit 1995 differenziert nach Leistungs-Plan-Systematik Bund



(**Quelle: Förderkatalog BMBF/BMWi; eigene Darstellung)**

10.2.2 Verteilung der Projekte und der Fördersummen auf die einzelnen Bundesländer

Nach der Untersuchung der vorhandenen Förderprogramme auf der Bundesebene wurde die Verteilung dieser Fördersummen auf NRW und andere besonders im Bereich der Nanotechnologieförderung aktive Bundesländer (Baden-Württemberg, Bayern, Hessen, Saarland und Sachsen) analysiert.

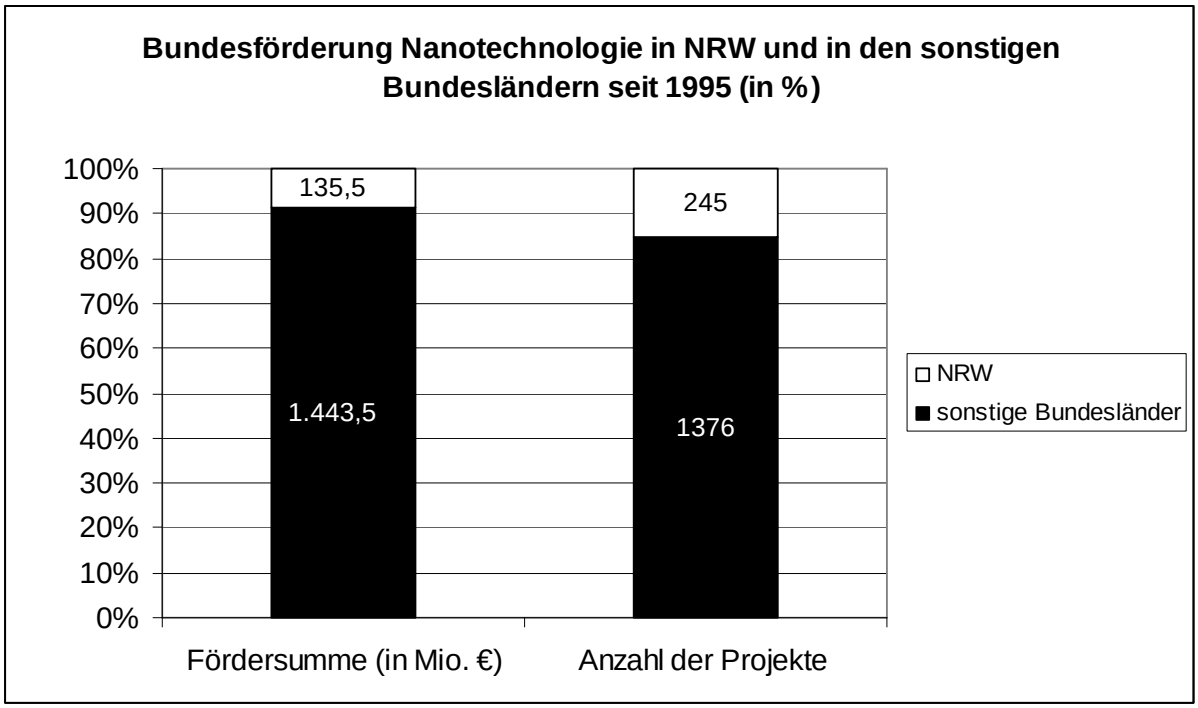
Als Quelle für die Ermittlung der einzelnen Fördersummen wurde der Förderkatalog des BMBF/BMWi verwendet. Dabei sei anzumerken, dass der Förderkatalog nicht die einzelnen Programme bzw. Ausschreibungen als Ausgangspunkt nimmt, sondern die Projekte gemäß einer eigenen Leistungsplansystematik den verschiedenen Bereichen zuordnet. Daher konnten die einzelnen identifizierten Projekte nur in seltenen Fällen eindeutig einem Programm des BMBF bzw. einer Ausschreibung zugeordnet werden. Da aber der überwiegende Teil der Projekte mit Bezug zur Nanotechnologie erfasst wurde und es in der Analyse in erster Linie um die Verteilung der Fördersummen auf die einzelnen Bundesländer und nicht um dessen Zuordnung zu den entsprechenden Programmen ging, bleiben die Ergebnisse aussagekräftig.

In die Erfassung der Projekte gingen folgende Leistungsplansystematiken ein: Verfahren und Geräte für die Silizium-Mikro- und Nanoelektronik (I210), Nanotechnologie - Branchenspezifische Maßnahmen (L110), Nanotechnologie – Prozesstechnologie (L111), Nanotechnologie - Interdisziplinäre Technologien (L112), Nanotechnologie – Werkstoffkonzepte (L113), Nanotechnologie (L250) sowie einige weitere Bereiche mit Nanotechnologie-Bezug.

Es wurde in folgender Weise vorgegangen. Zuerst wurden alle Projekte zu den oben genannten Leistungsplansystematiken differenziert nach Bundesland in einer Excel-Tabelle zusammengefasst. Danach wurden die Fördersummen für die einzelnen LP-Systematiken nach den Bundesländern addiert und absolut und prozentual mit der Fördersumme in den jeweiligen LP-Systematiken für ganz Deutschland verglichen. Zu beachten ist bei dieser Vorgehensweise folgendes: Die Projekte, wenn sie Verbundprojekte sind, werden mehrmals erfasst, d.h., dass dasselbe Projekt auf unterschiedliche ausführende Stellen verteilt ist, die dann jeweils einzeln erfasst werden. Da die Fördersummen anteilig für die einzelnen ausführenden Stellen ausgegeben werden, werden die Ergebnisse dadurch nicht beeinflusst, im Hinblick auf die Anzahl der Projekte muss man hinsichtlich der Interpretation vorsichtig sein.

Zunächst wurde der Anteil der Fördersummen für NRW im Vergleich zum Rest Deutschlands untersucht. In der Abbildung 137 ist die Gesamtzahl der Projekte sowie die Gesamtfördersumme dargestellt.

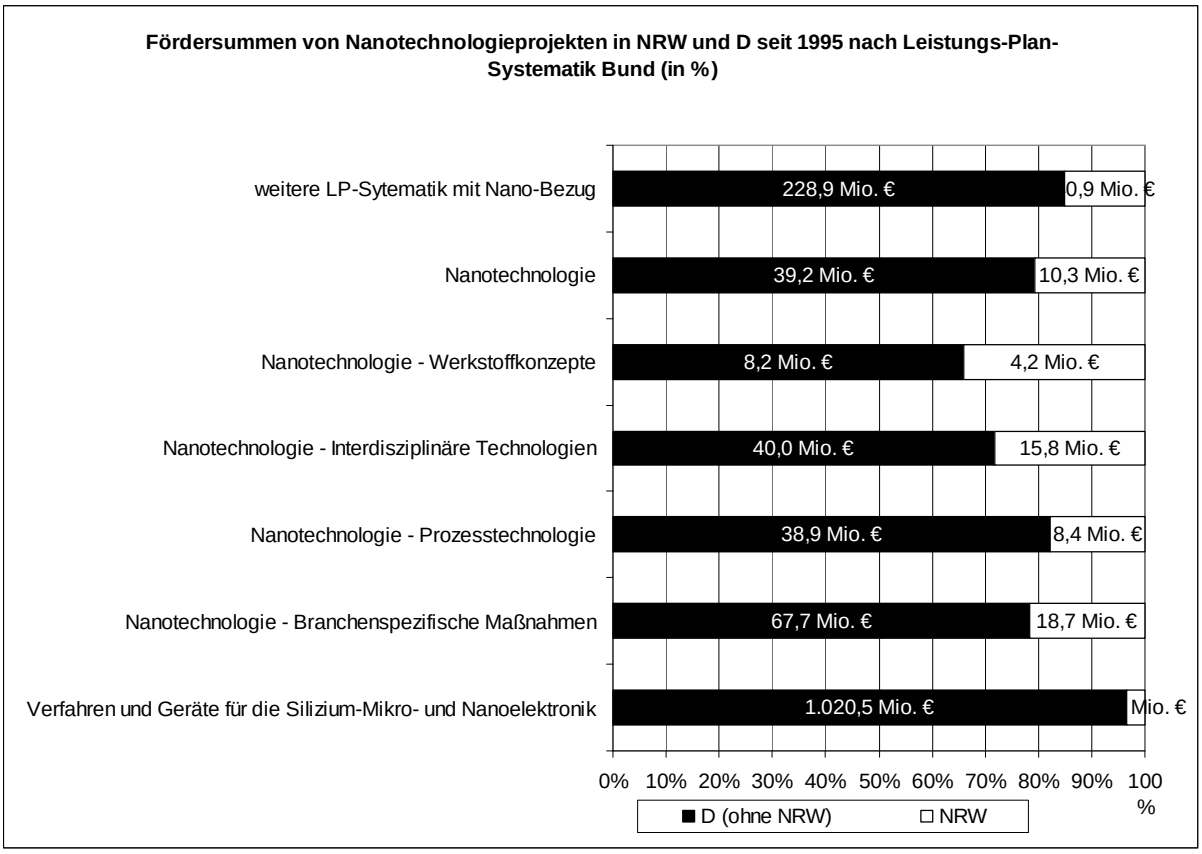
Abbildung 137: Bundesförderung Nanotechnologie in NRW und in den sonstigen Bundesländern seit 1995 (in %)



(Quelle: Förderkatalog BMBF/BMWi; eigene Darstellung)

Man erkennt, dass NRW im Vergleich zum Rest Deutschlands etwa 10% an Fördersummen einwerben konnte, die Anzahl der Projekte, die in NRW ausgeführt werden ist etwas größer (ca. 15%), da dort aber Mehrfachzählungen enthalten sein können, ist das Ergebnis nicht eindeutig.

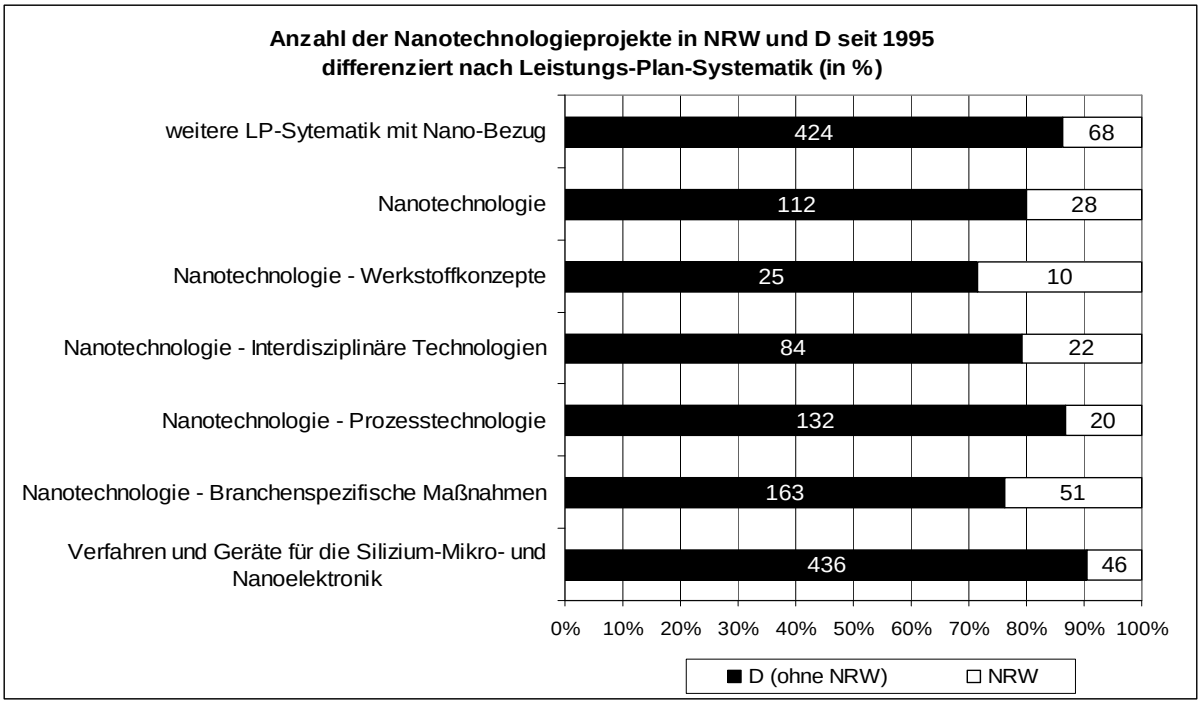
Abbildung 138: Fördersummen von Nanotechnologieprojekten in NRW und D seit 1995 nach Leistungs-Plan-Systematik Bund (in%)



(Quelle: Förderkatalog BMBF/BMWi; eigene Darstellung)

Differenzierung nach LP-Systematiken ergibt folgendes Bild, das in Abbildung 139 zu sehen ist:

Abbildung 139: Anzahl der Nanotechnologieprojekte in NRW und D seit 1995, differenziert nach Leistungs-Plan-Systematik (in %)

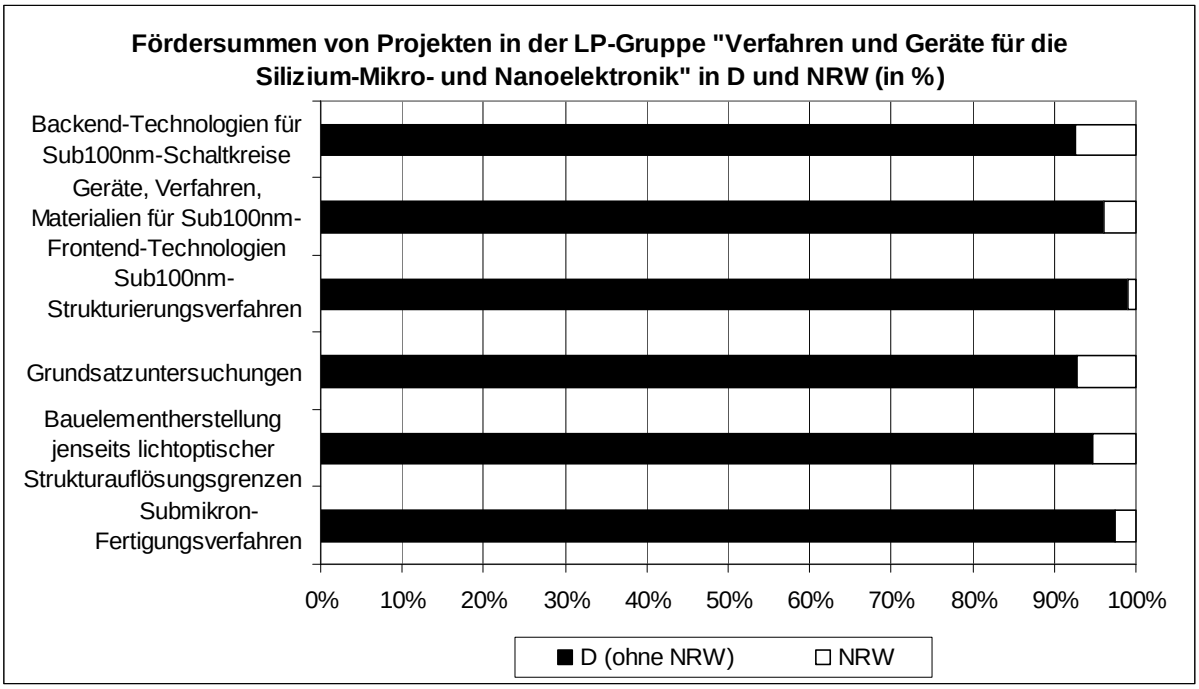


(Quelle: Förderkatalog BMBF/BMWi; eigene Darstellung)

Man kann erkennen, dass NRW vor allem im Bereich der Nanotechnologie-Werkstoffkonzepte besonders aktiv ist (34,2 %). Der Bereich der Interdisziplinären Technologien, zu denen Nanobiotechnologie und Nano-Medizin zählen ist mit 28,3 % ebenfalls stark vertreten. Der Bereich der Verfahren und Geräte für die Silizium-Mikro- und Nanoelektronik ist dagegen mit 3,5 % nur schwach ausgeprägt.

Differenzierungen innerhalb der LP-Systematik liefern folgende Ergebnisse:

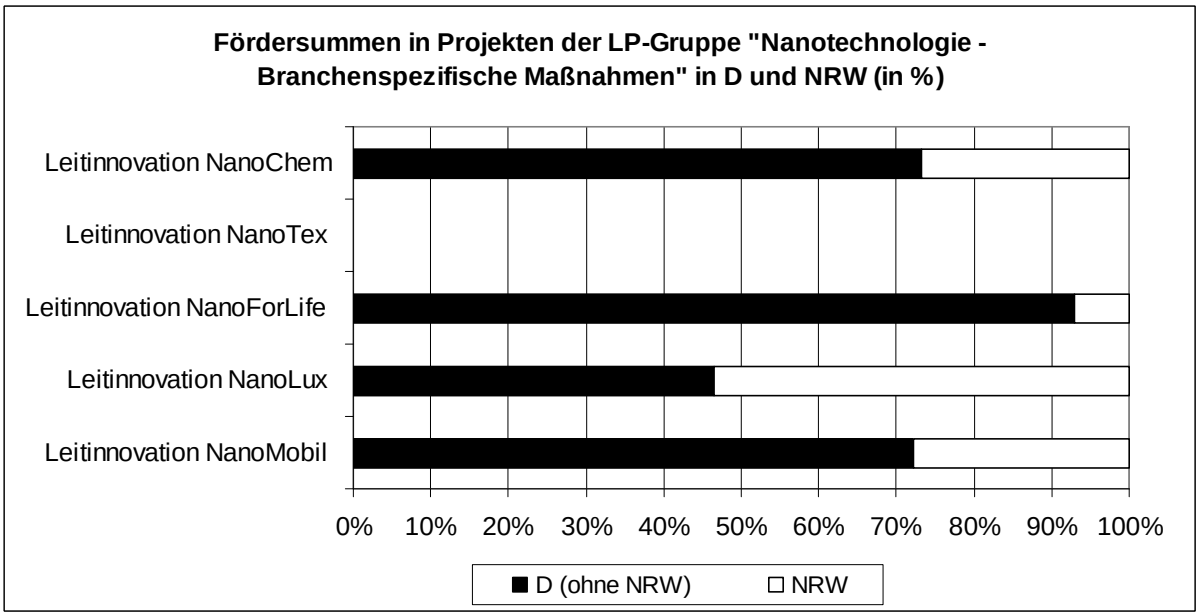
Abbildung 140: Fördersummen von Projekten in der LP-Gruppe "Verfahren und Geräte für die Silizium-Mikro- und Nanoelektronik" in D und NRW (in %)



(Quelle: Förderkatalog BMBF/BMWi; eigene Darstellung)

Der geringe Anteil NRW's an den Förderungen in der LP_Gruppe „Verfahren und Geräte für die Silizium-Mikro- und Nanoelektronik" bestätigt sich auch bei der differenzierten Auswertung.

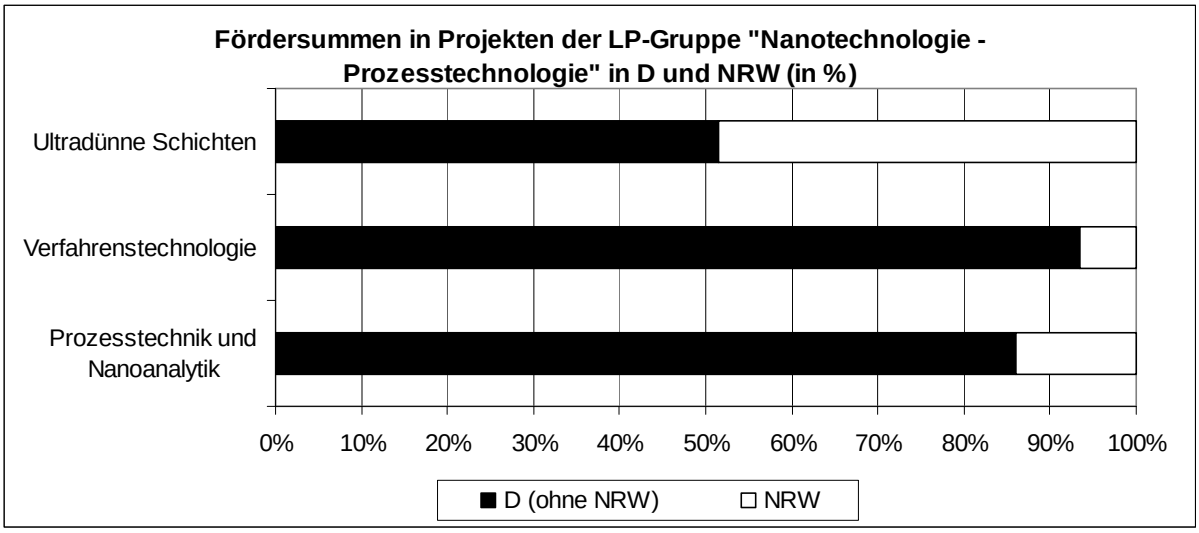
Abbildung 141: Fördersummen in Projekten der LP-Gruppe "Nanotechnologie Branchenspezifische Maßnahmen" in D und NRW (in%)



(Quelle: Förderkatalog BMBF/BMWi; eigene Darstellung)

Im Rahmen der Projekte der LP-Gruppe „Nanotechnologie – Branchenspezifische Maßnahmen“ wird deutlich, dass Forschungseinrichtungen und Unternehmen aus NRW vor allen an den Fördermaßnahmen NanoLux und Nanomobil weit überdurchschnittlich partizipieren konnten.

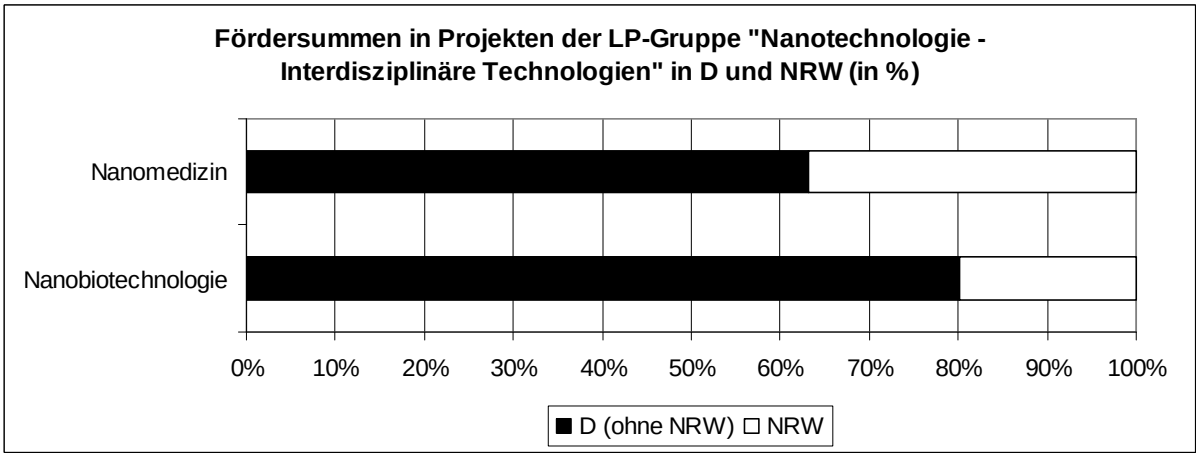
Abbildung 142: Fördersummen in Projekten der LP-Gruppe "Nanotechnologie – Prozesstechnologie“ (in%)



(Quelle: Förderkatalog BMBF/BMWi; eigene Darstellung)

Hinsichtlich der Fördersummen in Projekten der LP-Gruppe "Nanotechnologie – Prozesstechnologie“ konnten NRW Forschungseinrichtungen und Unternehmen insbesondere bei den Projekten „Ultradünne Schichten“ in besonderer Weise partizipieren. In den Bereichen Verfahrenstechnologie und Prozesstechnik und Nanoanalytik sind hingegen die Anteile unterdurchschnittlich.

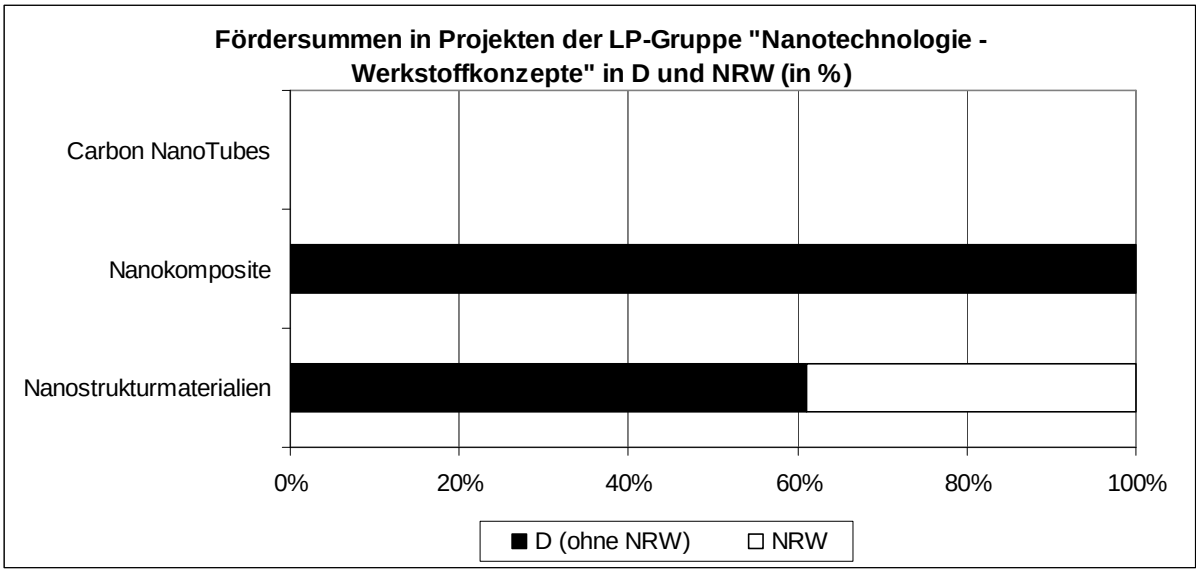
Abbildung 143: Fördersummen in Projekten der LP-Gruppe "Nanotechnologie - Interdisziplinäre Technologien" in D und NRW (in%)



(Quelle: Förderkatalog BMBF/BMWi; eigene Darstellung)

In der LP-Gruppe "Nanotechnologie - Interdisziplinäre Technologien" ist es der Bereich Nanomedizin in welchem NRW einen überdurchschnittlichen Anteil der Mittel einwerben konnte.

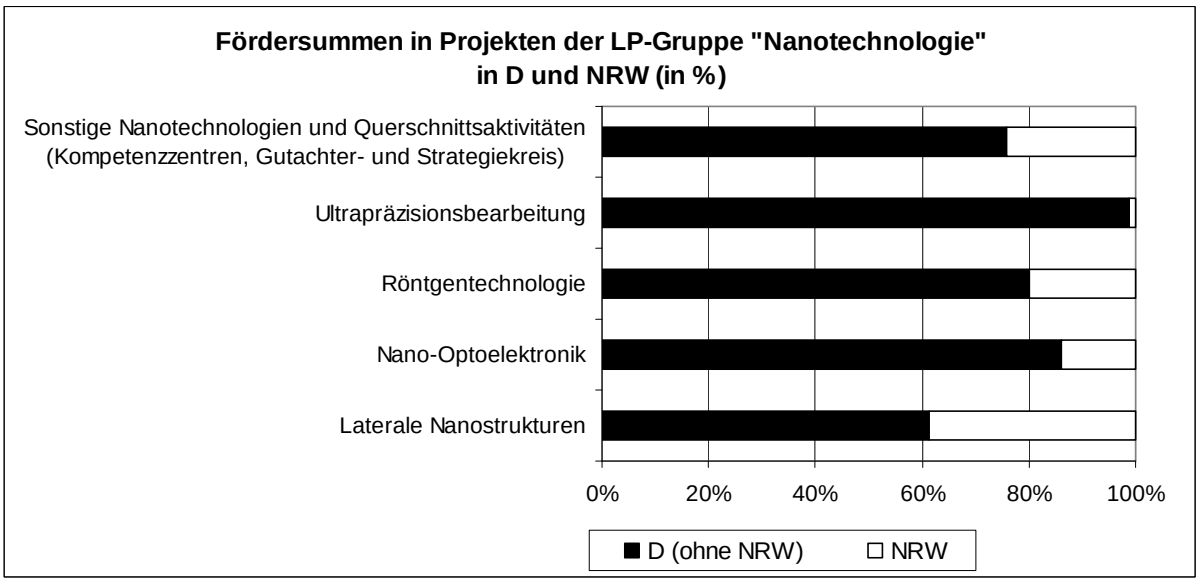
Abbildung 144: Fördersummen in Projekten der LP-Gruppe „Nanotechnologie – Werkstoffkonzepte“ in D und NRW (in%)



(Quelle: Förderkatalog BMBF/BMWi; eigene Darstellung)

Hinsichtlich der Anteile an den Fördersummen in Projekten der LP-Gruppe „Nanotechnologie – Werkstoffkonzepte“ ist die Stellung NRW’s im Bereich Nanostrukturmaterialien stark, im Bereich Nanokomposite ist NRW hingegen nicht vertreten.

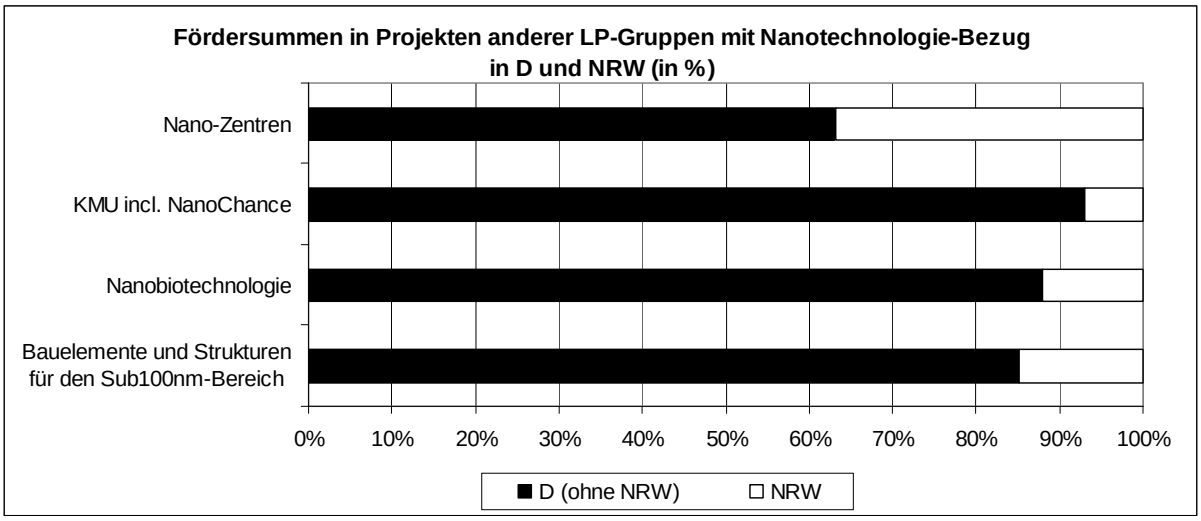
Abbildung 145: Fördersummen in Projekten der LP-Gruppe "Nanotechnologie" in D und NRW (in%)



(Quelle: Förderkatalog BMBF/BMWi; eigene Darstellung)

NRW konnte allein im Bereich der „Lateralen Nanostrukturen“ einen überdurchschnittlichen Erfolg hinsichtlich der Mitteleinwerbung verzeichnen.

Abbildung 146: Fördersummen in Projekten anderer LP-Gruppen mit Nanotechnologie-Bezug in D und NRW

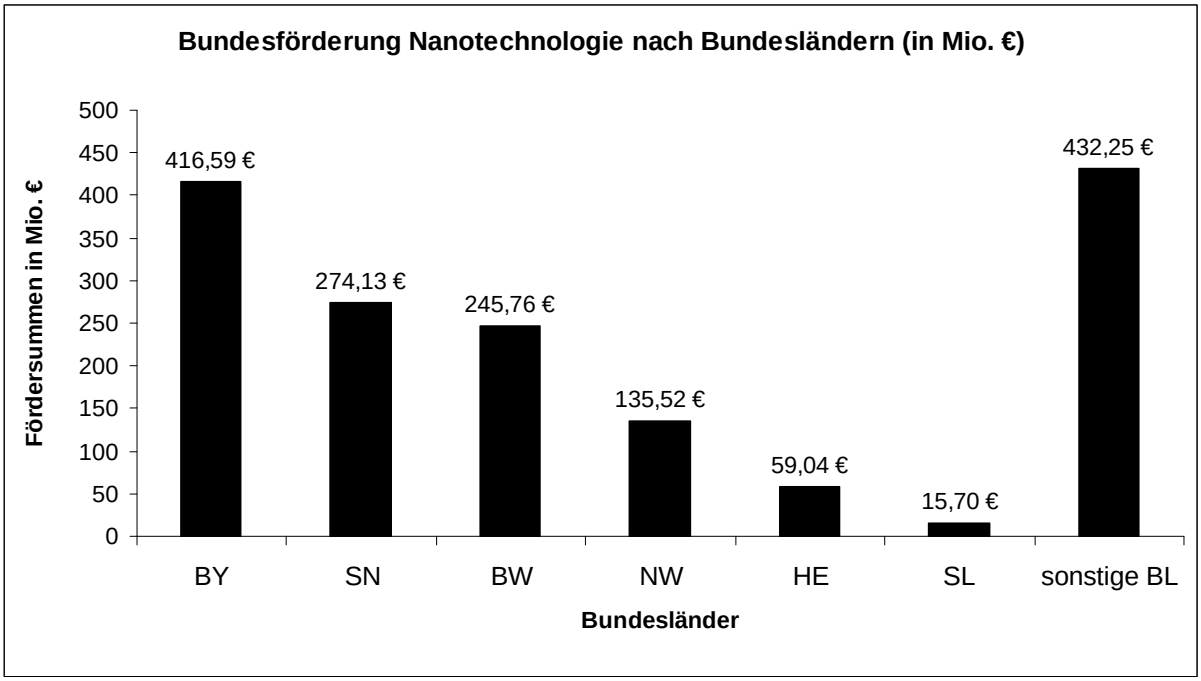


(Quelle: Förderkatalog BMBF/BMWi; eigene Darstellung)

Zusammenfassend zeigen diese Abbildungen auf, in welchen Bereichen NRW besonders aktiv ist. Die Förderung durch die Leitinnovation NanoLux macht mit 53,6 % mehr als die Hälfte der Gesamtfördersumme für Deutschland aus. Daraus kann abgeleitet werden, dass NRW besonders in der Erforschung der LED’s eine wichtige Rolle spielt. Auch in den Bereichen der ultradünnen Schichten (48,6%), der Nanomedizin (36,9 %), der Nanostrukturmaterialien (39%) und der Lateralen Nanostrukturen (38,7 %) ist NRW stark vertreten. In den Bereichen Sub100nm-Strukturierungsverfahren, Submikron-Fertigungsverfahren, Nanokomposite und Ultrapräzisionsbearbeitung spielt NRW aber kaum eine Rolle.

Ein genauerer Vergleich zwischen NRW und den Bundesländern (Baden-Württemberg, Bayern, Hessen und Sachsen) liefert folgende Ergebnisse, die u.a. in Abbildung 147 dargestellt sind. Absolut gesehen steht NRW auf Platz 4 im Hinblick auf die Einwerbung von Fördermitteln und zwar nach BY, BW und SN.

Abbildung 147: Bundesförderung Nanotechnologie nach Bundesländern (in Mio.)



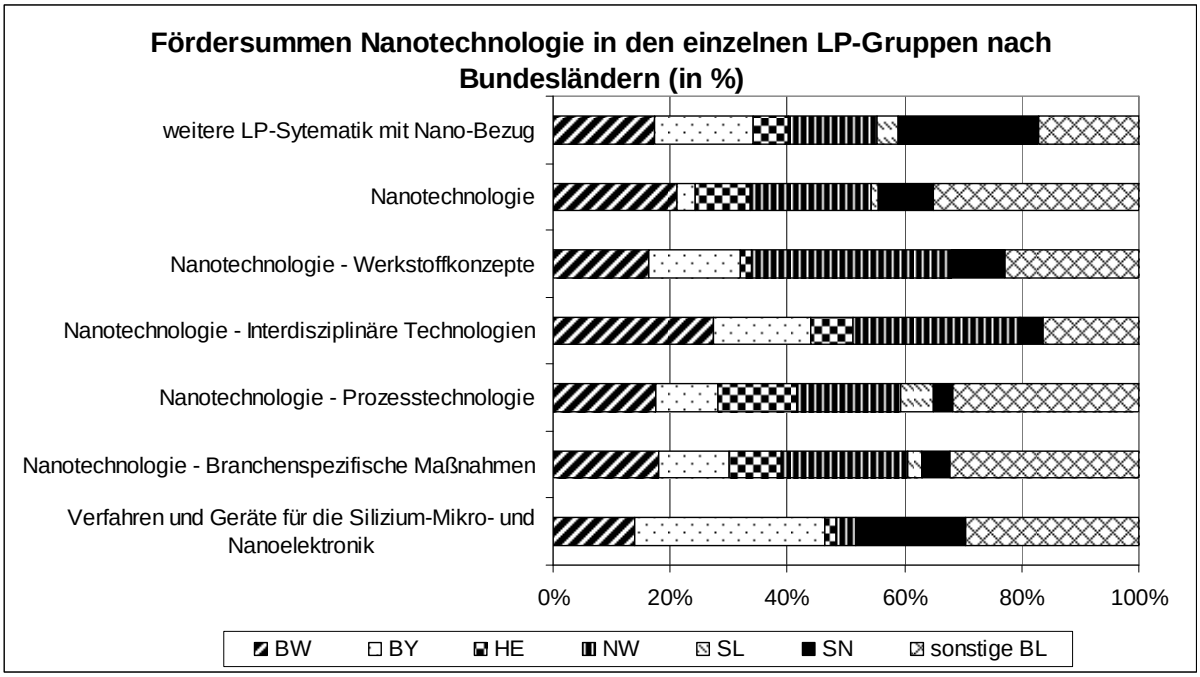
(Quelle: Förderkatalog BMBF/BMWi; eigene Darstellung)

Der prozentuale Vergleich zeigt, dass der Anteil Baden Württembergs an der gesamten Fördersumme, die bei den Untersuchungen betrachtet wurde, 15,56% beträgt, was in etwa mit dem Anteil des Landes BW an der Bundesbevölkerung (etwa 13%) sowie dessen Anteil am BIP (14,56%) übereinstimmt. Das Gleiche gilt für Saarland mit einem Anteil von 0,99% an der Gesamtfördersumme bei einem Anteil von 1,27% an der Gesamtbevölkerung und von 1,23% am BIP). Bayern wird mit einem Anteil von 26,38% an der Gesamtfördersumme stärker gefördert als man es verglichen mit den Anteilen des Landes an der Gesamtbevölkerung (15,18%) und am BIP (17,91%) erwarten könnte. Auch Sachsen mit 5,16% an der Bundesbevölkerung und 3,81% am BIP erhält im Vergleich zu diesen Anteilen eine weitaus höhere Bundesförderung im Bereich der Nanotechnologie (17,36%). Hessen dagegen wird verhältnismäßig weniger gefördert (3,74% von der Gesamtfördersumme verglichen mit Hessens Anteil an Bundesbevölkerung 7,38% und am BIP 8,94%). Und auch der Anteil des Landes NRW ist mit 8,58% an der Gesamtfördersumme geringer als dessen Anteil an der Gesamtbevölkerung (21,9%) sowie am BIP (21,84%). Über alle Förderprogramme hinweg ist festzustellen, dass NRW absolut und prozentual gesehen den 4. Platz hinsichtlich der Einwerbung der Mittel inne hat.

Ein differenziertere Analyse nach der LP-Systematik (Abbildung 148) macht deutlich, dass NRW auch im direkten Vergleich zu anderen Bundesländern bei den Werkstoffkonzepten die wichtigste Rolle spielt und auch im Bereich der Interdisziplinären Technologien NRW

überdurchschnittlich aktiv ist. Bei den Verfahren und Geräten für die Silizium-Mikro- und Nanoelektronik fällt aber wiederum auf, dass der prozentuale Anteil von NRW in diesem Bereich relativ gering ist.

Abbildung 148: Fördersummen Nanotechnologie in den einzelnen LP-Gruppen nach Bundesländern (in%)



(Quelle: Förderkatalog BMBF/BMWi; eigene Darstellung)

Die Ergebnisse weiterer Auswertungen bzgl. der Verteilung der Fördermittel auf die Bundesländer unterscheiden sich nicht im Wesentlichen von denen, die aus dem Vergleich zwischen NRW und dem Rest Deutschlands gezogen wurden. Von daher werden diese Auswertungen nicht weiter dargestellt und kommentiert.

Als Fazit lässt sich festhalten, dass NRW vor allem in den Bereichen NanoLux, Ultradünne Schichten, Nanomedizin, Nanostrukturmaterialien, Laterale Nanostrukturen und bei der Förderung der Nano-Zentren überdurchschnittlich erfolgreich in der Mitteleinwerbung ist (jeweils über 30% verglichen mit den Anteilen NRWs an der Gesamtbevölkerung und am BIP von etwa 22%).

10.3 Zwischenfazit

Als Fazit lässt sich festhalten, dass NRW vor allem in den Bereichen NanoLux, Ultradünne Schichten, Nanomedizin, Nanostrukturmaterialien, Laterale Nanostrukturen und bei der Förderung der Nano-Zentren überdurchschnittlich erfolgreich in der Mitteleinwerbung ist (jeweils über 30% verglichen mit den Anteilen NRWs an der Gesamtbevölkerung und am BIP

von etwa 22%). In NRW ist insofern eine Spezialisierung im Bereich der Nanotechnologien festzustellen, soweit sich dies aus dem Erfolg der Einwerbung von Bundesmitteln feststellen lässt.

11 SWOT Analyse und Handlungsempfehlungen für NRW

In dem folgenden Abschnitt wird auf der Basis der Analysen der Studie eine SWOT Analyse durchgeführt um daraus Handlungsempfehlungen abzuleiten. Ausgangspunkt ist die Darstellung einer SWOT Analyse, die im Rahmen des Aktionsplans Nanotechnologie des BMBF vorgestellt wurde und die als eine Art benchmark dienen kann.

11.1 SWOT-Analyse zur Nanotechnologie in Deutschland

Die SWOT Analyse des BMBF zur Nanotechnologie aus dem Jahre 2006 dient als Benchmark für die SWOT Analyse, die in der Folge für die Nanotechnologien und die Umwelttechnologien für NRW dargestellt wird.

Tabelle 24: SWOT-Analyse zur Nanotechnologie

Stärken	Chancen
• **Starke Grundlagenforschung:** Aber von bisherigem Platz 3 bei Publikationen weltweit nach USA und Japan durch China verdrängt.	• **Vielseitigere und effizientere Werkstoffe:** Neue Eigenschaften und Funktionalitäten für konventionelle Werkstoffe.
• **Ausdifferenzierte Forschungslandschaft:** Starke Beteiligung von HGF, MPG, WGL, DFG, FhG, Hochschulen, Ressortforschung und Industrieforschung.	• **Schaffung neuer Anwendungsvielfalt:** Materialien mit maßgeschneiderten Eigenschaften, insbesondere durch Selbstorganisationsprozesse.
• **Positive Grundstimmung:** Bevölkerung gegenüber Nanotech-Innovationen aufgeschlossen.	• **Wettbewerbsvorteile:** Nanotech-Innovationen quer durch alle Branchen möglich.
• **Interesse beim Nachwuchs:** Wachsende Nachfrage nach neuen Ausbildungs- und Studiengängen zur Nanotechnologie.	• **Gutes Innovationsklima:** Gesellschaft in den Dialog über Chancen und Risiken einbezogen.
• **Gute industrielle Basis:** Bereits ca. 600 Unternehmen (davon ca. 480 KMU) mit Nanotechnologie befasst.	• **Potenzielles Investoreninteresse:** Im Bereich Nanotechnologie hoch.
Schwächen	**Herausforderungen**
• **Umsetzungsdefizit:** Trotz Führungsposition in Europa großer Abstand hinsichtlich Patenten und Anzahl der involvierten Firmen zu USA und Südostasien.	• **Schnelle Unsetzung von Forschungsergebnissen in Produkte,** die auch in Deutschland gefertigt werden.
• **Schwierigkeiten für Start-ups:** Ungenügende Bereitstellung von Risikokapital und bürokratische Hindernisse.	• **Wissenschaftliche Risikobewertung:** Mögliche toxische Wirkungen von Nanopartikeln noch nicht hinreichend untersucht.
• **Informationsdefizite in der Wirtschaft:** Z.T. kein klares Bild von den Chancen der Nanotechnologie bei potenziellen Investoren.	• **Sicherer, verantwortungsvoller Umgang mit der Nanotechnologie:** Verbraucheraufklärung und Verbraucherschutz, Arbeitsschutz.
	• **Risikokommunikation:** Etablierung eines Dialogprozesses, der alle gesellschaftlichen Gruppen umfasst.
	• **Normung, Standardisierung und Prüfstrategien:** Aktivere Rolle Deutschlands notwendig.

(Quelle: BMBF (2006, S. 14))

Als wesentliche *Stärken* der Nanotechnologie in Deutschland werden vor allem die starke Grundlagenforschung, die ausdifferenzierte Forschungslandschaft und die gute industrielle Basis benannt, neben Faktoren wie die positive Einschätzung durch die Bevölkerung und das Interesse an entsprechenden Ausbildungs- und Studiengängen.

Wesentliche *Schwächen* werden vor allem in den Umsetzungsdefiziten aus der Forschung in die Produktion benannt, Schwierigkeiten für Start-ups und schließlich Informationsdefizite in der Wirtschaft.

Chancen bestehen demnach

- Durch die Möglichkeiten vielseitigerer und effizienterer Werkstoffe,
- In der Schaffung einer neuen Anwendungsvielfalt
- Durch die Erschließung potenzielle Wettbewerbsvorteile
- Durch ein gutes Innovationsklima
- Auf Grund des grundsätzlich hohen Interesses der Investoren an den Nanotechnologien

Herausforderungen bestehen demnach vor allem:

- In der schnellen Umsetzung von Forschungsergebnissen in Produkte (i D.)
- In der wissenschaftliche Risikobewertung
- Im sicheren und verantwortungsvollen Umgang mit der Nanotechnologie
- In der Risikokommunikation
- und schließlich bei den Bemühungen der Standardisierung.

Diese SWOT Analyse stellt aus wirtschaftlicher Sicht „typische“ Probleme des deutschen Innovationssystems heraus und zwar den Aspekt, dass die Überführung der Forschung in Praxis vielfach mit Hemmnissen verbunden ist und dies in stärkerem Maße, als es in andern Ländern der Fall sei (bspw. USA).

Gleichwohl sind erhebliche Unterschiede in Relation zu anderen Technologien festzustellen: So ist der Bereich Nanotechnologie in vielen Bereichen nichts unbedingt Neues, d.h. es existiert bereits einige Erfahrung bspw. im Umgang mit Nanopartikeln. Außerdem sind die deutschen Großunternehmen in dem Feld aktiv und kooperieren mit den entsprechenden Forschungseinrichtungen.

11.2 SWOT Analyse für Nanotechnologien in NRW

In der Folge wird auf der Basis der Analyse der einschlägigen Literatur, von statistischen Auswertungen, der schriftlichen und mündlichen Befragungen von Unternehmen und Intermediären vor dem Hintergrund (Benchmark) der BMBF SWOT Analyse eine SWOT Analyse für NRW durchgeführt. Diese geht z.T. deutlich über die sehr allgemein gehaltene BMBF-Analyse hinaus, in dem sie einerseits die Problemlagen in NRW detailgenauer analysiert und hinsichtlich der Handlungsempfehlungen differenzierter wird.

Im Ergebnis der Studie ist festzuhalten, dass die Umwelt- und Ressourceneffekte des Einsatzes der Nanotechnologien im Wesentlichen als Nebeneffekt entstehen. Der Einsatz von Nanotechnologien kann im Wesentlichen durch höhere Effizienz einen Beitrag zum Umweltschutz leisten. Der Einsatz von Nanotechnologien im Bereich der Umwelttechnik ist hingegen noch wenig vorangeschritten und dürfte in vielen Bereichen erst mittelfristig zu erwarten sein. Insofern wird in der SWOT Analyse für NRW im Wesentlichen auf Nanotechnologien im Allgemeinen fokussiert.

11.2.1 Stärken der Nanotechnologien/Nanowissenschaften in NRW

Starke Hochschulforschung

Über 40 Institute an Hochschulen und Fachhochschulen bzw. über 700 Professoren/Forschungsgruppen befassen sich mit Nanowissenschaften/Nanotechnologien
(Interviews, MIWT)

Interdisziplinäre Vernetzung der Nanowissenschaften/Nanotechnologien in der Forschung

Institutionalisierte (d.h. erprobte, stabile) Formen der disziplinenübergreifenden Kooperation von Ingenieur- und Naturwissenschaften an Universitäten zur Entwicklung von Nano-Forschungsfeldern (z.B. CeNIDE/Uni Duisburg-Essen, CeNTech/Uni Münster und jüngst dazugekommen ICAMS/Uni Bochum)
(Quelle: Interviews, Kapitel 9.4.1.2)

Regionale Bündelung und Vernetzung mit Nanotech-Scherpunktsetzung

Beispiele: Aachen (laterale Nanostrukturen), Duisburg-Essen (gasförmige Nanopartikel/geplant Nano-Energie); Münster (Nano-Analytik, Nanobiotechnologie), Dortmund (Mikrostrukturtechnik, zunehmend Nanotechnologie), Paderborn (Nano-Photonik), Bochum (Werkstoffforschung)
(Quelle: Interviews, Kapitel 9.4.1)

Neue Formen der Gemeinschaftsforschung von Unternehmen und Hochschulen

Kooperationen von Unternehmen und Hochschulen in institutionalisierter Form, z.B. im Rahmen von ICAMS an der RUB Bochum, Science to Business Center Nanotronics der Creavis/Evonik Industries in Marl

(Quelle: Interview, Kapitel 9.4.1.5 und 9.4.1.2)

Nanotechnologie-spezifische technische Ausstattung

Die nanospezifische technische Ausstattung für anwendungsorientierte FuE und die Durchführung von Tests etc. ist vorhanden. Mit dem neuen Zentrum für Nanomaterialien in Duisburg können beliebige Mengen von Nanopartikeln für FuE und Up-Scalingprozesse erzeugt werden

(Quelle: Interviews, Kapitel 9.4.1)

Nanotechnologie-spezifische Gründungsförderung

Gründungszentren für Unternehmensgründungen mit Infrastruktur und Beratung im Bereich Nanotechnologie sind vorhanden (MSTfactory in Dortmund, CeNTech in Münster),

Mikro-/Nano-spezifischer Gründungswettbewerb („allmicro“ der Wirtschaftsförderung Dortmund/dortmundprojects) wird jährlich durchgeführt

(Quelle: Interviews, Kapitel 9.4.1.5)

Bedarfsorientierte Modelle für den Wissenstransfer Wissenschaft-Wirtschaft

Praktische (Anschauungs-)Beispiele (in Form privatwirtschaftlicher Geschäftsmodelle), wie der Wissenstransfer zu den Anwenderunternehmen organisiert werden kann (wie z.B. foundry services von AMO für den Bereich Nanoelektronik, AVT Dortmund und ZAVT in Bad Lippstadt für den Bereich der Mikrostrukturtechnik)

(Quelle: Interviews, Kap. 9.4.1.5 und 9.4.2.2)

Landesförderwettbewerb 2008

Anreize des landesweiten Wettbewerbs der Nanotech-Akteure bzw. –Netzwerke durch den aktuellen Landesförderwettbewerb „MikroNano+Werkstoffe.NRW“

(Quelle: Interview, Kapitel 9.5)

Gute und dynamische industrielle Basis

Gegenwärtig ca. 220 Unternehmen, die in der Nanotechnologie aktiv sind, innerhalb von 9 Monaten lassen sich mehr als 100 neue Akteure in NRW identifizieren

(

Tabelle 14 und Abbildung 124 in Kapitel 8)

Gegenwärtige Anwendungsbereiche der Nanotechnologien haben im Grundsatz eine hohe Affinität zu den wirtschaftlichen Kompetenzen des Landes

Sowohl potenzielle Anwenderbranchen von Nanotechnologien als auch zentrale Produzenten von Nanotechnologien haben ihren Sitz in NRW. (bspw. Chemieindustrie, Automobilindustrie, Oberflächen/Beschichtungen, Katalyse)

Stärke NRW's bei wesentlichen Umwelttechnologien

Der Wasser- und der Energiebereich werden als wesentliches Anwendungsfeld im Bereich Nano angesehen. In beiden Feldern ist NRW im Grundsatz gut aufgestellt.

11.2.2 Schwächen der Nanotechnologien/Nanowissenschaften in NRW

Relativ geringe Akquisition von Fördermitteln des Bundes

Abstand in Relation zu Sachsen, Baden-Württemberg und Bayern

(RWI et al. 2007, S. 530) (IÖW Analyse)

Unterdurchschnittliche Patentanmeldungen

Deutlicher Abstand der Anmeldeaktivitäten gegenüber Bayern und Ba-Wü, allerdings ansteigende Tendenz für NRW

(RWI 2007, S. 527)

Vergleichsweise geringes Forschungspersonal

NRW weist aufgrund der unterdurchschnittlichen FuE-Intensität der Wirtschaft – im Bundesländervergleich - einen unterdurchschnittlichen Anteil am FuE-Personal und an den FuE-Ausgaben auf. (je Forscher nicht so schlecht)

(RWI et al. 2007, S. 528)

Unterdurchschnittliche Anzahl von Unternehmensneugründungen

Unterdurchschnittliche Anzahl von *Unternehmensneugründungen*, insb. im Bereich Hoch-Spitzentechnologien

(RWI et al. 2007, S. 235)

Probleme bei der Umsetzung in wirtschaftliche Anwendungen

Nanotechnologien sind – generell - in den meisten potenziellen Anwendungsfeldern noch immer weit von der Umsetzungsreife und Marktfähigkeit entfernt.

Mängel der Förderpolitik auf Landesebene auf der operativen (Prozedere der ersten Wettbewerbsrunde) und auch strategischen Ebene (Bisher Ausschluss von Infrastruktur- und Netzwerkförderung)

(Quelle: Interviews, Kapitel 9.5) (gilt auch für die folgenden Punkte)

Diskontinuität der Vernetzungsförderung auf Landesebene

Temporärer Stillstand durch faktisches Fördermoratorium auf Landesebene (2005-2008), Auslaufen der temporären Projekt-Förderung der drei Nano-Forschungscluster, keine Förderung der Arbeit der regionalen Netzwerke mehr im Rahmen der neuen derzeitigen Förderstrategie nach bisherigem Stand

Noch zu wenig Koordination der Nanotech-Aktivitäten auf der Ebene der Umsetzung der Innovationsstrategie

Vergabe der landesweiten Koordinationsaufgabe ist noch nicht erfolgt (Stand: 14.11.08), damit ist Aufgabenstellung für und Reichweite der Koordinationsagentur noch nicht bekannt, Kooperation zwischen Landeskoordinationsstelle und regionalen Innovationsnetzwerken ist damit noch nicht geklärt

Förderbedingungen begrenzt auf KMU zugeschnitten

Im Rahmen der Umsetzung der Landesförderwettbewerbe wurden die Kontexte von KMU nur begrenzt berücksichtigt.

Zu geringe „Pull"-Impulse

„Push"-Ausrichtung der Landestechnologieförderung, zu wenig *„Pull"-Impulse:* Einbeziehen der Anwendungsbranchen in die Nano-Landesstrategie, Technologieentwickler-Anwender-Dialoge, Incentives bezogen auf Energie- und Ressourceneffizienz.

Zu geringe Nachhaltigkeit der Förderpolitik

Zu wenig *nachhaltige Förderpolitik* (auch auf Bundes- und EU-Ebene), Landes-Innovationsstrategie setzt derzeit stark auf Projektförderung

Mängel bei der Risikokommunikation

Bisher keine landesspezifischen Aktivitäten zur Unterstützung des Stakeholder- Dialogs in Bezug auf die Risiken der Nanotechnologien
(Quelle: Interviews)

Mängel bei der Kommunikation der Vorteile für Umwelt- und Ressourcenschutz

Bisher keine landesweite Koordination an der Schnittstelle Nanotechnologien-Umwelttechnik/-wirtschaft; keine besonderen Aktivitäten zur Vermittlung von Informationen über die Chancen von Nanotechnologien für Umwelt- und Ressourcenschutz
(Quelle: Interviews)

Die starken Nanoforschungspotenziale in NRW werden nur begrenzt wahrgenommen
(Interviews Forschungsakteure)

Vergleichsweise geringes Forschungspersonal

NRW weist aufgrund der unterdurchschnittlichen FuE-Intensität der Wirtschaft – im Bundesländervergleich - einen unterdurchschnittlichen Anteil am FuE Personal und an den FuE Ausgaben auf. Bezogen auf das Forschungspersonal stellt sich Situation allerdings deutlich besser dar
(RWI et al. 2007: 528)

Probleme bei der Umsetzung in wirtschaftliche Anwendungen

Nanotechnologien stellen ein heterogenes Feld dar, eine Vielzahl von gerade für die Umwelt relevanten Nanotechnologien sind z.T. noch relativ weit von der Umsetzungsreife und Marktfähigkeit entfernt.

(Quelle: Unternehmensinterviews Kap. 5.2)

Probleme der operativen Umsetzung der Förderpolitik auf Landesebene

Dies lässt sich an folgenden Sachverhalten festmachen:

(Quelle: Interviews, Kap. 9.5)

- eine stärkere Koordination der Nanotech-Aktivitäten auf der Ebene der Umsetzung der Innovationsstrategie wird als erforderlich angesehen.
- Intensive Kommunikation über mittelfristige Planungen der Landesregierung über Wettbewerbsverfahren, um bezüglich der weiteren Ausschreibungsrunden mehr Planungssicherheit für NRW-Akteure, insb. KMU zu erreichen.
- Wiederaufnahme und Kontinuisierung der Förderung regionaler Innovationsnetzwerke. Hier können und sollten landespolitische Akzente gesetzt werden, um die von unten gewachsenen regionalen Vernetzungsstrukturen zu stützen.
- KMU-freundliche Förderbedingungen und –verfahren: Wettbewerbsverfahren, wie sie wie in NRW zur Vergabe der EFRE-Ziel2-Mittel gewählt wurden, sind nicht per se KMU-freundlich. Kurzfristig ist zu empfehlen, dass kmU in NRW bei Mikro/Nano-Vorhaben durch die zukünftige Nano-Koordinationsstelle des Landes und die regionalen Innovationsnetzwerke bei der Antragstellung im ZIM-Programm beratend unterstützt werden.
- Mehr Nachhaltigkeit der Förderpolitik (gilt auch für die Bundes- und EU-Ebene): Die Landesförderung generell, mithin auch für den Nano-Bereich, setzt derzeit vorrangig auf die Förderung von Projekten mit einer Laufzeit von zwei bis drei Jahren.
- landesweite Koordination und Kooperation an der Schnittstelle Nanotechnologien-Umwelttechnik/-wirtschaft sollte intensiviert werden.

Umwelttechnologieförderung vorrangig im Bereich Diffusion von existierenden fortgeschrittenen Technologien

Umwelttechnikorientierte Technologieförderung existiert in NRW im Wesentlichen nicht, Nanotechnologie und Umweltförderung findet insofern keine Anknüpfungspunkte.

(RWI et al. 2007)

Grundlagenorientierte Nanoforschung mit einem geringen direkten Fokus auf Umwelt - technologien

Die forschungsorientierten Nanocluster haben potenzielle Umweltentlastungsmöglichkeiten nur begrenzt im Blick.

(Interviews Forschungsakteure)

Vernetzungsaktivitäten bzgl. Umwelt / Nano begrenzt entwickelt

Ausnahme stellen dabei bspw. Anätze wie die des Kompetenzclusters Brennstoffzelle dar, in denen Nanotechnologien anwendungsorientiert eine Rolle spielen.

KMU Umwelttechnikunternehmen verweisen auf Informationsdefizite im Hinblick auf Nano / Umwelt

Die Unternehmen der Umweltwirtschaft sehen ein erhebliches Informationsdefizit im Hinblick auf die Potenziale der Nanotechnologien und nutzen und brauchen andere Informationsquellen und Vernetzungsangebote.

(Interviews und schriftliche Befragung)

11.2.3 Chancen

Marktpotenziale durch Anwendungsvielfalt

Als enabling technology und auf Grund ihres Querschnittscharakters bieten Nanotechnologien erhebliche Marktchancen

Marktpotenziale durch positive (Neben-) Effekte für Umwelt- und Ressourcenschutz

Die positiven (Neben-) Effekte erhöhen den Einsatzanreiz für Nanotechnologie

Wettbewerbsvorteile durch Lead Markets /First- Mover Aktivitäten

Eine frühzeitige Aufstellung in diesem Technologiefeld schafft Wettbewerbsvorteile für Hersteller und Anwender

Hohes Nachfragepotenzial in NRW

Auf Grund seiner hohen Wirtschaftskraft sowie Bevölkerungszahl bietet NRW ein starkes Potenzial für einen Nachfragesog in Bezug auf Nanotechnologien

Kompetenzzuwachs der NRW-Akteure

In der interdisziplinären Kooperation zwischen Ingenieur- und Naturwissenschaften und zwischen Wissenschaftler/innen der Hochschulen und regionalen Akteuren der Wirtschaft und Wirtschaftsförderung
(Quelle: Interviews, Kapitel 9.5)

Großunternehmen kooperieren verstärkt mit NRW-Universitäten
Die für die technologische Leistungsfähigkeit von NRW zentralen FuE-aktiven Großunternehmen (Chemie-, Stahlindustrie) engagieren sich wieder verstärkt in der FuE-Kooperation mit NRW-Universitäten
(Quelle: Interview, Kapitel 9.4.1.2 und 9.4.1.5)

Die Umweltwirtschaft in NRW kann durch den Einsatz von Nanotechnologien gestärkt werden
Insbesondere im Wasserbereich sind im Hinblick auf die Diffusion der Wasserreinhaltetechnologien starke Akteurskonstellationen vorhanden. Die Erschließung der nanotechnologischen Potenziale stellen sich insofern als vergleichsweise gut dar.
(Quelle: Interviews, RWI et al. 2007)

11.2.4 Herausforderungen

Schnellere Umsetzung von Forschungsergebnissen in wirtschaftliche Anwendungen
Die Umsetzung von FuE in die Anwendung kann bspw.z.B. durch mehr Nanotechnologie-Anbieter-Anwenderunternehmen-Dialoge, Kooperationsprojekte zwischen Hochschulen, außeruniversitären Forschungsinstituten(wie z.B. FhI UMSICHT) und Umwelt(technik)-Akteuren erreicht werden

Erhöhung der Akzeptanz durch Wissensverbreiterung und Risikokommunikation
(Vgl. BMBF 2006)

Bessere Nachwuchsgewinnung und –ausbildung
Im Hinblick auf den erwarteten Mangel an Fachkräften, Schülerinformation und Lehrerfortbildung, Werbung um mehr Studienanfänger und Auszubildende für NT relevante Berufe und Fächer, Gender-differenzierte Aktivitäten, Sensibilisierung der KMU
(Quelle: Interviews)

Stabilisierung der Netzwerkförderung

(s. Ausführungen zu „Schwächen“) (Quelle: Interviews, Kapitel 9.5)(gilt auch für nachfolgend genannte Punkte)

Stärkere Einbindung der in NRW ansässigen Großunternehmen

Das starke Potenzial von Großunternehmen in Schlüsselbereichen der Nanotechnologien muss besser genutzt werden

Bessere Unterstützung von kmU bei der Produktentwicklung

Die Entwicklungspotenziale von KMU müssen hinsichtlich Marktreife und Markterschließung besser gefördert werden. Angleichen der Förderbedingungen für KMU auf Landesebene an die des Bundes (bei ZIM-Programm)

Förderung von Start- ups

Gegensteuern auf regionaler und Landesebene zur Versorgung von Unternehmensgründungen gegen die Auswirkungen der Finanzmarktkrise auf die Bereitstellung von Risikokapital

Strategiebildung unter Umweltakteuren

Umweltakteure müssen ihre konkreten Bedarfe an die (Nano-)Technologie formulieren, Strategiebildung unter Umweltpraktikern und –forschern verstärken; Thematische/bedarfsspezifische Dialog-Workshops zwischen Umweltakteuren, Nanoforschern und Technologieentwicklern, Koordination auf Landeseben

Koordination der Nano-Umwelt-FuE auf Landesebene

Informationen über Nanotech-Potenziale für Umwelt-Akteure, Abgleich mit deren Bedarfen, Kommunikation über und Abgleich mit angebotspotenzialen, Kompetenzen der Anbieter, Bedarfen der Umwelt-Akteure, Förderung von Anbieter-Anwender-Dialogen

Risikobewertung und Risikokommunikation

Landesspezifische Aktivitäten ergänzend zu denen des BMBF und anderer relevanter Akteure

11.2.5 Zusammenfassung SWOT

Tabelle 25: Zusammenfassende SWOT Analyse zur Nanotechnologie in NRW

A. Stärken	**C. Chancen**
Starke Hochschulforschung	Marktpotenziale durch Anwendungsvielfalt
Interdisziplinäre Vernetzung der	Marktpotenziale durch positive (Neben-)

senschaften/Nanotechnologien	Effekte für Umwelt- und Ressourcenschutz
Regionale Bündelung und Vernetzung mit Nanotech-Schwerpunktsetzungen	Hohes Nachfragepotenzial in NRW
Neue Formen der Gemeinschaftsforschung von Hochschulen und Unternehmen	Kompetenzzuwachs der NRW Akteure
Nanotechnologie-spezifische Gründungs-förderung	Großunternehmen kooperieren verstärkt mit NRW Universitäten
Bedarfsorientierte Modelle für den Wissenstransfer Wissenschaft-Wirtschaft	Einbeziehen der größeren Unternehmen des innovativen Mittelstandes in Kooperation Wissenschaft-Wirtschaft
Relativ konsistente Innovationsstrategie mit landespolitischen Akzentsetzungen in der Beschleunigung des Technologietransfers von der Forschung in die Wirtschaft	Wettbewerbsvorteile durch Lead Markets/ First- Mover Aktivitäten
Schwerpunktsetzung auf Technologiefelder, die mit übergeordneten FuE-Programmen konform geht	Umweltwirtschaft in NRW kann durch den Einsatz von Nanotechnologien gestärkt werden
Landesförderwettbewerb MikroNa-no+Werkstoffe.NRW 2008	
Nanotechnologie-spezifische technische Ausstattung	
Gute und dynamische industrielle Basis	
Affinität der Nanotechnologien zu der industriellen Basis (Nanotechnologien mit deutlichen Umweltentlastungspotenzialen)	
Umwelttechnologien (Wasser) stark vertreten, Perspektivische nanotechnologische Weiterentwicklungen	
B. Schwächen	**C. Herausforderungen**
Wahrnehmung der nanotechnologischen Kompetenz des Landes begrenzt	Schnellere Umsetzung von Forschungsergebnissen in wirtschaftliche
Unterdurchschnittliche Akquisition von Fördermitteln des Bundes	Erhöhung der Akzeptanz durch Wissensverbreiterung und Risikokom-
Unterdurchschnittliche Patentanmeldungen	Bessere Nachwuchsgewinnung und -ausbildung
Vergleichsweise geringes Forschungsperso-nal	Stabilisierung und Ausbau der Netzwerk-förderung
Unterdurchschnittliche Anzahl von Unternehmensgründungen	Intensivierung der FuE Kooperationen
Umsetzungsprobleme von	Stärkere Einbindung der in NRW

vitäten in wirtschaftliche Anwendungen und für umweltrelevante Nanotechnologien	gen Großunternehmen
Probleme der Förderpolitik auf Landesebene (operative Umsetzung)	Verstärkte Unterstützung der KMU bei der Produktentwicklung
Kommunikationsdefizite in Bezug auf Risiken sowie der Potenziale für den Umwelt- und Ressourcenschutz	Förderung von Start-ups
Umwelttechnologieförderung nur begrenzt vorhanden (vorrangig Diffusion)	Strategiebildung unter Umweltakteuren
Begrenzte Vernetzungsaktivitäten im Feld Nanotechnologien / Umwelt	Fokussierung auf Potenziale in NRW (Materialien/Oberflächen, Katalyse)
Informationsdefizite bei den Umwelttechnikunternehmen	Integration der unterschiedlichen zeitlichen Perspektiven der Nanotechnologieentwicklung in
Grundlagenorientierte Nanoforschung mit einem geringen direkten Fokus auf Umwelttechnologien	Kommunikation zu Nano-Umwelt-FuE und Bedarf auf Landesebene
Keine Koordination an der Schnittstelle Nanotechnologien/ Umweltechnik/ Umweltwirtschaft	

(Quelle: eigene Zusammenstellung)

11.3 Handlungsempfehlungen

Die Handlungsempfehlungen werden an Hand der Kategorien

A. Erhaltung der Stärken
B. Überwindung der Schwächen
C. Nutzen der Chancen
D. Bewältigung der Herausforderungen

strukturiert.

11.3.1 Erhalten der Stärken

Erhaltung und Ausbau einer ausdifferenzierten Forschungslandschaft

Förderung der interdisziplinären Profilbildung, fakultäts- bzw. fachbereichsübergreifende Schwerpunktsetzungen und Zentrenbildung

Verstärktes Augenmerk auf den Verbleib der in den heimischen (Fach-) Hochschulen ausgebildeten hochqualifizierten Fachkräfte

Durch Monitoring und ggf. gezielte Anreize sollte der Forschungsstandort NRW in seiner Stärke erhalten bleiben, Förderung von Personalentwicklung in den mittelständischen Unternehmen

(RWI et al. 2007, Empfehlung 7 S. 554)

Intensivierung von FuE-Kooperationen

Zwischen Hochschulen und außeruniversitären FuE-Einrichtungen, zwischen Universitäten und anwendungsorientierter FuE, zwischen Nanotech-Akteuren und Umwelt-Akteuren

11.3.2 Überwindung der Schwächen

Unterstützung bei Fördermitteleinwerbung durch Netzwerk- bzw. Clustermanagement

Nach Aussagen von RWI besteht eine hohe Korrelation zwischen der Akquise von Fördermitteln und Patentanmeldungen. Insofern könnte diese Schwäche der NRW-Nanowirtschaft u.U. durch eine gezielte Unterstützung (durch die geplante Koordinationsstelle auf Landesebene, und durch landesseitige Förderung regionaler Innovationsnetzwerke) vor allem von kmU bei der Einwerbung von Projektfördermitteln (auf Landesebene, insb. auch auf Bundes- und EU-Ebene) überwunden werden. In Bayern ist dies eine Hauptaufgabe des Nano-Clusters Bayern.

Stärkere Einbindung von weiteren außeruniversitären FuE-Einrichtungen

Die bundesweite SWOT-Analyse des BMBF stellt die breit geförderte und ausdifferenzierte Beteiligung von HGF, MPG, WGL etc. heraus. In NRW sind hingegen im Bereich Nanotechnologie nur die Beteiligungen verschiedener FhG Institute und punktuell (in Dortmund und Münster) mit MP-Instituten erkennbar. Hier sind die Ursachen zu untersuchen und – wenn möglich- Mängel zu beheben.

Zur operativen Förderpolitik auf Landesebene

Stärkere Koordination der Nanotech-Aktivitäten auf der Ebene der Umsetzung der Innovationsstrategie: Dies wird grundsätzlich durch die demnächst geplante neue Landeskoordinierungsstelle ermöglicht. Unklar ist allerdings gegenwärtig noch die konkrete Aufgabenstellung und Ressourcenausstattung der Koordinationsstelle. Zentral wird es u.a. sein, die Kooperationsschnittstelle zwischen Landeskoordination und regionalen Innovationsnetzwerken klar zu regeln.

Verstärkung der Kommunikation über die weiteren Förderungen

Intensive Kommunikation über mittelfristige Planungen der Landesregierung über Wettbewerbsverfahren, um bezüglich der weiteren Ausschreibungsrunden mehr Planungssicherheit für NRW-Akteure, insb. KMU zu erreichen.

Förderung regionaler Netzwerke

Wiederaufnahme und Kontinuisierung der Förderung regionaler Innovationsnetzwerke. Hier können und sollten landespolitische Akzente gesetzt werden, um die von unten gewachsenen regionalen Vernetzungsstrukturen zu stützen.

KMU- freundliche Förderbedingungen

KMU-freundliche Förderbedingungen und –verfahren: Wettbewerbsverfahren, wie sie wie in NRW zur Vergabe der EFRE-Ziel2-Mittel gewählt wurden, sind nicht per se KMU-freundlich. Bspw. kann mit dem Vorhaben erst nach der Bewilligung begonnen werden. Bei einem zweistufigen Antragsverfahren ist eine Wartezeit von wenigstens sechs Monaten zwischen Einreichung und Entscheidung praktisch nicht zu vermeiden. Weiterhin sind für Unternehmen teilweise niedrige Förderquoten vorgesehen, was gerade für KMU problematisch ist um innovative und risikoreiche Vorhaben umzusetzen. Da die Förderbedingungen generell für alle Ziel2-Gebiete (alle westdeutschen Bundesländer) gelten, wäre es überlegenswert, in zukünftigen Programmen auf NRW-Ebene, die positiven Erfahrungen mit der Förderstrategie des Bundes im Rahmen des ZIM-Programms berücksichtigt würden. Kurzfristig ist zu empfehlen, dass KMU in NRW bei Mikro/Nano-Vorhaben durch die zukünftige Nano-Koordinationsstelle des Landes und die regionalen Innovationsnetzwerke bei der Antragstellung im ZIM-Programm beratend unterstützt werden.

Mehr Nachhaltigkeit der Förderpolitik

Die Landesförderung generell und mithin auch für den Nano-Bereich setzt derzeit vorrangig auf die Förderung von Projekten mit einer Laufzeit von zwei bis drei Jahren. Angesichts der Komplexität nanotechnologischer Fragestellungen ist deshalb zu empfehlen, auch längerfristig angelegte Projekte, Infrastrukturen und Netzwerke in die Förderung aufzunehmen.

Landesweite Koordination und Kooperation an der an der Schnittstelle Nanotechnologien-Umwelttechnik/-wirtschaft

Die Entwicklung der Nanotechnologien ist bislang noch wenig auf umwelttechnische Fragestellungen orientiert. Eine Zusammenführung von umwelttechnologischen Herausforderungen und den nanotechnologischen Möglichkeiten, die sich in FuE befinden, erweisen sich als erforderlich.

Zur strategischen Ausrichtung der Landesförderpolitik

Verstärkung der „Pull"-Impulse

Erweiterung der „Push"-Ausrichtung der Landestechnologieförderung um *„Pull"-Impulse* (wie z.B. Strategiebildung auf Seiten der Umwelt-Akteure, Generierung von Nachfragebedarf auf Seiten der Umweltwirtschaft und -politik)

Förderung innovativer FuE-Ansätze

Fokussierung der Förderung auf innovative FuE-Ansätze, die auf neue Nanotechnologie-basierte Funktionalitäten abzielen (für zukünftige Nano-Wettbewerbsrunden)

Stärkere Nutzung der FuE-Kompetenzen der Nano-Forscher/innen für umwelttechnische Innovationen

Informationen über Nanotech-Potenziale für Umwelt-Akteure, Abgleich mit deren Bedarfen, Kommunikation über und Abgleich mit angebotspotenzialen, Kompetenzen der Anbieter, Bedarfen der Umwelt-Akteure, Förderung von Anbieter-Anwender-Dialogen.

Strategiebildung unter Umweltakteuren

Umweltakteure müssen ihre konkreten Bedarfe an die (Nano-)Technologie formulieren, Strategiebildung unter Umweltpraktikern und –forschern verstärken. Thematische/bedarfsspezifische Dialog-Workshops zwischen Umweltakteuren, Nanoforschern und Technologieentwicklern, Koordination auf Landesebene.

Chancen-Risiken-Kommunikation

Intensivere Kommunikation der Vorteile der Nanotech-Innovationen für Umwelt- und Ressourcenschutz, landesspezifischen Aktivitäten zur Unterstützung des Stakeholder- Dialogs in Bezug auf die Risiken der Nanotechnologien

Schnellere Umsetzung von Forschungsergebnissen in wirtschaftliche Anwendungen

Förderung des Dialogs zwischen Nanotechnologie-Anbietern und Anwenderbranchen über die Gewinner der ersten Runde des Nano-Wettbewerbs hinaus.

Intensivierung FuE-Kooperationen

Zwischen Hochschulen und außeruniversitären FuE-Einrichtungen, zwischen Universitäten und anwendungsorientierter FuE, zwischen Nanotech-Akteuren und Umwelt-Akteuren

Stärkere Einbindung der in NRW ansässigen innovativen Unternehmen

Beispiele des FuE-Engagements von Großunternehmen in Schlüsselbereichen der Nanotechnologien sollten erweitert werden um die Einbeziehung der größeren Unternehmen des innovativen Mittelstandes in PPP-Modelle der Kooperation zwischen Wirtschaft und Wissenschaft

Bessere Unterstützung von KMU bei der Produktentwicklung

Die Entwicklungspotenziale von KMU müssen hinsichtlich Marktreife und Markterschließung besser gefördert werden. Angleichen der Förderbedingungen für KMU auf Landesebene an die des Bundes (bei ZIM-Programm)

Förderung von start- ups

Gegensteuern auf regionaler und Landesebene zur Versorgung von Unternehmensgründungen mit Investitions- bzw. Risikokapital.

Bessere Nachwuchsgewinnung und –ausbildung

Im Hinblick auf den erwarteten Mangel an Fachkräften, Schülerinformation und Lehrerfortbildung, Werbung um mehr Studienanfänger und Auszubildende für NT relevante Berufe und Fächer, Gender-differenzierte Aktivitäten, Sensibilisierung der KMU

Bei einem längerfristig angelegten Human Ressources-Management sollte das Augenmerk nicht nur auf den akademisch ausgebildeten Fachkräftebereich gerichtet werden, sondern auch frühzeitig der Bereich des Laborpersonals einbezogen werden.

11.3.3 Nutzen der Chancen

Nachfragestimulierung durch innovationsorientierte Beschaffung

Das Land sollte in seiner öffentlichen Beschaffungspolitik innovativen nanotechnologischen Lösungen auch dann eine Chance geben, wenn diese nicht die kostengünstigste Lösungsvarianten darstellen. Öffentliche Referenzanwendungen können Innovation und Diffusion fördern und zur Schaffung von Lead-Märkten beitragen.
(Empf. RWI et al. 2007, Empfehlung 6 S. 554)

Informationskampagne zu den potenziellen positiven Umwelt- und Ressourceneffekten der Nanotechnologien

Umwelt hat bei der Förderung der Nanotechnologien vielfach keine zentrale Rolle, vielmehr wird „Umwelt“ vorrangig als Zusatznutzen angesehen.

11.3.4 Bewältigung der Herausforderungen

Förderung der Vernetzung von FuE- und Anwendungsaktivitäten im Schnittfeld von Nanotechnologien sowie Umwelt- und Ressourcenschutz

Die vorliegende Studie lässt vielfältige Schnittmengen von nanotechnologischen Einsatzfeldern und Umwelt- und Ressourcenschutz erkennen. Daher sollte im Rahmen eines Förderwettbewerbes geprüft werden, ob es eine kritische Masse an Akteuren (Hochschule, außeruniversitäre FuE-Einrichtungen, Unternehmen usw.) in diesem Feld und interessierte Institutionen für die Koordination von Vernetzungsaktivitäten gibt. Als Optionen sollten ein Nano-Umwelt-Netzwerk und /oder eine Nano-Sektion im geplanten Umweltcluster gefördert werden.

Stärkere Einbindung der in NRW ansässigen Großunternehmen

Beispiele des FuE-Engagements von Großunternehmen in Schlüsselbereichen der Nanotechnologien sollten erweitert werden um die Einbeziehung der größeren Unternehmen des innovativen Mittelstandes in PPP-Modelle der Kooperation zwischen Wirtschaft und Wissenschaft.

Bessere Unterstützung von kmU bei der Produktentwicklung

Die Entwicklungspotenziale von kmU müssen hinsichtlich Marktreife und Markterschließung besser gefördert werden. Angleichen der Förderbedingungen für KMU auf Landesebene an die des Bundes (bei ZIM-Programm)

Förderung von start ups

Gegensteuern auf regionaler und Landesebene zur Versorgung von Unternehmensgründungen mit Investitions- bzw. Risikokapital zur Abmilderung der Auswirkungen der Finanzmarktkrise (ist eine Anforderung an Landes- und Bundespolitik generell).

Bessere Nachwuchsgewinnung und –ausbildung

Im Hinblick auf den erwarteten Mangel an Fachkräften sind Informationskampagnen an Schulen, Schülerinformation und Lehrerfortbildung, Werbung um mehr Studienanfänger und Auszubildende für NT relevante Berufe und Fächer, Gender-differenzierte Aktivitäten sowie Sensibilisierung der KMU gefragt (vgl. Nano-Cluster Bayern)

11.3.5 Zusammenfassung Handlungsempfehlungen

Tabelle 26: Handlungsempfehlungen für NRW

A. Erhaltung der Stärken	**C. Nutzen der Chancen**
Erhaltung und Ausbau einer ausdifferenzierten Forschungslandschaft	Nachfragestimulierung durch innovationsorientierte Beschaffung
Verstärktes Augenmerk auf den Verbleib der in den heimischen (Fach-) Hochschulen ausgebildeten hochqualifizierten Fachkräfte	Imagekampagne in Bezug auf positive Umwelt- und Ressourceneffekte von Zahlreichen Nanotechnologien bzw. Nanotechnologieanwendungen
Intensivierung von FuE-Kooperationen	
B. Überwindung der Schwächen	**D. Bewältigung der Herausforderungen**
Unterstützung bei der Fördermitteleinwerbung durch Netzwerk- bzw. Clustermanagement	Förderung der Vernetzung von FuE-und Anwendungsaktivitäten im Schnittfeld von Nanotechnologie sowie Umwelt- und Ressourcenschutz
Verbesserung der operativen Förderpolitik auf Landesebene	Stärkere Einbindung der in NRW ansässigen Großunternehmen
Veränderung der strategische Ausrichtung der Landesförderpolitik	Bessere Unterstützung von kmU bei der Produktentwicklung
Stärkere Nutzung der FuE-Kompetenzen der Nanoforschung für umwelttechnische Innovationen	Förderung von start ups
Initiierung der Strategiebildung unter Umweltakteuren	Bessere Nachwuchsgewinnung und –ausbildung
Verbesserte Chancen/Risiken Kommunikation von Nanotechnologien	
Schnellere Umsetzung von Forschungsergebnissen in wirtschaftliche Anwendungen	

(Quelle: eigene Zusammenstellung)

12 Literatur

Andrady, A. L.; Merkel, T. C.; Toy, L. G. (2004): Effect of particle size on gas permeability of filled superglassy polymers, *Macromolecules* 37(11), S. 4329-4331.

Anonymus (2007): Nanotechnology and the environment. (published by the United Nations Environment Program, UNEP). In: Geo year book 2007, S. 62-70. Download unter: http://www.unep.org/geo/yearbook/yb2007/PDF/7_Emerging_Challenges72dpi.pdf

Arisawa, M. (2007): Development of Environmentally Benign Organometallic Catalysis for Drug Discovery and Its Application, *Chem. Pharm. Bull* 55(8), S. 1099-1118.

Atkinson, S. (2006): Research studies predict strong growth for MBR markets, *Membrane Technology* 2006(02), S. 8-10.

Baker, R. W. (2006): Membrane Technology in the Chemical Industry: Future Directions. In: Nunes, S. P. & Peinemann, K.-V. (Hrsg.) (2006): Membrane Technology in the Chemical Industry (Second, Revised and Extended Edition). Wiley-VCH, Weinheim S. 305-336.

Balbus, John M. et al. (2007): Meeting Report: Hazard Assessment for Nanoparticles—Report from an Interdisciplinary Workshop. In: Environmental Health Perspectives. VOL. 115; No. 11; November 2007; S. 1654 – 1659.

BCC Research (2006): Nanocomposites, Nanoparticles, Nanoclays, and Nanotubes. Download unter: http://www.bccresearch.com/RepTemplate.cfm?reportID=403&RepDet=HLT&cat=nan&target=repdetail.cfm

BCC Research (2007a): Carbon Nanotubes: Technologies and Commercial Prospects. Download unter: http://www.bccresearch.com/RepTemplate.cfm?reportID=406&RepDet=HLT&cat=nan&target=repdetail.cfm

BCC Research (2007b): Nanofiltration. Download unter: http://www.bccresearch.com/RepTemplate.cfm?ReportID=672&cat=nan&RepDet=HLT&target=repdetail.cfm

BCC Research (2007c): Nanotechnology in Energy Applications. Download unter: http://www.bccresearch.com/RepTemplate.cfm?reportID=424&RepDet=HLT&cat=nan&target=repdetail.cfm

BCC Research (2004): Nanocatalysts (Report Code: NAN028A). Report Highlights unter: http://www.bccresearch.com/report/treport.php?rcode=NAN028A (Zugriff: 14.05.2008)

Becker, O.; Simon, G. P. (2005): Epoxy Layered Silicate Nanocomposites. In: o. A. (2005): Inorganic Polymeric Nanocomposites and Membranes [Advances in Polymer Science, 179]. Springer, Berlin/Heidelberg/New York. S. 29-82.

Bell, A. T. (2003): The Impact of Nanoscience on Heterogeneous Catalysis; *Science* 299(5613), S. 1688-1691.

Berenberg Bank und HWWI [Hamburgisches WeltWirtschaftsInstitut] (Hrgs.) (2007): Strategie 2030 – Klimawandel. Hamburg.

Bernhardt, T. M.; Heiz, U.; Landmann, U. (2008): Chemical and Catalytic Properties of Size-Selected Free and Supported Clusters. In: Heiz, U. & Landmann, U. (Hrsg.) (2008): Nanocatalysis. Springer, Berlin/Heidelberg/New York. S. 1-191.

Betts, K. (2005): A greener route to gold nanoparticles, *Environmental Science & Technology* 39(5), S. 104A-105A.

Bhushan, B. (Hrsg.) (2006): Springer Handbook of Nanotechnology (2. aktualisierte Auflage). Springer, Berlin et al.

Blien, U.; von Hauff, M.; Horbach, J. (2000): Beschäftigungseffekte von Umwelttechnik und umwetlorientierten Dienstleistungen in Deutschland. Mitteilungen aus de Arbeitsmarkt- und Berufsforschung Jg. 33(1), S. 126-135.

BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) (Hrsg.) (2006): Nano-Initiative - Aktionslan 2010. BMBF, Bonn/Berlin. Download unter: http://www.bmbf.de/pub/nano_initiative_aktionsplan_2010.pdf

BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (Hrsg.) (2007): GrennTech made in Germany. Umwelttechnologie-Atlas für Deutschland. Verlag Franz Vahlen, München.

BMWT (Hrsg.) (2008): Kompetenznetze initiieren und weiterentwickeln. Netzwerke als Instrument der Innovationsförderung, des Wirtschaftswachstums und Standortmarke-

tings. Berlin, 2. überarbeitete Auflage, als Download verfügbar unter www.kompetenznetze.de/service/termine/2008/medien/kompetenznetze-initiieren-und-entwickeln.pdf (21.05.08)

Bruening, M. L.; Dotzauer, D. M.; Jain, P.; Ouyang, L.; Baker, G. L. (2008): Creation of functional membranes using polyelectrolyte multilayers of polymer brushes, *Langmuir* 24(15), S. 7663-7673.

Bullinger, H.-J. (2006): Verdammt zur Innovation; in: RKW-magazin, Nr. 1, 12-14, als Download verfügbar unter www.rkw-magazin.de (21.05.08)

Carabineiro, S. A. C.; Thompson, D. T. (2008): Catalytic Applications for Gold Nanotechnology. In: Heiz, U. & Landmann, U. (Hrsg.) (2008): Nanocatalysis. Springer, Berlin/Heidelberg/New York. S. 377-489.

Chang, J.-S.; Hwang, J.-S.; Park, S.-E. (2003): Preparation and application of nanocatalysts via surface functionalization of mesoporous materials, *Res. Chem. Intermed.* 29(7-9), S. 921-938.

Cientifica (2007a): Nanotechnologies and Energy, Whitepaper. Download unter: http://www.cientifica.eu/files/Whitepapers/NanoenergyWhitePaper2007.pdf

Cientifica (2007b): Nanotech and Cleantech, Reducing Carbon Emissions Today. Download unter: http://www.cientifica.eu/files/Whitepapers/NanotechCleantech0307.pdf

Cientifica (2007c): Half Way to the Trillion Dollar Market? A Critical Review of the Diffusion of Nanotechnologies. Download unter: http://www.cientifica.eu/files/Whitepapers/A%20Reassessment%20of%20the%20Trillion%20WP.pdf

Cientifica (2007d): Nanotech: Cleantech - Quantifying The Effect Of Nanotechnologies On CO2 Emissions. Download unter: http://www.cientifica.eu/files/Whitepapers/CO2QuantificationWhitePaper.pdf

Cong, H.; Radosz, M.; Towler, B. F.; Shen, Y. (2007): Polymer-inorganic nanocomposite membranes for gas separation, *Separation and Purification Technology* 55(3), S. 281-291.

ConNeCat [Kompetenznetzwerk Katalyse] (2006): Katalyse: Eine Schlüsseltechnologie für nachhaltiges Wirtschaftswachstum. Roadmap der deutschen Katalyseforschung.

2. Auflage. Download unter: http://www.connecat.de/media.php?mId=4284 (Zugriff: 14.05.2008).

ConNeCat [Kompetenznetzwerk Katalyse] (Hrsg.) (2007): Katalyse in Deutschland: Eine Erfolgsstory. ConNeCat, Frankfurt. Download unter: http://www.connecat.de/media.php?mId=6440 (Zugriff: 14.05.2008).

Corry, B. (2008): Designing carbon nanotube membranes for efficient water desalination, *Journal of Physical Chemistry B* 112(5), S. 1427-1434.

Edler, D.; Blazejczak, J. (2006): Aktualisierung der Beschäftigungszahlen im Umweltschutz in Deutschland für das Jahr 2004. Umweltbundesamt, Forschungsbericht 204 14 107.

Elder, Alison C.P. (2006): The Toxicology of Nanomaterials. Präsentation Rochester

EZB [Europäische Zentralbank] (2008): Diagramm des Kursverlaufs von Euro zu US-Dollar. Einsehbar unter: http://www.ecb.eu/stats/exchange/eurofxref/html/eurofxref-graph-usd.en.html (Zugriff: September 2008).

Fahrner, W. (Hrsg.) (2003): Nanotechnologie und Nanoprozesse, Springer Verlag, Berlin

Farbe und Lack (2008): Fachzeitschrift, Heft Juni 2008, S. 58 ff

Fritsch, D. (2006): Membranreaktoren. In: Ohlrogge, K. & Ebert, K. (Hrsg.) (2006): Membranen: Grundlagen, Verfahren und industrielle Anwendungen. Wiley-VCH, Weinheim. S. 515-548.

Gershow, M.; Golovchenko, J. A. (2007): Recapturing and trapping single molecules with a solid-state nanopore, *Nature Nanotechnology* 2(12), S. 775-779.

Gleich, von Arnim (2006): Fortschritt der Ahnungslosigkeit. Chemie, Bio- und Nanotechnologie im Gefährdungsvergleich. In: Politische Ökologie Ausgabe 101 Schwerpunktheft Nanotechnologie

Görner, K.; Hübner, K. (Hrsg.) (1999): Umweltschutztechnik. Springer, Berlin et al.

Groß, F.; Sepeur, S. (2006): Wasserfilm statt Wasserperlen; Beitrag veröffentlicht in: Farbe und Lack, Heft Dezember 2006, S. 20 ff

Guisnet, M. (2007): Zeolite Catalysts for Cleaner Technologies. In: Tundo, P./ Perosa, A./ Zecchini, F. (Eds.) (2007): Methods and Reagents for Green Chemistry: An Introduction. Wiley, Hoboken. S. 231-249.

HA (Hessen Agentur GmbH) (Hrsg.) (2005a): Einsatz von Nanotechnologie in der hessischen Umwelttechnologie: Innovationspotenziale für Unternehmen. Hessen Agentur GmbH, Wiesbaden.

HA (Hessen Agentur GmbH) (Hrsg.) (2005b): Nanotechnologie in Hessen – Eine Bestandsaufnahme auf der Basis von Unternehmensbefragungen. Hessen Agentur GmbH, Wiesbaden.

Hardmann, Ron (2006): A Toxicologic Review of Quantum Dots: Toxicity Depends on Physicochemical and Environmental Factors. In: Environmental Health Perspectives • VOL. 4 No 2 | February 2006; pp.165-172

Heiz, U.; Landmann, U. (Hrsg.) (2008): Nanocatalysis. Springer, Belin/Heidelberg/New York.

Helland, Aasgeir; Peter Wick; Andreas Koehler; Kaspar Schmid; Claudia Som (2007): Reviewing the Environmental and Human Health Knowledge Base of Carbon Nanotubes. In: Environmental Health Perspectives • Vol.115, No. 8; August 2007 S. 1125-1131

Henry, C. R. (2008): Catalysis by Nanoparticles. In: Heiz, U. & Landmann, U. (Hrsg.) (2008): Nanocatalysis. Springer, Berlin/Heidelberg/New York. S. 245-268.

Heubach, D.; Angerer, G. (2007): INANU: Innovation durch Nanotechnologie in der Umwelttechnik als Schlüssel zur Nachhaltigkeit. [Forschungsbericht FZKA-BWPlus]. Fraunhofer IAO/Fraunhofer ISI, Stuttgart/Karlsruhe.

Hill, A. J.; Freeman, B. D.; Jaffe, M.; Merkel, T. C.; Pinnau, I. (2005): Tailoring nanospace, *Journal of Molecular Structure* 739(1-3), S. 173-178.

Hinds, B. J.; Chopra, N.; Rantell, T.; Andrews, R.; Gavalas, V.; Bachas, L. G. (2003): Aligned multiwalled carbon nanotube membranes, *Science* 303(5654), S. 62-65.

Holt, J. K.; Park, H. G.; Wang, Y. M.; Stadermann, M.; Artyukhin, A. B.; Grigoropoulos, C. P.; Noy, A., Bkajin, O. (2006): Fast mass transport through sub-2-nanometer carbon nanotubes, *Science* 312(5776), S. 1034-1037.

Horbach, J. (2003): Beschäftigungserwartungen und Innovationen im Umweltbereich – eine empirische Analyse auf der Basis des IAB-Betriebspanels. Mitteilungen aus der Arbeitsmarkt- und Berufsforschung 2003/3, S.291- 299.

Howaldt, J.; Kopp, R. ;Martens, H. (2001): Kooperationsverbünde und regionale Modernisierung: Thematische Einführung; in: Howaldt, J.; Kopp, R.; Flocken, P. (Hrsg.): Kooperationsverbünde und regionale Modernisierung. Theorie und Praxis der Netzwerkarbeit. Wiesbaden, S. 3-20

Hullmann, A. (2006): The economic development of nanotechnology - An indicators based analysis. (European Commission staff working paper). Download unter: ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/nanoarticle_hullmann_nov2006.pdf

IKB (2005): Oberflächentechnik – Bericht zur Branche, Deutsche Industriebank 05/2005; abgerufen am 15.05.2008 unter: www.zvo.org/uploads/media/IKB_Branchenbericht_Oberflaechen_Mai_2005.pdf

IUPAC [International Union of Pure and Applied Chemistry] (2001): Nomenclature of structural and compositional characteristics of ordered microporous and mesoporous materials with inorganic hosts (IUPAC Recommendations 2001), *Pure and Applied Chemistry* 73(2), S. 381-394.

IWF [Internationaler Währungsfond] (2005): World economic outlook. Download unter: http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2005/01/index.htm (Zugriff: September 2008).

Jonas, M.; Berner, M.; Bromberg, T. (2002): Clusterbildung oder zufällige Zusammenballung? Aspekte regionaler Entwicklungsprozesse am Beispiel der Mikrosystemtechnik im Raum Dortmund; in: Zeitschrift ARBEIT, H. 2, S. 353-358

Joo, S. H.; Cheng, I. F. (2006): Nanotechnology for Enviromental Remediation. [Modern Inorganic Chemistry]. Springer, New York.

JOT (2007a): Journal für Oberflächentechnik, Heft Juni 2007, S. 8

JOT (2007b): Journal für Oberflächentechnik, Heft Juli 2007, S. 14 f.

Kalra, A.; Garde, S.; Hummer, G. (2003): Osmotic water transport through carbon nanotube membranes, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 100(18), S. 10175-10180.

Kamat, P. V. (2007): Meeting the Clean Energy Demand: Nanostructure Architectures for Solar Energy Conversion, *J. Phys. Chem. C.* 111(7), S. 2834-2860.

Kaneda, K.; Mori, K.; Mizugaki, T.; Ebitani, K. (2006): Design of Ruthenium Catalysts Bound to Inorganic Crystalline Materials for Environmentally-Benign Organic Synthesis; *Current Organic Chemistry* 10(2), S. 241-255.

Kokkoli, E.; Mardilovich, A.; Wedekind, A.; Rexeisen, E. L.; Garg, A.; Craig, J. A. (2006): Self-assembly and applications of biomimetic and bioactive peptide-amphiphiles, *Soft Matter* 2(12), S. 1015-1024.

Koros, W. J. (2004): Evolving beyond the thermal age of separation processes: Membranes can lead the way, *AIChE Journal* 50(10), S. 2326-2334.

Legler, H.; Krawczyk, O.; Walz, R.; Eichhammer, W.; Frietsch, R. (2006): Wirtschaftsfaktor Umweltschutz. Leistungsfähigkeit der deutschen Umwelt- und Klimaschutzwirtschaft im internationalen Vergleich. Forschungsbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes.

Liedtke, Ch.; Nordhause-Janz, J.; Rehfeld, D. (2006): Kompetenzen, Cluster, Akteure und Handlungspotenziale in NRW im Feld „Ressourcenmanagement/Umwelttechnik/Wasserwirtschaft“, Studie des IAT/WI für das MUNLV. Gelsenkirchen/Wuppertal, Dez. 2006

Luo, S.; Peng, Y.; Zhang, B.; Wang, P. G.; Cheng, J.-P. (2004): Some New Trends and Recent Progress Towards Environmentally Benign Synthesis; *Current Organic Synthesis* 1(4), S. 405-429.

Lux Research (2006): The Nanotech Report™ (4th Edition) Key Findings and Table of Contents, Download unter: http://www.luxresearchinc.com/pdf/TNR4_TOC.pdf

Lux Research (2007): Nanotech’s Impact on Energy and Environmental Technologies. June 2007.

Malinowska, B.; Walendziewski, J.; Robert, D.; Weber, J. V.; Stolarski, M. (2005): Photodecomposition of Organic Compounds in Aqueous Solution in the Presence of Titania Catalysts. In: Lichtfouse, E.; Schwarzbauer, J.; Robert, D. Environmental Chemistry: Green Chemistry and Polutants in Ecosystems. Springer, Berlin/Heidelberg/New York. S. 591-600.

Matsumoto, T.; Ueno, M.; Wang, N.; Kobayashi, S. (2008): Recent Advances in Immobilized Metal Catalysts for Environmental Benign Oxidation of Alcohols; *Chem. Asian J.* 3(2), S. 196-214.

Maynard, A.D.; Aitken R. J.; Butz, T.; Colvin, V.; Donaldson, K.; Oberdörster, G.; et al. (2006): Safe handling of nanotechnology. In: Nature 444(7117) S. 267–269.

Mecke, A.; Dittrich, C.; Meier, W. (2006): Biomimetic membranes designed from amphiphilic block copolymers, *Soft Matter* 2(9), S. 751-759.

Melin, T.; Rautenbach, R. (2007): Membranverfahren: Grundlagen der Modul- und Anlagenauslegung (3., aktualisierte und erweiterte Auflage). Springer, Berlin/Heidelberg/New York.

Menzel, T. (2006): Verfahrenskonzepte zur Herstellung von Reinstwasser in der pharmazeutischen und Halbleiter-Industrie. In: Ohlrogge, K. & Ebert, K. (Hrsg.) (2006): Membranen: Grundlagen, Verfahren und industrielle Anwendungen. Wiley-VCH, Weinheim. S. 253-272.

Meridian Institute (2006): Overview and comparison of conventional water treatment technologies and nano-based water treatment technologies – Background paper for the international workshop on nanotechnology, water, and development, 10-12 October 2006, Chennai, India. Download unter: http://www.merid.org/nano/watertechpaper/

MIWFT – Ministerium für Innovation, Wissenschaft, Forschung und Technologie NRW (2006): Innovationsstrategie der Landesregierung, download unter: http://www.innovation.nrw.de/objekt-pool/download_dateien/innovationsland_nrw/Innovationsstrategie.pdf (Zugriff am 13.11.08)

Monnard, P. A.; DeClue, M. S.; Ziock, H. S. (2008): Organic nano-compartments as biomimetic reactors and protocells, *Current Nanoscience*, 4(1), S. 71-87.

Mortimer, Ch. E.; Müller, U. (2003): Chemie: Das Basiswissen der Chemie. 8., komplett überarbeitete und erweiterte Auflage. Thieme, Stuttgart.

MT 2005/10 [*Membrane Technology*, Vol. 2005, Is. 10]: US membrane market grows 6.6 % per year. S. 4.

MT 2006/08 [*Membrane Technology*, Vol. 2006, Is. 08]: Cross-flow market set for solid growth. S. 4.

MT 2007/02 [*Membrane Technology*, Vol. 2007, Is. 02]: Strong growth forecast for membrane technology. S. 5.

MT 2007/04 [*Membrane Technology*, Vol. 2007, Is. 04]: Membrane market set to reach $ 1 billion. S. 6.

MT 2007/05 [*Membrane Technology*, Vol. 2007, Is. 05]: Solid growth forecast for filtration membranes. S. 3-4.

MT 2007/06 [*Membrane Technology*, Vol. 2007, Is. 06]: Strong growth forecast for US UF membrane markets. S. 2.

MT 2007/11 [*Membrane Technology*, Vol. 2007, Is. 11]: Medical membrane market set to grow. S. 6.

MT 2008/05 [*Membrane Technology*, Vol. 2008, Is. 05]: Market for sea-water desalination plants set for high growth. S. 3-4.

MUV BaWü (Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg) (Hrsg.) (2004): Zukunftspotenziale der Mikro- und Nanotechnologie als Schlüsseltechnologie für die Umwelttechnik in Baden-Württemberg. MUV BaWü, Stuttgart. Download unter: http://www.innovation.iao.fraunhofer.de/fhg/Images/IAO%20Nano-UT%20Studie%20BaW%C3%BC%202004_tcm124-75573.pdf

MWME – Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Energie NRW (2007): Operationelles Programm (EFRE) für das Ziel „Regionale Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung“ für Nordrhein-Westfalen 2007-2013, Stand: 11.06.2007, download unter: http://www.ziel2.nrw.de/1_Ziel2-Programm/3_1_Programmtexte/Operationelles_Programm_13_08_20071.pdf (Zugriff am 13.11.08)

MWME – Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Energie NRW (2008): Bericht der Landesregierung zum „Aktuellen Stand der NRW-Ziel2-Wettbewerbe“ an den Landtag, Vorlage 14/2189, vom 30.10.2008, download unter: http://www.ziel2.nrw.de/0_2_Aktuelles/2008_11_05_Zwischenbilanz_Wettbewerbe/2008_11_05_Zwischenbilanz_Wettbewerbe.pdf (Zugriff am 13.11.08)

NanoKommission (2008): Verantwortlicher Umgang mit Nanotechnologien. Bericht und Enpfehlungen der NanoKommission der deutschen Bundesregierung. Berlin, November 2008.

Narayanan, R.; El-Sayed, M. A. (2008): Some Aspects of Colloidal Nanoparticle Stability, Catalytic Activity, and Recycling Potenzial, *Top. Catal.* 47(1-2), S. 15-21.

NSF (National Science Foundation, USA) (2001), zitiert in: RedHerring: The Biotech Boom: the view from here. Online-Artikel vom 1. November 2001. Download unter: http://www.redherring.com/Home/146

Nunes, S. P. (2006): Membranen für die Brennstoffzelle. In: Ohlrogge, K. & Ebert, K. (Hrsg.) (2006): Membranen: Grundlagen, Verfahren und industrielle Anwendungen. Wiley-VCH, Weinheim. S. 453-468.

Oakdene Hollins (2007): Enviromentally beneficial nanotechnologies: Barriers and opportunities – A report for the Department for Environment, Food and Rural Affairs, UK. Download unter: http://www.defra.gov.uk/environment/nanotech/policy/pdf/envbeneficial-report.pdf

Oberdörster, G.; Oberdörster, E.; Oberdörster, J. (2005): Nanotoxicology: an emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles. In: Environ Health Perspect 113. S. 823–839.

OECD/EUROSTAT (Hrsg.), (1999): The Environmental Goods and Services Industry: Manual for Data Collection and Analysis, OECD, Paris.

Ohlrogge, K.; Ebert, K. (Hrsg.) (2006): Membranen: Grundlagen, Verfahren und industrielle Anwendungen. Wiley-VCH, Weinheim.

Olson, D. A.; Chen, L.; Hillmyer, M. A. (2008): Templating nanoporous polymers with ordered block copolymers, *Chemistry of Materials* 20(3), S. 869-890.

Pacchioni, G. (2008): Theory of Metal Clusters on the MgO Surface: The Role of Point Defects. In: Heiz, U. & Landmann, U. (Hrsg.) (2008): Nanocatalysis. Springer, Berlin/Heidelberg/New York. S. 193-243.

Pinnekamp, J.; Friedrich, H. (Hrsg.) (2006): Membrantechnik für die Abwasserreinigung (2. Auflage). [Siedlungswasser- und Siedlungsabfallwirtschaft Nordrhein-Westfalen, Band 1]. FiW Verlag, Aachen.

Prehn, K.; Adelung, R.; Heiner, M.; Nunes, S. P.; Schulte, K. (2008): Catalytically active CNT-polymer-membrane assemblies: From synthesis to application, *Journal of Membrane Science* 321(1), S. 123-130.

Rehfeld, D.; David, A. (2007): Die Netzwerkregion OWL – Potenziale & Herausforderungen. Ergebnisse und Empfehlungen aus dem Projekt „Zur weiteren Entwicklung der Clus-

ter in OWL durch Netzwerke“, hrsgg. von der Initiative für Beschäftigung OWL e.V., als Download verfügbar unter www.ifb-owl.de (21.05.08)

Reijnders, L. (2008): Hazard reduction for the application of titania nanoparticles in environmental technology, *Journal of Hazardous Materials* 152(1), S. 440-445.

Richard, D.; Núñez, L. D.; Bellefon, C. de; Schweich, D. (2005): Depollution of Waters Contaminated by Phenols and Chlorophenols Using Catalytic Hydrogenation. In: Lichtfouse, E.; Schwarzbauer, J.; Robert, D. Environmental Chemistry: Green Chemistry and Polutants in Ecosystems. Springer, Berlin/Heidelberg/New York. S. 601-620.

Roco, M. C. (2002): The Future of National Nanotechnology Initiative. Präsentation vom 5/11/02: National Science and Technology Council. http://www.nsf.gov/home/crssprgm/nano/roco_aiche_48slides.pdf (Zugriff: 19.3.2004)

Royal Commission on Environmental Protection (2008): Novel Materials in the Environment: The case of nanotechnology.

Rössler, A. (2006): Kleine Teilchen – große Wirkung, Beitrag veröffentlicht in: Journal für Oberflächentechnik, Heft Juni 2006, S. 34 ff

RWI (2006): Innovationsbericht 2006: Zur Leistungsfähigkeit des Landes Nordrhein-Westfalen in Wissenschaft, Forschung und Technologie, Endbericht Kurzfassung Rheinisch- Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung, Okt. 2006; download unter: http://www.rwi-essen.de/pls/portal30/docs/FOLDER/PUBLIKATIONEN/GUTACHTEN/KURZF_INNOVATIONSBERICHT_NRW_2006.PDF

RWI et al. (2007): Innovationsbericht 2007: Zur Leistungsfähigkeit des Landes Nordrhein-Westfalen in Wissenschaft, Forschung und Technologie, Projektbericht Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung, Dez. 2007; download unter: http://www.rwi-essen.de/pls/portal30/docs/FOLDER/PUBLIKATIONEN/GUTACHTEN/IB2007_TEIL+B+SCHWERPUNKTBERICHT.PDF

Schlegel, C. (2006): Neue Funktionen für glasige Oberflächen; Beitrag veröffentlicht in: Journal für Oberflächentechnik, Heft November 2006, S. 68 ff

Schlögl, R.; Abd Hamid, S. B. (2004): Nanocatalysis: Mature Science Revisited or Something Really New?, *Angew. Chem. Int. Ed.* 43(13), S. 1628-1637.

Schmidt, K. F. (2007): Green Nanotechnology: it's easier than you think. Woodrow Wilson International Center for Scholars, Washington DC. Download unter: http://www.nanotechproject.org/file_download/187

Schroers, S.; Odensaß, M. (2007): In-situ-Verfahren für die gesättigte Zone: Einsatzmöglichkeiten und erste Beispiele aus Nordrhein-Westfalen, *altlasten-spektrum* 16(1), S. 13-24.

Seayad, J.; Tillack, A.; Hartung, C. G.; Beller, M. (2002): Base-Catalyzed Hydroamination of Olefins: An Environmentally Friendly Route to Amines, *Adv. Synth. Catal.* 344(8), S. 795-813.

Shannon, M. A.; Bohn, P. W.; Elimenech, M.; Georgiadis, J. G.; Mariñas, B. J.; Mayes, A. M. (2008): Science and technology for water purification in the coming decades, *Nature* 20(7185), S. 301-310.

Shao, Y.; Sui, J.; Yin, G.; Gao Y. (2008): Nitrogen-doped carbon nanostructures and their composites as catalytic materials for proton exchange membrane fuel cell, *Applied Catalysis B: Environmental* 79(1-2), S. 89-99.

Sheldon, R. A. (2007): Green Chemistry: Catalysis and Waste Minimization. In: Tundo, P.; Perosa, A.; Zecchini, F. (Hrsg.) (2007): Methods and Reagents for Green Chemistry: An Introduction. Wiley, Hoboken. S. 191-199.

Shi, F.; Tse, M. K.; Beller, M. (2007): A Novel Environmentally Benign Method fort he Selective Oxidation of Alcohols to Aldehydes and Ketones, *Chem. Asian J.* 2(3), S. 411-415.

Sprenger, R.-U.; Rave, T.; Edler, D. (2003): Beschäftigungspotenziale einer dauerhaft umweltgerechten Entwicklung. Umweltbundesamt Forschungsbericht 200 14 152

Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (2007a): Statistisches Jahrbuch 2007 für die Bundesrepublik Deutschland. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden. Download unter: http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/SharedContent/Oeffentlich/AI/IC/Publikationen/Jahrbuch/Statistisches_20Jahrbuch2007,property=file.pdf (Zugriff: September 2008).

Statistsiches Bundesamt (Hrsg.) (2007): Umwelt. Umsatz mit Waren, Bau und Dienstleistungen, die ausschließlich dem Umweltschutz dienen. Fachserie 19, Reihe 3.3 -2005.

Stein, D. (2007): Nanopores: Molecular ping-pong, *Nature Nanotechnology* 2(12), S. 741-742.

Steinfeldt, M.; von Gleich, A.; Petschow, U.; Haum, R.; Chudoba, T.; Haubold, S. (2004): Nachhaltigkeitseffekte durch Herstellung und Anwendung nanotechnologischer Produkte. Schriftenreihe des IÖW 177/04. Berlin. Download unter http://www.bmbf.de/pub/nano_nachhaltigkeit_ioew_endbericht.pdf

Steinfeldt, M.; von Gleich, A.; Petschow, U.; Pade, C.; Sprenger, R.-U. (2008 [im Erscheinen]): Entlastungseffekte für die Umwelt durch nanotechnische Verfahren und Produkte. [UBA-Texte] UBA, Dessau.

Strathmann, H. (1999): Membrane processes for sustainable industrial growth, *Membrane Technology* 1999(113), S. 9-11.

SusChem [European Technology Platform for Sustainable Chemistry] (2005): Innovating for a Better Future: Sustainable Chemistry Strategic Research Agenda 2005. Download unter: http://www.suschem.org/media.php?mId=3670 (Zugriff: 14.05.2008).

Swiss-re (2004): Nanotechnologie. Kleine Teile – grosse Zukunft? Genf

TAB (Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag) (2004): Nanotechnologie: Bericht des Ausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung (BT Drucksache 15/2713).

Thomas, J. M.; Johnson, B. F. G.; Raja, R.; Midgley, P. A. (2003): High-performance nanocatalysts for single-step hydrogenations, *Acc. Chem. Res.* 36(1), S. 20-30.

UBA (Umweltbundesamt) (Hrsg.) (2006): Nanotechnik: Chancen und Risiken für Mensch und Umwelt. UBA, Berlin/Dessau.

UBA (Umweltbundesamt) (Hrsg.) (2007a): Wirtschaftsfaktor Umweltschutz. Vertiefende Analyse zu Umweltschutz und Innovation. Forschungsprojekt im Auftrag des Bundesumweltamtes.

UBA (Umweltbundesamt) (Hrsg.) (2007b): Umweltpolitische Innovations- und Wachstumsmärkte aus Sicht der Unternehmen. Forschungsprojekt im Auftrag des Bundesumweltamtes.

UNEP [United Nations Environment Programm] (2002): Global Environment Outlook. UNEP, Nairobi. Download unter: http://www.unep.org/geo/geo3/english/index.htm (Zugriff: September 2008).

Usuki, A.; Kato, M. (2005): Polymer-Clay Nanocomposites. In: o. A. (2005): Inorganic Polymeric Nanocomposites and Membranes [Advances in Polymer Science, 179]. Springer, Berlin/Heidelberg/New York. S. 135-196.

Wang, S.; Ang, H. M.; Tade, M. O. (2007): Volatile organic compounds in indoor environment and photocatalytic oxidation: State of the art, *Environmental International* 33(5), S. 694-705.

Wiesner, M. R.; Barron, A. R.; Rose, J. (2007): Membrane Processes. In: Wiesner, M. R. & Bottero, J.-Y. (2007): Environmental Nanotechnology: Applications and Impacts of Nanomaterials. McGraw Hill, New York et al. S. 337-370.

Zecchina, A.; Groppo, E.; Bordiga, S. (2007): Selective Catalysis and Nanoscience: An Inseparable Pair, *Chem. Eur. J.* 13(9), S. 2440-2460.

ZTC (Zukünftige Technologien Consulting) der VDI TZ GmbH (Hrsg.) (2004): Nanotechnologie als wirtschaftlicher Wachstumsmarkt. ZTC, Düsseldorf.

ZTC (Zukünftige Technologien Consulting) der VDI TZ GmbH (Hrsg.) (2007): Nanotechnologien für den Umweltschutz. Schriftenreihe Zukünftige Technologien 71/07, ZTC, Düsseldorf.

ZvO – Zentralverband für Oberflächentechnik (2007): Pressemitteilung; abgerufen am 15.05.2008 unter: www.zvo.org/uploads/media/Baunach_GOT_Garant_des_techn_Fortschritts.doc

13 Anhang

I. Verwendete Quellen zur Recherche von nanotechnologischen Produkten und Verfahren für die Umwelttechnik, den Umwelt- und den Ressourcenschutz

Literatur
▪ Anonymus (2007): Nanotechnology and the environment. In: Geo year book 2007, 62-70. ▪ Schmidt, K. F. (2007): Green Nanotechnology: it's easier than you think. Woodrow Wilson International Center for Scholars, Washington DC. ▪ Steinfeldt et al. (2004): Nachhaltigkeitseffekte durch Herstellung und Anwendung nanotechnologischer Produkte. Schriftenreihe des IÖW 177/04. Berlin. ▪ ZTC (Zukünftige Technologien Consulting) der VDI TZ GmbH (Hrsg.) (2007): Nanotechnologien für den Umweltschutz. ZTC Düsseldorf
Studien
▪ BMBF (2006): Nano-Initiative – Aktionsplan 2010 ▪ HA (Hessen Agentur GmbH) (Hrsg.) (2005): Einsatz von Nanotechnologie in der hessischen Umwelttechnologie: Innovationspotenziale für Unternehmen. Hessen Agentur GmbH, Wiesbaden. ▪ HA (Hessen Agentur GmbH) (Hrsg.) (2008): Einsatz von Nanotechnologien im Energiesektor. Hessen Agentur GmbH, Wiesbaden. ▪ Heubach, D.; Angerer, G. (2007): INANU: Innovation durch Nanotechnologie in der Umwelttechnik als Schlüssel zur Nachhaltigkeit. [Forschungsbericht FZKA-BWPlus]. Fraunhofer IAO/Fraunhofer ISI, Stuttgart/Karlsruhe. ▪ Kretschmer, T.; Wiemken, U. (Hrsg.) (2006): Grundlagen und militärische Anwendungen der Nanotechnologie. [Technologie, Verteidigung und Sicherheit, Schriftenreihe des Fraunhofer-Instituts für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen]. Report-Verlag, Frankfurt am Main/Bonn. (insbes. Kapitel 3.3:

- MONA (2007): A European roadmap for photonics and nanotechnologies
- MUV BaWü (Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg) (Hrsg.) (2004): Zukunftspotenziale der Mikro- und Nanotechnologie als Schlüsseltechnologie für die Umwelttechnik in Baden-Württemberg. MUV BaWü, Stuttgart.
- Nanomaterial Roadmap 2015 (Steinbeiss-Europa-Zentrum 2005, Steinbeiss-Europa-Zentrum and Forschungszentrum Karlsruhe 2006, Steinbeiss-Europa-Zentrum and FFG 2005 und 2006, Steinbeiss-Europa-Zentrum and Comité Richelieu 2005 und 2006)
- Nasa (2005): Nanotechnology Program Content (Nasa 2005)
- Oakdene Hollins (2007): Enviromentally beneficial nanotechnologies: Barriers and opportunities – A report for the Department for Environment, Food and Rural Affairs, UK.
- Productive Nanosystems. A Technology Roadmap (Battelle Memorial Institute and Foresight Nanotech Institute 2007)
- Roadmap for Nanomaterials (Chemical Industry Vision2020 Technology Partnership 2003)
- Roadmaps at 2015 on Nanotechnology – Application in the Sectors of Materials, Health & Medical Systems, Energy (AIRI/Nanotec IT 2006, Willems & van den Wildenberg 2005, VDI/VDE 2005, The Institute of Nanotechnology 2006)
- Roadmaps for Science: nanoscience + nanotechnologies (Ministry of Research, Science and Technology 2006)
- TAB (Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag) (2004): Nanotechnologie: Bericht des Ausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung (BT Drucksache 15/2713) (insb. Kapitel IV 2.3 und V 5)
- UBA (Hrsg.) (2006): Nanotechnik: Chancen und Risiken für Mensch und Umwelt. Hintergrundpapier, Berlin, Dessau.
- VDI TZ (2007): Nanotechnologien für den Umweltschutz

Konferenzen/Messen

- „Safer Nano 2006“, 6./7. März 2006, Portland, Oregon (USA)
- Nanoforum-Workshop „Nano & the Environment”, 30./31. März 2006, Brüssel (B)
- „Nanotechnology and Life Cycle Assessment“, 2./3. Oktober 2006, Washington DC (USA)
- VCI-Forum Zukunft „Nano – Chancen für nachhaltiges Wachstum“, 25. Oktober

2006, Berlin (D)

- „Safer Nano 2007“, 12./13. März 2007, Eugene, Oregon (USA)
- „Nanotechnology Products and Processes for Environmental Benefit“, 16./17. Mai 2007, London (GB)
- „NanoEurope“, 16.-18. September 2007, St. Gallen (CH)
- „Pollution Prevention through Nanotechnology Conference“, 25./26. September 2007, Arlington, Virginia (USA)
- „NanoSolutions 2007“, Europäische Leitmesse für das Nano-Business, 20.-23. November 2007, Frankfurt (a. M.)
- 4. Nanotechnologieforum Hessen, 22./23. November 2007, Frankfurt (a. M.) (Besuch des Forums: „Sustainability in Nanotechnology: Products of Today and Tomorrow and their likely Societal Implications“)
- „Nanotechnologie für eine nachhaltige Energieversorgung“, Symposium veranstaltet vom Forschungsverbund Sonnenenergie (FVS) sowie den Bundesministerien für Wirtschaft und Technologie (BMWi), für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und für Bildung und Forschung (BMBF), 29./30. November 2007, Berlin

Foren

- www.nanoforum.org – pan-europäisches Forum, das von der EU im Rahmen des 5. Forschungsrahmenprogramms initiiert und gefördert wurde und derzeit vom VDI Technologiezentrum weiter betrieben wird
- www.nanotechproject.org – US-amerikanisches Forum vom Woodrow Wilson International Center for Scholars, dass sich u. a. auch mit Nachhaltigkeitsaspekten von Nanotechnologie befasst
- www.nanoproducts.de – eine kommerzielle Internetdatenbank mit Sitz in Deutschland zur Vermarktung nanotechnologischer Produkte und Technologien

II. Fragebogen für Nano-Unternehmen

Unsere Angaben erfolgen für die Firma/ den Betrieb/ den Betriebsteil: ……

im Bundesland: …… Postleitzahl: ……

Welche Stelle Ihres Hauses bearbeitet diesen Fragebogen?

Abteilung: …… Bearbeiter/in: …… Telefon: ……

Unsere Firma/ unser Betrieb/Betriebsteil zählt dem Schwerpunkt nach zu folgendem Wirtschaftszweig:

……

Zutreffendes bitte ankreuzen (☒) bzw. ausfüllen (Bsp: sonstige: ~~Farben und Lacke~~)!

Teil A: Unsere Aktivitäten im Bereich Nanotechnologie: Anwendungsfelder und Umweltrelevanz

1. Wir sind derzeit im Bereich Nanotechnologie aktiv (Produkte/Verfahren, Dienstleistungen, FuE):

□ nein □ ja falls ja, seit: ……

2. [Falls „nein" bei Frage 1]: Wir planen, zukünftig im Bereich Nanotechnologie aktiv zu werden:

			kurzfristig	mittelfristig	langfristig
□ nein	□ ja	falls ja:	□	□	□

Achtung! ***Falls Sie zwar die Frage 1 mit „nein", jedoch die Frage 2 mit „ja" beantwortet haben sollten, so beantworten Sie bitte alle folgenden Fragen im Hinblick auf Ihre geplanten, zukünftigen Aktivitäten im Bereich Nanotechnologie!***

3. Bezüglich unserer Tätigkeiten im Bereich Nanotechnologie verstehen wir uns als:

□ Hersteller von Nanomaterialien (Partikel, Komposite, Oberflächen u. ä.)
□ Anbieter von Produkten oder Verfahren, in denen Nanotechnologie eine funktionale Rolle spielt
□ Anbieter von Produkten, die mit Hilfe von Nanotechnologie hergestellt werden
□ Hersteller oder Anbieter von analytischen Geräten oder Zubehör
□ Anbieter von Dienstleistungen, und zwar:
……..
□ Zulieferer für eine der zuvor genannten Aktivitäten
□ FuE-Einrichtung
□ sonstiger Akteur, und zwar:
……..

4. Unsere drei bedeutendsten Leistungsangebote bzw. Produkte im Bereich Nanotechnologie sind gegenwärtig (in der Reihenfolge ihrer jeweiligen Bedeutung):

		FuE	Prototyp/ Testlauf	am Markt erhältlich
1.	……	□	□	□
2.	……	□	□	□
3.	……	□	□	□

5. Unsere Nanotechnologie-Leistungen bzw. Nanotechnologie-Produkte sind folgenden Nanotechnologie-Bereichen zuzuordnen:

□ Nano-Materialien
□ Nano-Chemie
□ Nano-Optik
□ Nano-Elektronik
□ Nano-Biotechnologie
□ Nano-Analytik/Nano-Instrumente
□ Nano-Electro-Mechanical-Systems (NEMS)
□ sonstiger Nanotechnologie-Bereich, und zwar:
……..

6. Unsere Nanotechnologie-Leistungen bzw. -Produkte werden in folgenden Anwendungsbereichen eingesetzt:

- □ Chemische Industrie
- □ Pharmazeutische Industrie
- □ Biotechnologie
- □ Materialien/Werkstoffe
- □ Medizin/Life Science
- □ Umwelttechnik
- □ Energietechnik
- □ Elektrotechnik
- □ Informations-/Kommunikations-technik
- □ Automobil-/Fahrzeugbau
- □ Bekleidungs-/Textilindustrie
- □ Optische Technologien
- □ Architektur/Baugewerbe
- □ sonstige:

  ……

7. Unsere Nanotechnologie-Leistungen bzw. Nanotechnologie-Produkte basieren auf folgenden Nanotechnologie-Funktionalitäten:

□ *Verbesserung von Werkstoffeigenschaften*
- □ bessere mechanische Beanspruchbarkeit
- □ Gewichtsreduktion
- □ Volumenreduktion
- □ verbesserte thermische Eigenschaften
- □ verbesserte elektrische Eigenschaften
- □ verbesserte optische Eigenschaften
- □ Substitution toxischer Substanzen
- □ sonstige:……

  ……

□ *Ermöglichung oder Verbesserung katalytischer Prozesse*
- □ durch Additive
- □ durch höhere Oberflächen-Volumen-Verhältnisse
- □ durch neue Materialien/Stoffe
- □ sonstige:……

  ……

□ *Ermöglichung oder Verbesserung von Filterprozessen*
- □ durch Additive
- □ durch höhere Oberflächen-Volumen-Verhältnisse
- □ durch neue Materialien/Stoffe
- □ sonstige:……

  ……

□ *Oberflächenfunktionalisierung*
- □ Kratzfestigkeit
- □ „easy-to-clean“/Lotuseffekt
- □ Korrosionsschutz
- □ Diffusionssperre
- □ nicht reflektierend
- □ flammhemmend
- □ Anti-Fingerprint
- □ anti-statisch
- □ anti-mikrobiell
- □ sonstige: ……

  ……

□ *Ermöglichung oder Verbesserung von Energie-speicherprozessen*
- □ durch Additive
- □ durch höhere Oberflächen-Volumen-Verhältnisse
- □ durch neue Materialien/Stoffe
- □ sonstige:……

  ……

□ *Ermöglichung oder Verbesserung von analytischen Verfahren oder Geräten*
- □ falls möglich, bitte spezifizieren:

  ……

8. Unsere Nanotechnologie-Leistungen bzw. Nanotechnologie-Produkte tragen in folgender Weise zum Umwelt- und Ressourcenschutz bei (im Verhältnis zu ähnlichen, nicht auf Nanotechnologie basierenden Leistungen/Produkten):

Unsere Nanotechnologie-Leistungen und -Produkte führen zu …

	trifft eher zu	trifft teilweise zu	trifft eher nicht zu
... umweltfreundlicher Energiegewinnung.	□	□	□
… Energieeinsparung.	□	□	□
… Materialeinsparung.	□	□	□
… Vermeidung von Emissionen oder Abfall.	□	□	□
… Verminderung von Emissionen oder Abfall.	□	□	□
… Substitution toxischer Substanzen.	□	□	□
… sonstige:……	□	□	□

9. Soweit mit unseren Nanotechnologie-Leistungen bzw. -Produkten positive Umwelt- und Ressourceneffekte verbunden sind, waren diese bei der…

	ausschlaggebend	wichtig	positive Nebeneffekte	eher unwichtig
… Forschung und Entwicklung	□	□	□	□
… Produktion	□	□	□	□
… Vermarktung	□	□	□	□

*10. Unsere Nanotechnologie-Leistungen bzw. Nanotechnologie-Produkte werden in folgenden **umweltrelevanten** Anwendungsbereichen eingesetzt:*

□ *Prozessintegrierter Umweltschutz*
- □ ressourcenschonende Produktionsverfahren (bspw. durch Antihaftbeschichtungen)
- □ emissionsarme Prozesse (bspw. durch Katalysatoren)
- □ schadstoffarme Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe bzw. Substitution toxischer Substanzen
- □ sonstige:……..

□ *Produktintegrierter Umweltschutz*
- □ recyclinggerechte Konstruktion und Werkstoffauswahl
- □ abfall-, schadstoff- und verbrauchsarme Produkte
- □ sonstige:……..

□ *Energiebereich*
- □ Energiegewinnung (bspw. Farbstoffsolarzelle)
- □ Energiespeicherung (bspw. Lithium-Ionen-Batterie)
- □ Energieeffizienz (bspw. OLEDs)
- □ sonstige:……..

□ *Luftreinhaltung*
- □ Abgasreinigung (bspw. PKW-Abgaskatalysatoren)
- □ sonstige:……..

□ *Wasser/Abwasser*
- □ Wasseraufbereitung (bspw. Fe_3O_4-Partikel zur Arsenbeseitigung)
- □ Abwasserbehandlung (bspw. Keramikmembranen, Filtersysteme)
- □ sonstige:……..

□ *Bodensanierung*
- □ Altlastensanierung (bspw. Fe-Partikel zum Abbau von chlorierten organischen Verbindungen)
- □ sonstige:……..

□ *Abfallwirtschaft*
- □ Recycling
- □ Abfallbehandlung, -beseitigung (bspw. hitzebeständige Beschichtungen)
- □ sonstige:……..

□ *Monitoring und Analyse*
- □ Analytik (bspw. Nanosensoren)
- □ Prozessüberwachung (bspw. „Lab-on-a-chip"-Sensorsysteme)
- □ Prozesssteuerung
- □ sonstige:……..

Teil B: Märkte für unsere Nanotechnologie-Leistungen und -Produkte, Angaben zu unserem Unternehmen

11. Unser Umsatz mit Nanotechnologie-Leistungen bzw. Nanotechnologie-Produkten, die mit Hilfe von Nanotechnologien hergestellt wurden, verteilte sich im Jahr 2007 auf Kunden (ggf. geschätzt):

□ aus dem eigenen Bundesland:	.....%	□ aus den USA:	.....%
□ aus dem sonstigen Bundesgebiet:	.....%	□ aus Japan:	.....%
□ aus der EU (ohne D):	.....%	□ aus dem sonstigen Ausland:	.....%

Bitte Länder nennen:....., ……

12. Wir bezogen 2007 die von uns eingesetzten Nanotechnologie-Materialien bzw. Vorprodukte, die mit Hilfe der Nanotechnologie hergestellt werden (in % des Beschaffungswertes, ggf. geschätzt):

□ aus dem eigenen Bundesland:	.....%	□ aus den USA:	.....%
□ aus dem sonstigen Bundesgebiet:	.....%	□ aus Japan:	.....%
□ aus der EU (ohne D):	.....%	□ aus dem sonstigen Ausland:	.....%

Bitte Länder nennen:....., ……

13. Unsere stärksten Konkurrenten im Bereich Nanotechnologie kommen:

□ aus dem eigenen Bundesland	□ aus den USA
□ aus dem sonstigen Bundesgebiet	□ aus Japan
□ aus der EU (ohne D)	□ aus dem sonstigen Ausland:

Bitte Länder nennen:....., ……

14. Die größten Wettbewerbsvorteile unserer Konkurrenten im Bereich Nanotechnologie bestehen in:

- □ größerer Nanotechnologie-Kompetenz
- □ technologisch hochwertigeren Produkten
- □ preisgünstigeren Produkten
- □ besserem Vertrieb
- □ stärkerer internationaler Kompetenz
- □ höherer Innovationsfähigkeit
- □ besserem Zugang zu Finanzierungsmöglichkeiten
- □ besseren öffentlichen Förderungsmöglichkeiten
- □ sonstige: ……

15. Wir betreiben Forschung und Entwicklung im Nanotechnologie-Bereich: □ ja □ nein

Falls ja, im Rahmen unserer FuE im Nanotechnologie-Bereich kooperieren wir mit:

Art von Kooperationspartnern	**konkrete Benennung der Partner**
□ Abnehmern	……
□ Lieferanten	……
□ (Unternehmens)-Netzwerken	……
□ Kompetenzzentren, Technologiezentren	……
□ Hochschulen	……
□ Fachhochschulen	……
□ Außeruniversitären FuE-Einrichtungen	……
□ Technologietransferstellen	……
□ Sonstigen: ……	……

16. Unsere Aktivitäten in Bezug auf Nanotechnologie-Innovationen in den letzten fünf Jahren (2003-2007) lassen sich messen an:

	[*Anzahl*]
□ Patentanmeldungen beim Deutschen Patentamt	.....
□ Patentanmeldungen beim Europäischen Patentamt	.....
□ Patentanmeldungen bei sonstigen nationalen Patentämtern (Ausland)	.....
□ Gebrauchsmusteranmeldungen	.....
□ Vergebenen Lizenzen	.....
□ Erworbenen Lizenzen	…….
□ Sonstiges (bspw. wissenschaftliche Publikationen/Vorträge) ……..	……..

17. Unser Unternehmen hatte 2007 (ggf. geschätzt):

	[*insgesamt*]	**[*davon im Nanotechnologie-Bereich*]**
□ Beschäftigte	..... (Anzahl)	.....%
□ Umsatz (o. MwSt.)	..... Mio. Euro	.....%
□ Auslandsumsatz (o. MwSt.)	..... Mio. Euro	.....%
□ Aufwendungen für FuE	..... Mio. Euro	.....%

18. Unserer Aktivitäten im Nanotechnologie-Bereich werden im Jahresdurchschnitt 2008-2010 im Vergleich zu 2007

	zunehmen	**eher gleich bleiben**	**eher abnehmen**
beim Umsatz	□	□	□
bei den Beschäftigten	□	□	□
bei den FuE-Aufwendungen	□	□	□

Vielen Dank für Ihre Mithilfe!

III. Fragebogen für Unternehmen des Umwelttechnikmarktes

Unsere Angaben erfolgen für die Firma/den Betrieb/den Betriebsteil:

……

in: …….. Postleitzahl: ……

Welche Stelle Ihres Hauses bearbeitet diesen Fragebogen?

Abteilung: …… Bearbeiter/in: …….. Telefon: ……

Unsere Firma/unser Betrieb/unser Betriebsteil zählt dem Schwerpunkt nach zu folgendem Wirtschaftszweig:

……
….

Zutreffendes bitte ankreuzen (☒) bzw. ausfüllen (Bsp: sonstige: Analytik)!

Teil A: Angaben zu unseren Umweltmarkt-Aktivitäten und zu unserem Betrieb

1. Wir sind derzeit auf dem Umweltmarkt aktiv (Produkte/Verfahren, Dienstleistungen, FuE):

□ ja falls ja, seit: ……..

□ nein falls nein: zurück! Bitte schicken Sie den Fragebogen aus statistischen Gründen dennoch

2. Wir haben uns bei der amtlichen Erhebung von Umsätzen bei Waren, Bau- und Dienstleistungen für den Umweltschutz des Jahres 2006 in Nordrhein-Westfalen beteiligt:

□ ja □ nein □ nicht bekannt

3. Wir sind in folgenden Segmenten des Umweltmarktes aktiv:

Nachsorgender Umweltschutz

- □ Luftreinhaltung
- □ Abwasserbehandlung
- □ Abfallwirtschaft
- □ Bodensanierung
- □ Lärmbekämpfung
- □ sonstige: ……..

Integrierter Umweltschutz

- □ Prozessintegrierter Umweltschutz (bspw. Wassereinsparung, -wiederverwendung)
- □ Produktintegrierter Umweltschutz
- □ Messen/Steuern/Regeln
- □ Umweltanalytik
- □ sonstige: ……..

Ressourcenmanagement

- □ Wasserversorgung
- □ Erneuerbare Energien
- □ Rationelle Energieverwendung
- □ Energiespeicherung
- □ sonstige: ……

4. Unser Angebot in den unter 3. angegeben Segmenten umfasst:

	Überwiegend	in geringem Umfang
□ komplette Anlagen	□	□
□ Anlagenteile, Zubehör	□	□
□ Roh-, Hilfs- oder Betriebsstoffe	□	□
□ Verfahrenstechnik	□	□
□ Engineering, Planung, Projektmanagement	□	□
□ Bauleistungen	□	□
□ Betreiberdienstleistungen	□	□
□ sonstige Dienstleistungen: ……	□	□
□ sonstige Leistungen: ……	□	□

5. Wir betreiben eigenständige FuE zur (Weiter-)Entwicklung unseres Angebotes:

□ ja □ nein

6. Wir informieren uns über technologische Entwicklungen in unserem Marktbereich durch:

Art von Kooperationspartnern/Informationsquellen	konkrete Benennung der Kooperationspartner/Informationsquellen	
	Umwelttechnik allgemein	***Nanotechnologie***
□ Abnehmer	……	……
□ Lieferanten	……	……
□ (Unternehmens)-Netzwerke	……	……
□ Kompetenzzentren, Technologiezentren	……	……
□ Hochschulen	……	……
□ Fachhochschulen	……	……
□ Außeruniversitäre FuE-Einrichtungen	……	……
□ Technologietransferstellen	……	……
□ Fachzeitschriften	……	……
□ Messen/Veranstaltungen	……	……
□ Sonstiges: ……	……	……

7. Unser Unternehmen hatte 2007 schätzungsweise:

	insgesamt	***davon im Umweltbereich***
□ Beschäftigte (Ende September 2007)	..... (Anzahl)	.....%
□ Umsatz (o. MwSt.)	..... Mio. Euro	.....%
□ Auslandsumsatz (o. MwSt.)	..... Mio. Euro	.....%
□ Aufwendungen für FuE	..... Mio. Euro	.....%

Teil B: Angaben zur Bedeutung von Nanotechnologie für unsere Umweltmarkt-Aktivitäten (laut Angaben in Teil A)

8. Wir beschäftigen uns derzeit mit Nanotechnologie (Produkte/Verfahren, Dienstleistungen, FuE u. a.):

□ ja □ falls ja, seit: ……
□ nein

Falls nein, …

□ Nanotechnologie hat in unserem Marktsegment gegenwärtig keine Bedeutung.

□ Wir planen, im umweltrelevanten Nanotechnologie-Bereich aktiv zu werden,

und zwar □ kurzfristig □ mittelfristig □ langfristig

und mit folgenden Aktivitäten: ……

……

□ wir beobachten aufmerksam die weitere Entwicklung.

Falls ja:

*Unsere **drei bedeutendsten Leistungsangebote** (Produkte, Verfahren, Dienstleistungen) im Umweltmarkt-Bereich **unter Einsatz der Nanotechnologie** sind gegenwärtig (in der Reihenfolge ihrer jeweiligen Bedeutung):*

	FuE	**Prototyp/ Testlauf**	**am Markt erhältlich**
1. ……	□	□	□
2. ……	□	□	□
3. ……	□	□	□

9. Wir erwarten, dass Nanotechnologien nennenswerten Einfluss auf unser Marktsegment haben werden:

□ ja □ bereits heute □ in naher Zukunft □ mittel- bis langfristig
□ nein

*10. Unsere unter 8. genannten Umwelttechnikprodukte bzw. -verfahren oder -dienstleistungen **unter Einsatz der Nanotechnologie** werden in folgenden konkreten Umwelt-Bereichen eingesetzt:*

	bereits auf dem Markt	Prototyp/ Testlauf	in Forschung & Entwicklung befindlich	in absehbarer Zukunft von wirtschaftlicher Bedeutung
□ *Wasser/Abwasser*				
□ Wasseraufbereitung (bspw. Fe_3O_4-Partikel zur Arsenbeseitigung)	□	□	□	□
□ Abwasserbehandlung (bspw. Keramikmembrane, Filtersysteme)	□	□	□	□
□ sonstige:……	□	□	□	□
□ *Bodensanierung*				
□ Altlastensanierung (bspw. Fe-Partikel zum Abbau von chlorierten organischen Verbindungen)	□	□	□	□
□ sonstige:……	□	□	□	□
□ *Luftreinhaltung*				
□ Abgasreinigung (bspw. PKW-Abgaskatalysatoren)	□	□	□	□
□ sonstige:……	□	□	□	□
□ *Abfallwirtschaft*				
□ Recycling	□	□	□	□
□ Abfallbehandlung, -beseitigung (bspw. hitzebeständige Beschichtungen)	□	□	□	□
□ sonstige:……	□	□	□	□
□ *Monitoring und Analyse*				
□ Analytik (bspw. Nanosensoren)	□	□	□	□
□ Mess-/Steuer-/Regeltechnik (MSR)	□	□	□	□
□ sonstige:……	□	□	□	□
□ *Prozessintegrierter Umweltschutz*				
□ ressourcenschonende Produktionsverfahren (bspw. durch Antihaftbeschichtungen)	□	□	□	□
□ emissionsarme Prozesse (bspw. durch Katalysatoren)	□	□	□	□
□ schadstoffarme Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe bzw. Substitution toxischer Substanzen	□	□	□	□
□ sonstige:……	□	□	□	□
□ *Produktintegrierter Umweltschutz*				
□ recyclinggerechte Konstruktion und Werkstoffauswahl	□	□	□	□
□ abfall-, schadstoff- und verbrauchsarme Produkte	□	□	□	□
□ sonstige:……	□	□	□	□
□ *Energiebereich*				
□ Energiegewinnung (bspw. Farbstoffsolarzelle)	□	□	□	□
□ Energiespeicherung (bspw. Lithium-Ionen-Batterie)	□	□	□	□
□ Energieeffizienz (bspw. OLEDs)	□	□	□	□
□ sonstige:……	□	□	□	□

11. Unser Umweltmarktangebot unter Einsatz der Nanotechnologie bedeutet für uns …

		trifft zu	trifft teilweise zu	trifft nicht zu
...	eine Verbesserung unserer Wettbewerbsfähigkeit im Bereich unserer Kernkompetenzen.	□	□	□
...	eine Stärkung in einem Rand- oder Nischenbereich.	□	□	□
...	eine Diversifikation in neue Märkte.	□	□	□
...	ein interessantes Experimentierfeld.	□	□	□
…	sonstiges: ……..	□	□	□

……..

12. Die Nutzung unserer Umweltmarktangebote unter Einsatz der Nanotechnologie rechnet sich bei unseren Kunden schätzungsweise:

□ bereits gegenwärtig
□ in bis zu 3 Jahren
□ in 3 bis 5 Jahren
□ in mehr als fünf Jahren

13. Wir setzen Nanotechnologie statt herkömmlicher Technik ein, um …:

□ Kosten zu senken.
□ die Leistungsfähigkeit unserer Produkte, Verfahren oder Dienstleistungen zu steigern.
□ die Umweltperformance unserer Produkte, Verfahren oder Dienstleistungen zu verbessern.

□ sonstiges: ……

14. Unsere (Dienst-)Leistungen bzw. Produkte unter Einsatz der Nanotechnologie tragen in folgender Weise zum Umwelt- und Ressourcenschutz bei (im Verhältnis zu ähnlichen, nicht auf Nanotechnologie basierenden Leistungen/Produkten):

Unsere (Dienst-)Leistungen und Produkte unter Einsatz von Nanotechnologie führen zu …

		trifft zu	trifft teilweise zu	trifft nicht zu
□	umweltfreundlicher Energiegewinnung.	□	□	□
□	Energieeinsparung.	□	□	□
□	Materialeinsparung.	□	□	□
□	Vermeidung von Emissionen oder Abfall.	□	□	□
□	Verminderung von Emissionen oder Abfall.	□	□	□
□	Substitution toxischer Substanzen.	□	□	□
□	sonstige:……	□	□	□

15. *Die Ausschöpfung unserer Anwendungs- und Wachstumspotenziale im Bereich der Anwendung der Nanotechnologie wird derzeit behindert durch …*

		trifft zu	trifft teilweise zu	trifft nicht zu
...	zu hohen FuE-Aufwand.	□	□	□
...	fehlendes personelles Know-How.	□	□	□
...	Finanzierungsprobleme.	□	□	□
...	fehlende Marktinformationen.	□	□	□
…	Mangel an kompetenten Kooperationspartnern.	□	□	□
…	fehlende Akzeptanz bei den Abnehmern.	□	□	□
…	einschränkende Regulierungen.	□	□	□
….	unzureichende staatliche Förderung.	□	□	□
....	sonstiges: …….	□	□	□

……..

16. *Folgende Unterstützungsmaßnahmen würden wir für sinnvoll halten:*

		Sehr wichtig	Wichtig	Weniger wichtig
□	Einbindung in entsprechende Kompetenznetzwerke	□	□	□
□	Informationsbereitstellung	□	□	□
□	Clusterinitiativen	□	□	□
□	Förderung von FuE	□	□	□
□	sonstige:…….	□	□	□

……

Vielen Dank für Ihre Mithilfe!

IV. Leitfaden der Unternehmensinterviews

Unternehmen:

Adresse:

Interviewpartner:

1. Angaben zum Unternehmen

Gründungsjahr:

Umsätze:

Beschäftigtenzahlen:

Standorte:

Zuständigkeit des Interviewpartners:

Branche:

2. Angaben zu den Tätigkeitsfeldern

- Welche Produkte/Verfahren/DL werden von der [Firma] angeboten und welche Bedeutung haben sie für das Unternehmen? *{Was ist der relevante Markt}*

- Welches sind die wesentlichen Wettbewerber?

  - woher kommen Wettbewerber

- Vor- und Nachteile der Wettbewerber

  - Wer sind die Abnehmer dieser Produkte/Verfahren/DL und wer die Anwender?

- Branchen
- Produkte
- kmU oder Großunternehmen
- Nischenanwendungen oder potenzieller Massenmarkt
- Absatzgebiete

  - Auf welche Zulieferer greift [Firma] zurück?

- Wertschöpfungskette
- GroßU, kmU
- Regionale Herkunft der Zulieferungen, ggf in %

3. FuE

- Betreibt, und wenn ja in welchen Bereichen, [Firma] FuE?

- Forschung
- Entwicklung
- FuE-Beschäftigte
- Patente etc.

- Gibt es bei [Firma] wesentliche Neuerungen/Innovationen in jüngerer Zeit?

- Gibt es bottlenecks der technischen Entwicklung im Marktbereich Ihres Unternehmens?

- Welche Innovationen sind künftig zu erwarten, die Einfluss auf die Absatzchancen von [Firma] haben könnten?

    - sind Sie bei diesen Innovationen mit „dabei“

- Woher beziehen Sie Informationen über neue technologische Entwicklungen in ihrem Markt?

4. Nanotechnologie

- Wie definieren Sie Nanotechnologie?

- Woher haben Sie Ihre Informationen über die Entwicklungen der Nanotechnologie?

- Welche Rolle können Nanotechnologien in Ihrem Tätigkeitsfeld spielen?

- gegenwärtig
- perspektivisch

- Auf welche Zulieferer greift [Firma] zurück?

- Wertschöpfungskette

- Wo kommt in welcher Art und Weise Nanotechnologie zum Einsatz?

- Welchen Entwicklungsstand haben die Produkte/Verfahren/DL, bei denen Nanotechnologie zum Einsatz kommt?

- Welche Vorteile/Verbesserungen werden durch Nanotechnologie erreicht, die ohne Nanotechnologie so nicht machbar wären?

- Was sind die Treiber hinter der Entwicklung nanotechnologischer Produkte/Verfahren/DL?

- technologisch
- ökonomisch
- politisch
- gesellschaftlich
- spielen Umweltaspekte eine Rolle?

- Was sind die Hemmnisse bei der Entwicklung bzw. dem Einsatz nanotechnologischer Produkte/Verfahren/DL?

- technologisch (eigene FuE, kein Zugang zur FuE) *{vgl. Frage 5; Unterschied nano Zugang FuE-Zugang?}*
- ökonomisch (hat [Firma] genügend Ressourcen zur Teilnahme)
- politisch
- gesellschaftlich
- spielen Umweltaspekte eine Rolle?

- Inwiefern unterscheiden sich nanotechnologische Entwicklungen von anderen technologischen Entwicklungen? *{Betrachtung als evolutionäre Entwicklung}*

- ganz neues know-how
- revolutionäre Herausforderungen/Ergebnisse
- komplett neue Produktionsverfahren
- schwierige Handhabbarkeit

- Welche Hemmnisse beim Einsatz und bei der Entwicklung von Nano gibt es?

- Wie bewerten sie die Marktentwicklung der nanotechnologischen Produkte/Verfahren/DL der [Firma]?

- im Vergleich zu anderen Produkten/Verfahren/Dienstleistungen der [Firma]

- Wie gestaltet sich die Konkurrenz-Situation hinsichtlich Nano?

- andere Unternehmen
- andere Branchen
- andere Regionen

- Wie ist das Unternehmen in übergeordnete Strukturen eingebunden? *{Vgl. Nano – nicht Nano}*

- Kooperationen (Unternehmen, Universitäten, andere Forschungseinrichtungen)
- Netzwerke, Cluster, Verbände
- Projekte (öffentliche Förderung)

- Wie kommt das Unternehmen zu neuen Entwicklungen, insbesondere die Nanotechnologie betreffend? *{Vgl. Nano – nicht Nano}*

- Kundenanforderungen
- Zulieferer
- Kooperationen
- Messen/Konferenzen
- Universitäten
- außeruniversitäre Forschung

- Wie schätzen Sie die Fördersituation ein?

- Was könnte/müsste verbessert werden?

- Was müsste sich generell ändern, um neuen Technologien schneller zum Durchbruch zu verhelfen?

- Wie schätzen Sie die Nachhaltigkeitseffekte der nanotechnologischen Produkte/Verfahren/Dl von [Firma] ein?

- positive Effekte (Chancen)
- negative Effekte (Risiken)

- für [Firma]
- für Abnehmer

E. Perspektiven

- Welche Perspektiven sehen Sie für ihr Unternehmen?

- generell (Beschäftigung/Umsätze)
- nanobeeinflusste Produkte/Verfahren/DL (kurz/mittel/lang)

V. Wachstumsraten und Marktvolumina im Bereich Nanotechnologie

Nanotechnologische Produkte	**Jährliches Weltmarktvolumen (Bezugsjahr)**
Nanomaterialien	
Metalloxid-/Metall-Nanopartikel	900 Mio. USD (2005)[1]
Nano-Kieselsäure	800 Mio. EUR (2003)[2]
Nano-Schichtsilikate	25 Mio. EUR (2006)[3]
CNT	145 Mio. EUR (2005)[4], 1,2 Mrd. EUR (2006)[5]
Carbon Black	3 Mrd. USD (2002)[6], 8 Mrd. USD (2006)[5]
Polymerdispersionen	15 Mrd. EUR (2002)[7]
Organische Halbleiter	500 Mio. USD (2005)[10]
Dendrimere	5-15 Mio. EUR (2006)[3]
Mikronisierte Wirkstoffe	1 Mrd. EUR (2002)[7]
Zeolithe	2,6 Mrd. USD (2006)[5]
Aerogele	10 Mrd. USD (2005)[8]
Polymere Nanokomposite	0,3 Mrd. USD (2006)[3], 1,1 Mrd. USD[5] 1,5 Mrd. EUR (2009)[9]
Nanoschichten	
Hartschichten	0,5-1 Mrd. EUR (2006)[12]
Tribologische Schichten	1-5 Mrd. EUR (2006)[13]
Antifog-Schichten	50-250 Mio. EUR (2006)[12]
Werkzeugbeschichtungen	50-250 Mio. EUR (2006)[12]
Korrosionsschutzschichten	1-5 Mrd. EUR (2006)[13]
Elektronik auf Basis funktionaler Nanoschichten, z. B. GMR-HDD	> 5 Mrd. EUR (2006)[13]
Nanobiotechnologie	
Biophysikalische Analytik (z. B. Rastersondentechniken)	181 Mio. USD (2002), 745 Mio. USD (2007)[14]

Nanotechnologische Produkte	**Jährliches Weltmarktvolumen (Bezugsjahr)**
Diagnostik und Analytik (z. B. Nanopartikel für Biochips)	80 Mio. USD (2002), 391 Mio. USD (2007)[14]
Wirkstoffe und Drug Delivery	8 Mio. USD (2002), 33 Mio. USD (2007)[14]
Tissue Engineering	0 Mio. USD (2002), 1,5 Mio. USD (2007)[14]
Nanooptik	
Lithografieoptiken	0,5-1 Mrd. EUR (2006)[12]
Ultrapräzisionsoptik	1-5 Mrd. EUR (2006)[13]
LED davon weiße LED	1-5 Mrd. EUR (2006)[13] 10-50 Mio. EUR (2006)[13]
Diodenlaser davon Hochleistungs-Diodenlaser	1-5 Mrd. EUR (2006)[13] 50-250 Mio. EUR (2006)[12]
Nanoelektronik	
CMOS-Elektronik	<100 nm 20 Mrd. USD (2006)[18]
GMR-HDD	26,6 Mrd. USD (2006)[5]
MRAM	30-50 Mrd. USD (2010)[19], (ggf. Ersatz fürDRAM)
Nanotools/Nanoanalytik	
Lithografie-Stepper	7,7 Mrd. USD (2006)[15]
Elektronenstrahlithografie	0,9 Mrd. USD (2006)[15]
Sputter-Verfahren	2,1 Mrd. USD (2006)[15]
Ionen-Implantation	1,4 Mrd. USD (2006)[16]
MBE-Verfahren	1,1 Mrd. USD (2006)[15]
CVD-Equipment	5,7 Mrd. USD (2006)[15]
Rastersondenmikroskopie	200 Mio. USD (2002), 800 Mio. USD (2007)[17]
SEM	0,6 Mrd. USD (2006)[15]
Dünnfilm-Messtechnik	0,5 Mrd. USD (2006)[15]
Ultrapräz. Oberflächenbearbeitung	250-500 Mio. EUR (2006)[12]
Nano-Positionierung	0,5 -1 Mrd. EUR (2006)[12]

Nanotechnologische Produkte	Jährliches Weltmarktvolumen (Bezugsjahr)
Nano-Partikelzähler	10-50 Mio. EUR (2006)[12]
Nano-Robotik	10-50 Mio. EUR (2006)[12]

Quellen: [1] BCC, 2002, [2] Wacker Silicones, 2003, [3] SRI, 2002, [4] Mitsubishi Research Institute, 2002, [5] Fecht et al., 2003, [6] Reuters, 2002, [7] BASF/Distler, 2002, [8] Aspen Systems, 2001, [9] Stevenson, 2003, [10] Frost&Sullivan, 2002, [11] Frost&Sullivan, 2003, [12] Unternehmensbefragung (durch ZTC) [Anm. d. A.], [13] VDI TZ-Experten-Workshop, [14] BCC, 2003, [15] VDI Nachrichten, 2003, [16] BCC, 2002b, [17] Small Times, 2002, [18] eigene Abschätzung (vom ZTC) [Anm. d. A.], [19] Small Times, 2003

Aspen Systems (2001): Aspen Systems takes a giant step toward commercialization of Aerogels. Pressemitteilung, zitiert in ZTC (2004)

BCC (2003): Biomedical Applications of nanoscale devices: Commercial Opportunities, Conference proceedings, Nanotech and Biotech convergence, BCC, Stanford, zitiert in ZTC (2004)

BASF/Distler (2002): Nanoteilchen in Megatonnen: Vielfältige Anwendungen für Polymerdispersionen. BASF-Presseinformation, zitiert in ZTC (2004)

BCC (2004): Global Nanotechnology Market to Reach $29 Billion by 2008. Pressemitteilung vom 03.02.2004, zitiert in ZTC (2004)

Fecht, H.-J.; Ilgner, J.; Köhler, T.; Mietke, S.; Werner, M. (2003): Nanotechnology Market and Company Report – Finding Hidden Pearls. WMtech Center of Excellence Micro and Nanomaterials, Universität Ulm, zitiert in ZTC (2004)

Frost&Sullivan: Carillo, D. (2003): Nanosensors' Niche in Nanotechnology. Cepmagazin-online; http://www.cepmagazine.org/pdf/110333.pdf, zitiert in ZTC (2004)

Mitsubishi Research Institute (2002), cited by Kamei, S.: Promoting Japanesestyle Nanotechnology Enterprises, zitiert in ZTC (2004)

Reuters (2002): Degussa investigations into alleged price-fixing in the carbon black industry. Pressemitteilung, zitiert in ZTC (2004)

Small Times (2002): Veeco came, saw, acquired majority of the AFM Market. www.smalltimes.com, zitiert in ZTC (2004)

SRI (2002): Nanoscale chemicals and materials: An overview on technology, products and applications. SRI-International Report, Speciality Chemicals: Nanotechnology, zitiert in ZTC (2004)

Stevenson, R. (2003): OLEDs set to glow. e-zine chemSoc.
www.chemsoc.org/chembytes/ezine/2003/stevenson_jan03.htm, zitiert in ZTC (2004)

VDI-Nachrichten (2003), Ausgabe vom 28. März 2003, zitiert in ZTC (2004)

VDI-TZ-Experten-Workshop (2003), zitiert in ZTC (2004)

Wacker Silicones (2003): News (www.wacker.com), zitiert in ZTC (2004)

VI. Leitfaden der Interviews mit VertreterInnen von Netzwerken, Clustern und Technologiezentren sowie universitärer und außeruniversitärer Forschung und Entwicklung

Leitfaden F+E-Infrastrukturen Nanotechnologien: ClustermanagerInnen

Ursula Ammon, sfs Dortmund, 13.12.07

Interviewpartner/Cluster/Institution:

- ……
- ……
- ……

InterviewerIn……

Tag	Uhrzeit	Dauer:

Ort des Interviews: ……

Kontaktaufnahme durch/Empfehlung von: ……

Ggf. weitere Informationen: ……

A. Fragen zum Cluster und zur Person/den Personen:

1. **Welches Cluster/Netzwerk?**
2. **Welche Funktion im Cluster haben Sie?**
3. **Üben Sie diese Funktion in VZ oder TZ/nebenberuflich (Stundenanteil) aus?**
4. **Wenn TZ/nebenberuflich, welches ist Ihre Hauptbeschäftigung?**
5. **Seit wann sind Sie in dieser Cluster-Funktion?**
6. **Wie alt sind Sie?**
7. **Berufliche Funktionen davor?**
8. **Fachlicher Hintergrund:**
9. **Typ/Art des Clusters:**

Forschungskooperation/Verbundforschung

F+E-Institut mit privatwirtschaftlicher Verwertungsgesellschaft/Technikum

Gründungszentrum

Technologiezentrum/Industriepark

Anderes:

10. **Funktion(en) des Clusters:**

Grundlagenforschung

Anwendungsorientierte F+E

Technologietransfer in marktfähige Produkte

Stimulierung von Neugründungen

Förderung der Kooperation von F+E-Institutionen mit Endanwendern

Ansiedlung von neuen Unternehmen

Andere:

11. Seit wann besteht das Cluster?

12. Wer und was gab den Impuls zur Gründung des Clusters?

13. Derzeitige Anzahl und Zusammensetzung der Mitglieder?

14. Ist das Cluster offen für neue Mitglieder? **Ja** ☐ **Nein** ☐

15. Ist die Zugehörigkeit zum Cluster begrenzt? **Nein** ☐ **Ja, durch ……**

16. Hat sich die Zusammensetzung der Mitglieder verändert und wenn ja, wie?

17. Wie finanziert sich das Cluster? Investitionen/Betriebskosten

20. Wie hoch ist der Anteil der öffentlichen Förderung und wer fördert? Investitionen/Betriebskosten

B. Fragen zum Cluster-Management

1. Wie ist das Cluster-Management organisiert? Welche Aufgaben hat das Cluster-Management?

2. Welche personellen Ressourcen stehen zur Verfügung und wie werden sie finanziert?

3. Seit wann gibt es ein hauptberufliches Management?

4. Welche Dienstleistungen für die Mitglieder bieten Sie?

5. Wie kommunizieren Sie mit den Mitgliedern?

6. Welchen Nutzen haben die Mitglieder durch das Cluster?

7. Welches sind die Motive der Mitglieder, sich am Cluster zu beteiligen?

8. Welches sind gemeinsame Interessen der Mitglieder?

9. Was tun die Mitglieder für das Cluster?

10. Wer sind die Promotoren, Anker-Akteure etc. im Cluster?

11. Welche Beziehungen haben die Cluster-Mitglieder untereinander?

12. Wie ist das Verhältnis der Intensität der Beziehungen der Cluster-Mitglieder untereinander zu den Beziehungen zu Akteuren außerhalb des Clusters?

13. Worauf sind die „Außen-Beziehungen“ der Mitglieder hauptsächlich ausgerichtet?

a. Vertikal/orientiert an der Wertschöpfungskette ☐

b. Horizontal, z.B. anderer F+E-Partner/Disziplin ☐

c. Auf Akteure innerhalb von NRW ☐

d. Auf Akteure außerhalb NRW ☐

e. Welche?.....

14. Welches sind typische Kooperationsmuster?

15. Welches sind wichtige Stakeholder für das Cluster?

16. Wie beziehen Sie diese Stakeholder in Ihre Arbeit ein?

17. Wie erreicht das Cluster seine Ziele?

18. Worin sehen Sie die Potenziale, worin die Grenzen Ihres Clusters?

C. Fragen zu den Nano-Aktivitäten des Clusters bzw. der Cluster-Mitglieder

1. Welchen Nanotech-Bereichen sind die Aktivitäten Ihres Clusters zuzuordnen?

- ☐ Nano-Materialien
- ☐ Nano-Chemie
- ☐ Nano-Optik
- ☐ Nano-Elektronik
- ☐ Nano-Biotechnologie
- ☐ Nano-Analytik
- ☐ Nano-Electro-Mechanical-Systems (NEMS)
- ☐ sonstiger NT-Bereich, und zwar

1a. Wie hoch ist der Anteil der Nano-Aktivitäten an den Aktivitäten Ihres Clusters? ca. ☐

2. Wie sind diese Nano-Aktivitäten gewichtet und welche thematischen Schwerpunkte existieren innerhalb der einzelnen Nano-Aktivitäten?

3. Auf welche Nanotech-Funktionalitäten sind Ihre Leistungen bzw. Aktivitäten ausgerichtet?

☐ Verbesserung von Werkstoffeigenschaften

- ☐ bessere mechanische Beanspruchbarkeit
- ☐ Gewichtsreduktion
- ☐ Volumenreduktion
- ☐ verbesserte thermische Eigenschaften
- ☐ verbesserte elektrische Eigenschaften
- ☐ verbesserte optische Eigenschaften
- ☐ Substitution toxischer Substanzen
- ☐ sonstige:……

☐ Ermöglichung oder Verbesserung katalytischer Prozesse

- ☐ durch Additive
- ☐ durch höhere Oberflächen-Volumen-Verhältnisse
- ☐ durch neue Materialien/Stoffe
- ☐ sonstige……

☐ Oberflächenfunktionalisierung

- ☐ Kratzfestigkeit
- ☐ easy to clean/Lotuseffekt
- ☐ Korrosionsschutz
- ☐ Diffusionssperre
- ☐ nicht reflektierend
- ☐ flammhemmend
- ☐ Anti-Fingerprint
- ☐ anti-statisch
- ☐ anti-mikrobiell
- ☐ sonstige……

☐ Ermöglichung oder Verbesserung von Energiespeicherprozessen

- ☐ durch Additive
- ☐ durch höhere Oberflächen-Volumen-Verhältnisse
- ☐ durch neue Materialien/Stoffe
- ☐ sonstige……

☐ Ermöglichung oder Verbesserung von Filterprozessen

- ☐ durch Additive
- ☐ durch höhere Oberflächen-Volumen-Verhältnisse
- ☐ durch neue Materialien/Stoffe
- ☐ sonstige……

4. In welchen Anwendungsbereichen können Ihre Nanotech-Forschungen und -Entwicklungen eingesetzt werden?

☐	Chemische Industrie	☐	Umwelttechnik	☐	Bekleidungs-/Textilindustrie
☐	Pharmazeutische Industrie	☐	Energietechnik	☐	Optische Technologien
☐	Biotechnologie	☐	Elektrotechnik	☐	Architektur/Bauwirtschaft
☐	Materialien/Werkstoffe	☐	Informations/Kommunikationstechnik	☐	Bekleidungs-/Textilindustrie
☐	Medizin/Life Science	☐	Automobil-/Fahrzeugbau	☐	sonstige: ……

4. Gibt es schon Produkte aus Ihrer F+E auf dem Markt? Ja ☐ Nein ☐

Wenn ja, welche?

Für welche Kunden?

5. Wann erwarten Sie a) erste Produktanwendungen, b) Endprodukte auf dem Markt?

a) in 2 Jahren ☐ in 5 Jahren ☐ in 10 Jahren ☐ in mehr als 10 Jahren ☐
b) in 2 Jahren ☐ in 5 Jahren ☐ in 10 Jahren ☐ in mehr als 10 Jahren ☐

6. Wie verstehen sich die Mitglieder Ihres Clusters im Bereich Nanotech?

- ☐ Hersteller von Nanomaterialien (Partikel, Komposite, Oberflächen u.ä.)
- ☐ Anbieter von Produkten, in denen NT eine funktionale Rolle spielen
- ☐ Anbieter von Produkten, die mit Hilfe von NAT hergestellt werden
- ☐ Hersteller oder Anbieter von analytischen Geräten oder Zubehör
- ☐ FuE-Einrichtung
- ☐ Anbieter von Dienstleistungen (Analytik)
- ☐ Zulieferer für eine der zuvor genannten Aktivitäten
- ☐ sonstiger Akteur, und zwar ……

7. Wer sind die Promotoren, Anker-Akteure, KoordinatorInnen etc. in den Nanotech-Bereichen/-Verbünden Ihres Clusters?

8. Welches sind typische Kooperationsmuster in den Nanotech-Verbünden Ihres Clusters?

9. Wie sehen Sie die Position Ihres Nanotech-Clusters im Wettbewerb der Nanotech-Cluster?

10. Und woran messen Sie das?

D: Fragen zu den umweltbezogenen Nano-Aktivitäten des Clusters bzw. der Cluster-Mitglieder

1. Welche Umwelteffekte der Nanotech-Aktivitäten Ihres Clusters sind bekannt? Welche Umwelteffekte können erwartet werden?

2. In welcher Weise werden die Nanotech-F+E Ihres Clusters zum Umwelt- und Ressourcenschutz beitragen?

	trifft zu	trifft teilweise zu	trifft nicht zu
o umweltfreundliche Energiegewinnung	☐	☐	☐
o Energieeinsparung	☐	☐	☐
o Materialeinsparung	☐	☐	☐
o Vermeidung von Emissionen oder Abfall	☐	☐	☐
o Verminderung von Emissionen oder Abfall	☐	☐	☐
o Substitution toxischer Substanzen	☐	☐	☐

o Sonstige……

3. In welchen der folgenden umweltrelevanten Anwendungsbereichen werden die Nanotech-F+E Ihres Clusters eingesetzt werden können?

☐ Prozessintegrierter Umweltschutz
- ☐ ressourcenschonende Produktionsverfahren (bspw. durch Antihaftbeschichtungen)
- ☐ emissionsarme Prozesse (bspw. durch Katalysatoren)
- ☐ schadstoffarme Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe bzw. Substitution toxischer Substanzen
- ☐ sonstige……

☐ Produktintegrierter Umweltschutz
- ☐ recyclinggerechte Konstruktion und Werkstoffauswahl
- ☐ abfall-schadstoff-und verbrauchsarme Produkte
- ☐ sonstige……

☐ Energiebereich
- ☐ Energiegewinnung (bspw. Farbstoffsolarzelle)
- ☐ Energiespeicherung (bspw. Lithium-Ionen-Batterie)
- ☐ Energieeffizienz (bspw. OLEDs)
- ☐ sonstige……

☐ Luftreinhaltung
- ☐ Abgasreinigung (bspw. PKW-Abgaskatalsatoren)
- ☐ sonstige……

^

☐ Wasser/Abwasser
- ☐ Wasseraufbereitung (bspw. Fe_3O_4 Partikel zur Arsenbeseitigung) (bspw.
- ☐ Abwasserbehandlung (bspw Keramikmembrane, Filtersysteme)
- ☐ sonstige……..

☐ Bodensanierung
- ☐ Altlastensanierung (bspw. Fe-Partikel zum Abbau von chlorierten organischen Verbindungen)
- ☐ sonstige……

☐ Abfallwirtschaft
- ☐ Recycling
- ☐ Abfallbehandlung, -beseitigung (bspw. hitzebeständige Beschichtungen)
- ☐ sonstige……

☐ Monitoring und Analyse
- ☐ Analytik (Nanosensoren)
- ☐ Prozessüberwachung (Lab-on-a-chip-Sensorsysteme)
- ☐ Prozesssteuerung
- ☐ sonstige……

4. Welche Projekte wurden bzw. werden in Ihrem Cluster durchgeführt, die einen ausdrücklichen Bezug zum Umwelt- und/oder Ressourcenschutz haben?

5. Sind die umweltbezogenen Chancen ein treibendes Motive für die Nanotech-F+E Ihrer Cluster-Mitglieder?

Nein ☐ Ja ☐, insbesondere im Hinblick auf……

6. Was sind I.E. nach die Gründe für das Fehlen/die Vielzahl von Nanotech-Entwicklungen/-Anwendungen für den Umwelt-schutz/die Umwelttechnik?

E: Fragen zu Infrastrukturen und Förderprogrammen zu Nanotechnologien

1. Welches sind die wichtigsten öffentlichen Förderprogramme?

a. Für Ihr Cluster

- NRW – Innovationsministerium ☐
- NRW-Wirtschaftsministerium ☐
- NRW-Umweltministerium ☐
- NRW Investitionsbank ☐
- BMBF ☐
- BMWT ☐
- BMU/UBA ☐
- KfW Förderung ☐
- EU-6.RP ☐
- EU-7.RP ☐
- EU-Strukturfonds/-Regionalfonds ☐
- DFG ☐
- Andere ……

b. Für Ihre Mitglieder

- NRW – Innovationsministerium ☐
- NRW-Wirtschaftsministerium ☐
- NRW-Umweltministerium ☐
- NRW Investitionsbank ☐
- BMBF ☐
- BMWT ☐
- BMU/UBA ☐
- KfW Förderung ☐
- EU-6.RP ☐
- EU-7.RP ☐
- EU-Strukturfonds/-Regionalfonds ☐
- DFG ☐
- Andere ……

F: Handlungsbedarfe in Bezug auf Umwelt-Nanotech-Förderung

1. Wie bewerten Sie die allgemeine Cluster-Strategie des Landes NRW zur Nanotechnologie insgesamt? Wie bewerten Sie sie im Vergleich z.B. zu anderen Bundesländern?

2.

Was müsste seitens……	**…..passieren, um Nanotechnologie im <u>Allgemeinen</u> stärker voranzubringen[113])?**	**…für den <u>Umwelt-schutz/die Umwelttechnik</u> im Besonderen stärker voranzubringen?**
o **der öffentlichen Forschung und Wirtschaft**		
o **der unternehmerischen FuE**		
o **der politischen Rahmenbedingungen**		
o **der rechtlichen Rahmenbedingungen**		
o **der Märkte**		
o **der Infrastrukturen**		

[113] **(zur Generierung von wettbewerbsfähigen Arbeitsplätze schaffenden Produkte und Verfahren)**

3. Was sollte die Landespolitik in NRW tun in Bezug auf Umwelt-Nanotech?

4. Was sollte die Bundespolitik tun in Bezug auf Umwelt-Nanotech?

5. Wie sehen Sie die Position der Nano-Forschung und -Entwicklung in NRW

a) In Bezug auf Clusterbildung und Vernetzung?

b) In Bezug auf Transfer in kommerziell tragfähige Anwendungen?

c) In Bezug auf Chancen für den Umwelt- und Ressourcenschutz?

6. Und was sind jeweils Erfolgsfaktoren und Hemmnisse?

a)……

b)……

c)……

7. Wodurch wird gegenwärtig die Ausschöpfung der Anwendungs- und Wachstumspotenziale in der Nanotechnologie behindert?

	trifft eher zu	trifft teilweise zu	trifft nicht zu
o Zu hohen FuE-Aufwand	☐	☐	☐
o Fehlendes personelles Know-How	☐	☐	☐
o Finanzierungsprobleme	☐	☐	☐
o Fehlende Marktinformation	☐	☐	☐
o Mangel an kompetenten Kooperationspartnern	☐	☐	☐
o Fehlende Akzeptanz bei den Abnehmern	☐	☐	☐

o Einschränkende Regulierungen ☐ ☐ ☐

o Unzureichende staatliche Förderung ☐ ☐ ☐

o Sonstige Gründe……

G: Interessen und weitere Zusammenarbeit

1. Wären Sie bereit, in einem kleinen Workshop die Thematik Nanotech-Umwelt weiter zu vertiefen?

2. An welchem Thema sind Sie speziell interessiert?

3. Haben Sie Interesse an der Mitarbeit an der Entwicklung eines Nanotech-Umwelt-Clusters in NRW?

4. Welcher Art könnte Ihr Beitrag dazu sein?

5. Wen empfehlen Sie uns als weitere Interviewpartner zu dieser Thematik?

Bitte um einschlägige Info-Materialien zu der Fragethematik aus Ihrem Cluster

Vielen Dank für Ihre Mithilfe und Auskunftsbereitschaft!

VII. Nanowissenschaften/Nanotechnologien FuE-Cluster und Netzwerke in NRW

Überblick Experteninterviews, Stand: 16.06.2008

Institution	Standort	Interviewpartner	Funktion	Interview/ Telefoninterview	Termin
NRW-Forschungscluster					
NRW-Forschungscluster Nanobiotechnologie	Münster	Hr. Dr. Winter	Koordinator	T	17.03.08
Nanoenergie: NRW-Forschungscluster Energietechnik – ZBT, Zentrum für BrennstoffzellenTechnik GmbH	Duisburg	Hr. Dipl.-Ing. Wartmann	Bereichsleiter	I	20.02.08
Forschungscluster Nanoelektronik/AMO GmbH – Gesellschaft für angew. Mikro- und Optoelektronik	Aachen	Fr. Dipl.-Kffr. Meyer-Amjadi	Koordination/Geschäftsführung AMO	I	16.04.08
Forschung Universitäten					
Forschungsverbund Mikro- und Nanostrukturen Uni Dortmund	Dortmund	Prof. Dr. Bayer, FB Physik	Sprecher	I	24.01.08
CeNIDE, Center for Nanointegration, Uni Duisburg-Essen	Duisburg	Prof. Schulz, Fak. Ingenieurwissenschaften, Fr. Dr. Franke	Sprecher d. Vorstandes GF	I	13.02.08
Zentrum f. Mikroskalige Umweltsysteme (ZMU), Uni Du-Essen	Essen	Hr. Prof. Dr. Zellner	Sprecher d. Vorstandes	T	06.02.08
IUTA-Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V. und (neues)	Duisburg	Hr. Prof. Fissan, Hr. Dr. Haep,	wissenschaftlicher Berater GF	Gruppeninterview	13.02.08

Institution	Standort	Interviewpartner	Funktion	Interview/ Telefoninterview	Termin
Technikum zur Erforschung von Nanomaterialien		Hr. Dr. Kuhlbusch, Hr. Dr. Wiggers	Bereichsleiter Bereichsleiter		
RWTH-NanoClub	Aachen	Hr. Prof. Güntherodt	Sprecher	I	16.04.08
Netzwerke und Komptenz-zentren					
IVAM-Fachverband f. Mikro-technik	Dortmund	Fr. Dr. Neuy	GF	I	14.12.07
MST Factory (Gründungs- und Kompetenzzentrum Mikro-/Nanotech)	Dortmund	Hr. Dr. Kopf	GF	I	29.01.08
InnoZent OWL e.V.	Paderborn	Hr. Andreas Keil	GF	I	01.02.08
CeNTech/Kompetenzzentrum Nanoanalytik	Münster	Hr. Dr. Buscher	GF	I	26.02.08
Science to Business Center/Creavis, Evonik Degussa GmbH	Marl	Hr. Dr. Anselmann	Leiter Gb Nanotronics	I	18.02.08, bei NRW-Nano-Konferenz
Bioanalytik Münster e.V.	Münster	Hr. Dr. Weltring	GF	I	17.03.08
Umweltbezogene FuE					
Fh Institut für Umwelt-, Sicherheit- u. Energietechnik UMSICHT	Oberhausen	Hr. Dipl.-Ing. Bertling	Leiter Gf Spezialwerkstoffe	I	04.03.08
Institut für Umweltforschung (INFU), TU Dortmund	Dortmund	Hr. Prof. Spiteller	Leiter	T	Im Jan. 08
IUTA-Institut (s. o.)	Duisburg	s. oben			

GESCHÄFTSTELLE BERLIN
MAIN OFFICE
Potsdamer Straße 105
10785 Berlin
Telefon: + 49 – 30 – 884 594-0
Fax: + 49 – 30 – 882 54 39

BÜRO HEIDELBERG
HEIDELBERG OFFICE
Bergstraße 7
69120 Heidelberg
Telefon: + 49 – 6221 – 649 16-0
Fax: + 49 – 6221 – 270 60

mailbox@ioew.de
www.ioew.de