Lilo Fischer

Ökobilanz für typische YTONG-Produktanwendungen

Schriftenreihe des IÖW 105/96



Kathrin Ankele, Michael Steinfeldt

Ökobilanz für typische YTONG-Produktanwendungen

Schriftenreihe des IÖW 105/96

im Auftrag der YTONG AG Entwicklungszentrum Sandhof 6 86522 Schrobenhausen

> Berlin 1996 ISBN 3-932092-01-5

Inhaltsverzeichnis

2 SA	ACHBILANZ	6
2.	.1 Darstellung des Produktlebensweges	6
	2.1.1 Rohstoffgewinnung/-herstellung	6
	2.1.2 Transport der Rohstoffe	
	2.1.3 Porenbetonproduktion	7
	2.1.4 Produkttransport	8
	2.1.5 Montage	8
	2.1.6 Gebrauch	9
	2.1.7 Entsorgung	9
2.3	.2 Vorgehensweise zur Erstellung der Sachbilanz	13
2.	.3 Modulare Bilanzbetrachtungen	13
	2.3.1 Rohstoffherstellung	
	2.3.2 Transporte	
	2.3.3 Produktion	17
	2.3.4 Montage	17
	2.3.5 Gebrauch	
	2.3.6 Entsorgung	19
	2.3.7 Gesamtbilanzierung	19
2.	.4 Auswertungen der Sachbilanz	27
	2.4.1 Energieverbrauch	
	2.4.2 Deponievolumen	
	2.4.3 Wasserverbrauch	
3 W	/IRKUNGSABSCHÄTZUNG	34
3.	.1 Beschreibung der potentiellen Umweltwirkungen	35
	3.1.1 Ressourcenknappheit	
	3.1.2 Treibhauseffekt	
	3.1.3 Versauerung	36
	3.1.4 Eutrophierung	
	3.1.5 Humantoxizität	

3.1.6 Ökotoxizität	38
3.2 Vorgehen zur Erstellung der Wirkungsabschätzung	38
3.2.1 Die Klassifizierung	38
3.2.2 Die Charakterisierung	39
3.3 Auswahl und Diskussion der Wirkungskategorien	39
3.4 Auswahl und Diskussion der verwendeten Gewichtungsalgorithmen	42
3.5 Wirkungsabschätzung der YTONG-Produktvarianten	45
3.5.1 24er YTONG-Wand	45
3.5.2 36,5er YTONG Wand	51
3.5.3 Vergleich zwischen 1m² der 24er und der 36,5er YTONG Wand	57
3.5.4 Montagebauteil	64
3.6 Qualitative Aspekte der Wirkungsabschätzung	70
4 BEWERTUNG	76
4.1 Spezifische Beiträge	76
4.2 Diskussion einzelner Parameter	82
5 SCHLUßBEMERKUNG UND EMPFEHLUNGEN	85
6 ZUSAMMENFASSUNG	87
7 LITERATURVERZEICHNIS	91
8 ANHANG	93

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau der Produkt-Ökobilanz	5
Abbildung 2: Stoffflußschema für 1m² 24er YTONG-Wand	10
Abbildung 3: Stoffflußschema für 1m² 36,5er YTONG-Wand	11
Abbildung 4: Stoffflußschema für 1m² Montagebauteil	12
Abbildung 5: Gesamt-Ökokontenrahmen für 1m² Außenwand aus	
Porenbetonbaustein mit 24er Wanddicke - Input	21
Abbildung 6: Gesamt-Ökokontenrahmen für 1m² Außenwand aus	
Porenbetonbaustein mit 24er Wanddicke - Output	22
Abbildung 7: Gesamt-Ökokontenrahmen für 1m² Außenwand aus	
Porenbetonbaustein mit 36,5er Wanddicke - Input	23
Abbildung 8: Gesamt-Ökokontenrahmen für 1m² Außenwand aus	
Porenbetonbaustein mit 36,5er Wanddicke - Output	24
Abbildung 9: Gesamt-Ökokontenrahmen für 1m² Außenwand aus I	Porenbeton-
Montagebauteil - Input	25
Abbildung 10: Gesamt-Ökokontenrahmen für 1m² Außenwand aus	Porenbeton-
Montagebauteil - Output	26
Abbildung 11: Energieäquivalenzwerte für 1m² einer 24er YTONG-	-Wand28
Abbildung 12: Energieäquivalenzwerte für 1m² einer 36,5er YTON	G-Wand28
Abbildung 13: Energieäquivalenzwerte für 1m² einer 20er MBT-Wa	and29
Abbildung 14: Deponievolumen durch 1m² 24er YTONG-Wand	30
Abbildung 15: Deponievolumen durch 1m² 36,5er YTONG-Wand	31
Abbildung 16: Deponievolumen durch 1m² MBT	31
Abbildung 17: Vergleich des Deponievolumens durch 1m² 24er und	d
36,5er YTONG-Wand	32
Abbildung 18: Ressourcenknappheit durch 1m² 24er YTONG-Wan	d
(gesamter Lebenszyklus)	46
Abbildung 19: Ressourcenknappheit durch 1m² 24er YTONG-Wan	d
(ohne Gebrauchsphase	47
Abbildung 20: Treibhauspotential durch 1m² 24er YTONG-Wand	
(ohne Gebrauchsphase)	48
Abbildung 21: Versauerungspotential durch 1m² 24er YTONG-Wa	
(ohne Gebrauchsphase)	49
Abbildung 22: Eutrophierungspotential durch 1m² 24er YTONG-W	and
(ohne Gebrauchsphase)	50
Abbildung 23: Ressourcenknappheit durch 1m² 36,5er YTONG-W	and
(gesamter Lebenszyklus)	52

Abbildung 24: Ressourcenknappheit durch 1m² 36,5er YTONG-Wand	
(ohne Gebrauchsphase)	53
Abbildung 25: Treibhauspotential durch 1m² 36,5er YTONG-Wand	
(ohne Gebrauchsphase)	54
Abbildung 26: Versauerungspotential durch 1m² 36,5er YTONG-Wand	
(ohne Gebrauchsphase)	55
Abbildung 27: Eutrophierungspotential durch 1m² 36,5er YTONG-Wand	
(ohne Gebrauchsphase)	56
Abbildung 28: Ressourcenknappheit durch 1m² 24er und 36,5er YTONG-Wand	
im Vergleich zum Standard nach WSVO 95 (=0)	59
Abbildung 29: Treibhauspotential durch 1m² 24er und 36,5er YTONG-Wand	
im Vergleich zum Standard nach WSVO 95 (=0)	60
Abbildung 30: Versauerungspotential durch 1m² 24er und 36,5er YTONG-Wand	
im Vergleich zum Standard nach WSVO 95 (=0)	61
Abbildung 31: Eutrophierungspotential durch 1m² 24er und 36,5er YTONG-Wand	
im Vergleich zum Standard nach WSVO 95 (=0)	63
Abbildung 32: Ressourcenknappheit durch 1m² MBT (gesamter Lebenszyklus)	65
Abbildung 33: Ressourcenknappheit durch 1m² MBT (ohne Gebrauchsphase)	66
Abbildung 34: Treibhauspotential durch 1m² MBT (ohne Gebrauchsphase)	67
Abbildung 35: Versauerungspotential durch 1m² MBT (ohne Gebrauchsphase)	68
Abbildung 36: Eutrophierungspotential durch 1m² MBT (ohne Gebrauchsphase)	69

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Rohöl-Ressourcen-Aquivalenzfaktoen, statische Reichweiten und	
untere Heizwerte für verschiedene Rohstoffe	42
Tabelle 2: Verwendete Gewichtungsfaktoren	44
Tabelle 3: Wirkungsindikatoren für 1m² 24er YTONG-Wand	45
Tabelle 4: Wirkungsindikatoren für 1m² 36,5er YTONG-Wand	51
Tabelle 5: Wirkungsindikatoren der Standardwand, der 24er und der	
36,5er YTONG-Wand im Vergleich	58
Tabelle 6: Wirkungsindikatoren für 1m² Montagebauteil 20er Wanddicke	64
Tabelle 7: Kriterien zur Beurteilung der Human- und Ökotoxizität, Luftbelastungen	71
Tabelle 8: Kriterien zur Beurteilung der Human- und Ökotoxizität, Wasserbelastungen	72
Tabelle 9: Berechnung der spezifischen Beiträge für je 1m² der 24er,	
der 36,5er YTONG-Wand und des MBT	80
Tabelle 10: Wichtung der spezifischen Beiträge für je 1m² der 24er,	
der 36,5er YTONG-Wand und des MBT	81
Tabelle 11: Geringerbelastung der 24er und der 36,5er YTONG-Wand in der	
Gebrauchsphase (spez. Beiträge)	82

Abkürzungsverzeichnis

BOD₅ Biological Oxygen Demand (biologischer Sauerstoffbedarf in fünf

Tagen)

Cl₂ Chlorgas

CO Kohlenmonoxid

CO₂ Kohlendioxid

COD Chemical Oxygen Demand (chemischer Sauerstoffbedarf)

CML Centre of Environmental Science (Niederlande)

CSB Chemischer Sauerstoffbedarf (siehe COD)

DIN Deutsches Institut für Normung

DIS Draft International Standard (internationaler Normentwurf)

Eäq. Energieäquivalenzwert

EE Elektroenergie

Eel. elektrische Energie

EL extra leicht (Heizöl)

Eth. thermische Energie

 Σ Summe

GEMIS Gesamt- Emissions-Modell Integrierter Systeme

HC Kohlenwasserstoffe

HCI Chlorwasserstoff

HF Fluorwasserstoff

H₂S Schwefelwasserstoff

Hu unterer Heizwert

k-Wert Wärmedurchgangskoeffizient

kWh Kilowattstunde

LDPE Low Density Polyethylene (Polyethylen geringer Dichte)

MBT Montagebauteil

MJ Megajoule

MVA Müllverbrennungsanlage

η Wirkungsgrad

NH₃ Ammoniak

NOEC No observable effect concentration (Konzentration, bei der kein

Effekt zu beobachten ist)

NOx Stickoxide

N₂O Distickstoffoxid (Lachgas)

S schwer (Heizöl)

SO₂ Schwefeldioxid

UCPTE Union pour la Coordination de la Production et du Transport de

l`Éectricité

VDEh Verein Deutscher Eisenhüttenleute

WSVO 95 Wärmeschutzverordnung 1995

Vorwort zur 2. überarbeiteten Fassung

Die erste Studie "Ökobilanz für typische YTONG-Produktanwendungen" wurde im Herbst 1993 vom Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) gGmbH abgeschlossen.

Aufgrund der verbesserten Datengrundlage aus den Produktionsprozessen stand bereits im Januar 1995 eine erste Überarbeitung der Sachbilanz an. Diese Gelegenheit wurde genutzt, eine Anpassung der gesamten Studie, insbesondere aber der Wirkungsabschätzung und Bewertung, an den aktuellen Diskussionsstand vorzunehmen. Außerdem wurden die Daten von Dünnbettmörtel und Putzen den Lebenswegstufen Montage bzw. Gebrauchsphase zugeordnet. Eine komplette Überarbeitung sollte zum damaligen Zeitpunkt nicht erfolgen.

Die Entwicklung der Methodik zur Produkt-Ökobilanzierung verlief seit der ersten Fassung sehr dynamisch; beim DIN wurde ein "Normenausschuß Grundlagen des Umweltschutzes (NAGUS)" gegründet; ein Arbeitsausschuß mit Unterausschüssen und Arbeitskreisen widmet sich dem Thema Produkt-Ökobilanzen und setzt in Deutschland mit seiner Arbeit Maßstäbe zur Durchführung von Produkt-Ökobilanzen. Dieser Arbeitsausschuß besitzt wiederum ein internationales Pendant bei ISO (International Standardisation Organisation). Ziel der Arbeit dieser Ausschüsse ist die Erarbeitung einer international gültigen Normenreihe ISO 14040ff. zur Erstellung von Produkt-Ökobilanzen. Die Arbeiten der nationalen Ausschüsse fließen in die internationale Diskussion ein.

Die vorliegende Ökobilanz wurde auf der Basis dieses Normentwurfs DIS 14040 erstellt bzw. aktualisiert. Auf diesem Wege wurden erneut veränderte Sachbilanzdaten der YTONG AG bzw. aktuelle Literaturdaten verwendet. Ferner wurde zwischen dem IÖW und der YTONG AG vereinbart, die Darstellungsform insbesondere der Wirkungsabschätzung zu verändern. Diese Bezeichnung wird in der aktuellen Methodendiskussion statt Wirkungsbilanz verwendet.

Die Gebrauchsphase sollte künftig im Interesse der Anschaulichkeit nicht in allen Graphiken aufgeführt werden, da dadurch die Umweltwirkungen der anderen Lebenszyklusstufen marginalisiert werden. Die deutlichste Änderung besteht darin, die Gebrauchsphase nicht mehr zu den anderen Lebenzyklusstufen hinsichtlich ihrer Umweltwirkungen zu addieren, sondern relativ zu einer berechneten Standardwand. Diese Standardwand entspricht exakt den Anforderungen der Wärmeschutzverordnung 1995 (WSVO 95) und wird in der vorliegenden Studie eingeführt, um die Dämmeigenschaften der YTONG-Baustoffe in Relation zu einem gesetzlich vorgebenen Standard aufzeigen zu können. Die Gebrauchsphase geht in

die aktuelle Bilanz also nur als Differenz zu dieser Standardwand und nicht in Absolutwerten ein.

Mit der Einführung dieser Standardwand soll auch eine Basis für Vergleiche mit anderen Baustoffen gelegt werden. Dazu müßte in diesen Ökobilanzen ebenfalls ein Vergleich zu einer Standardwand aus dem jeweiligen Baustoff nach den Anforderungen der WSVO 95 gezogen werden. So könnten einerseits die Belastungen in den Lebenszyklusstufen Rohstoffherstellung bis Transporte verglichen werden und andererseits die Wärmedämmung in Relation zu dieser gesetzlichen Vorgabe.

Die in der vorliegenden Aktualisierung vorgenommenen Änderungen beziehen sich neben einigen Sachbilanzdaten demnach hauptsächlich auf die Wirkungsabschätzung und die Bewertung. In der Bewertung wurden spezifische Beiträge eingeführt, die es ermöglichen, die Wirkungskategorien hinsichtlich ihrer Bedeutung miteinander zu vergleichen.

Eine vollständige Anpassung an DIS 14040, beispielsweise hinsichtlich eines kritischen Begleitverfahrens, wurde zu diesem Zeitpunkt noch nicht durchgeführt.

Berlin, im August 1996.

1 Einleitung

Die vorliegende Studie ist das Ergebnis einer vergleichenden Produktbetrachtung, die das Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) gGmbH im Auftrag der YTONG AG erstmalig von Mai bis Oktober 1993 durchführte und in der Zwischenzeit im Januar 1995 und nun erneut zum August 1996 aktualisierte.

Ziel des Gutachtens ist es, die Umweltwirkungen, die von den Produkten der YTONG AG ausgehen, systematisch zu erfassen und zu bewerten. Es soll herausgearbeitet werden, welche Umweltbelastungen aus welcher Lebenszyklusstufe der Produkte stammen, um die Ansatzpunkte für Optimierungen zu erkennen. Außerdem sollen die Gesamtbelastungen in den Lebenszyklusstufen Rohstoffherstellung, Produktion, Montage und Transporte denen in der Gebrauchsphase gegenübergestellt werden. Die Gebrauchsphase ist gekennzeichnet durch Heizenergiebedarf zur Erwärmung der Raumluft und ist direkt korreliert mit der Wärmedämmleistung eines Baustoffes.

Zukünftig sollte es möglich sein, einen objektiven Vergleich mit anderen Baustoffen anzustellen, wenn diese mit derselben Methodik analysiert werden. Als Untersuchungsgegenstände werden der YTONG-Planblock mit der Wanddicke 24 und 36,5 cm als typischer Wohnhausbaustoff sowie das Montagebauteil (MBT), das im Industriehallenbau Verwendung findet, ausgewählt.

Auf einen Vergleich mit anderen Baustoffen wird verzichtet, da diesbezüglich nicht dieselbe Datengenauigkeit erreicht werden kann.

Die in dieser Überarbeitung angewandte Methode der Produkt-Ökobilanzierung mit den Stufen Zieldefinition, Sachbilanz, Wirkungsabschätzung und Bewertung basiert auf dem internationalen Normentwurf DIS 14040 Life Cycle Assessment und berücksichtigt den aktuellen Diskussionsstand im Arbeitsausschuß 3, Produkt-Ökobilanzen beim DIN, soweit dies ohne erneute Datenerhebung möglich war.

Die Daten der Sachbilanz stammen zum großen Teil von den Mitgliedern des Projektteams der Entwicklungsabteilung der YTONG AG, Schrobenhausen. Weitere Grundlagendaten, etwa zur Herstellung von Rohstoffen oder der Berücksichtigung der Energieemissionen, wurden einschlägigen Nachschlagewerken bzw. Basisstudien wie der GEMIS-2.1-Studie (GhK/ÖI, 1995) bzw. der Studie des Schweizer Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), "Oekobilanz von Packstoffen", (Habersatter, K., 1991) entnommen.

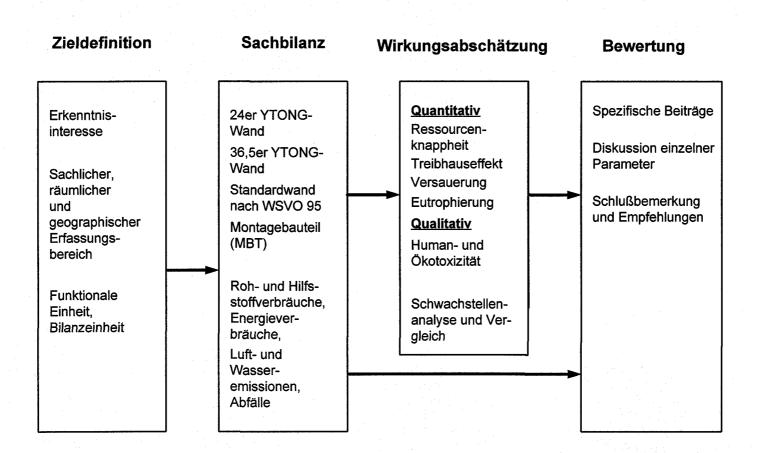
Nicht in jeder Phase sind eindeutige Aussagen möglich oder sinnvoll. Deshalb werden Annahmen getroffen. Beispielsweise wird für die Gebrauchsphase angenommen, daß ein Wohnhaus im Durchschnitt 80 Jahre besteht, bevor es abgerissen wird. Nach dieser Zeit ist ein Abriß zwar nicht nötig, könnte jedoch aus modischen oder ästhetischen Gründen erfolgen. Für die Industriehalle wird eine Lebensdauer von 30 Jahren zugrundegelegt, was auf Erfahrungswerten beruht.

Für die letzte Phase, die Entsorgung, werden Annahmen getroffen, die aus heutiger Sicht sinnvoll erscheinen und Prognosen für die Entsorgungssituation von Bauschutt beinhalten.

Die hier angewandte Methodik der Datenaggregation in der Wirkungsabschätzung führt nicht zu einer einzigen Zahl. Das erschwert zwar zum einen die Eindeutigkeit der Aussagen, gestattet aber auf der anderen Seite eine nach Umweltwirkungen differenzierte Darlegung der Schwachstellen und Optimierungspotentiale. Die Produkt-Ökobilanz stellt ein Informationssystem dar, mit dessen Hilfe Handlungsalternativen aufgezeigt werden können. Die Bewertung mit Hilfe dieser quantitativen und qualitativen Methode erlaubt es auf einfache Weise, das Erreichen gesteckter Ziele zu überprüfen. Zur Systematisierung dieses Vorgangs empfiehlt es sich, ein ökologisches Zielsystem aufzustellen. Darin können sowohl ausschließlich firmeninterne als auch nationale oder internationale Ziele enthalten sein. Beispielsweise wird von der Bundesrepublik Deutschland eine Absenkung des CO₂-Ausstoßes um ca. 30% bis zum Jahr 2005 angestrebt. Dieses Ziel kann individuell übernommen und anhand des Treibhausindikators verfolgt werden.

Die folgende Abbildung verdeutlicht noch einmal den Aufbau der Produkt-Ökobilanz für typische YTONG-Produktanwendungen.

Abbildung 1: Aufbau der Produkt-Ökobilanz



2 Sachbilanz

2.1 Darstellung des Produktlebensweges

Im Methodenteil wurde die Zieldefinition bereits ausführlich beschrieben. Aus diesem Grund schließt sich nun direkt die Beschreibung der Sachbilanz an.

Der Produktlebensweg von YTONG-Porenbetonbaustoffen läßt sich analog zum allgemeinen Produktlebensweg mit den folgenden Hauptlebenszyklusstufen beschreiben:

Rohstoffgewinnung

\$\Pi\$
Transport

\$\Produktion\$

Transport

\$\Pi\$
Montage

\$\Pi\$
Gebrauch

\$\Pi\$
Transport

\$\Pi\$
Entsorgung

2.1.1 Rohstoffgewinnung/-herstellung

Zur Herstellung von YTONG-Porenbetonbaustoffen werden folgende Rohstoffe eingesetzt:

- Sand
- Zement
- Kalk
- Anhydrit (Calciumsulfat, CaSO₄)
- Aluminium
- Bruch
- Wasser
- Stahl (nur bei bewehrten Bauteilen)

Der eingesetzte Sand wird in nahegelegenen Sandgruben abgebaut.

Die Zementproduktion erfolgt in den Verfahrensschritten Rohstoffabbau in Tagebauweise (Kalkmergel, Kalkstein, Ton), Rohstoffmahlung, -homogenisierung, Brennen im Drehofen bei 1450 °C zu Klinker und schließlich Zementmahlung.

Die Kalkproduktion beginnt mit dem Kalksteinabbau im Steinbruch. Der nachfolgende Kalkbrennprozeß erfolgt in einem Schachtofen.

Anhydrit ist ein Nebenprodukt der Rauchgasentschwefelung bzw. der Flußsäureherstellung. Dieses sonst zu deponierende Material wird als mineralisierender Zusatz für Zement und Kalk eingesetzt.

Als Rohstoff für die Aluminiumherstellung dient Bauxit, welches in Tagebauweise abgebaut wird. Bauxit wird zu Tonerde verarbeitet, die dann geschmolzen und an Kohlenstoffelektroden zu Aluminium und Sauerstoff elektrolysiert wird. Das für die YTONG-Porenbetonherstellung verwendete Aluminiumpulver wird aus Stanzresten bzw. granuliertem Aluminium gemahlen.

Der zur Bewehrung eingesetzte Stahl ist ein Walzdraht, der zu 100 % aus Stahlschrott im Elektrolichtbogenofen erzeugt wird und die Sekundärmetallurgie, die Stranggießanlage und das Drahtwalzwerk durchläuft.

Der Bruch von gehärteten Produkten wird durch Brechen und Sieben aufbereitet. Der Staubanteil wird in der Produktion als Sandersatz, die Granulate als Kuppelprodukte verwendet.

Als Prozeßwasser zur Herstellung der Baustoffe wird Oberflächenwasser verwendet.

2.1.2 Transport der Rohstoffe

Die Rohstofftransporte erfolgen zumeist per LKW. Beim Walzdraht wird Bahntransport zugrundegelegt.

2.1.3 Porenbetonproduktion

Die wichtigsten Prozeßschritte der Porenbetonproduktion sind:

- die Aufbereitung, Dosierung und Mischung der Rohmaterialien,
- die Herstellung und der Einbau der korrosionsgeschützten Bewehrung (nur bei bewehrten Bauteilen, MBT),
- das Gießen, Treiben, Ansteifen und Schneiden des Rohblocks,
- die Dampfhärtung,
- das Verpacken.

Zuerst erfolgt die Sandaufbereitung, d. h. der Sand wird in großen Mühlen entweder trocken mehlfein oder naß zu Schlämmen gemahlen. Bei bewehrten Bauteilen wird die Bewehrung durch Schweißen der Walzdrähte hergestellt, anschließend durch Tauchbaden in einer Korrosionsschutzlösung vor Korrosionsbefall geschützt und in die Form eingebaut. Die einzelnen Rohstoffe werden dosiert, gemischt und in die vorbereitete Form gegossen. Kurz vor dem Gießen der Mischung wird das Aluminiumpulver als Porosierungsmittel zugegeben. Der bei den chemischen Reaktionen frei werdende Wasserstoff treibt die Mischung auf, bis sie schließlich die Form ganz ausfüllt. Vor der Dampfhärtung bei ca. 190 °C und einem Druck von 12 bar erfolgt das Schneiden in die gewünschten Baustofformate. Dies geschieht automatisch und sehr exakt mit Hilfe straff gespannter Stahldrähte. Die beim Schneiden entstehenden, ungehärteten Abfälle werden mit dem recyclierten Prozeßwasser aufgeschlämmt und als Rückgutschlamm vollständig der Produktion zugeführt. Die letzten Produktionsprozesse sind das Entladen und Verpacken mit LDPE-Folie bei YTONG-Planblöcken und das Imprägnieren bei Montagebauteilen (Weber, H., 1991).

2.1.4 Produkttransport

Der Produkttransport erfolgt per LKW entweder direkt zur Baustelle oder indirekt über den Handel.

2.1.5 Montage

Die Montage geschieht bei den Planblöcken meist manuell bzw. bei den Montagebauteilen mit Hilfe eines Kranes. Bei Planblöcken wird Dünnbettmörtel verwendet. Außerdem wird die Wand außen mit Kalk-Zement und innen mit Gips verputzt. Die LDPE-Folie (Verpackungsrest) wird entsorgt und dem Recycling zugeführt.

2.1.6 Gebrauch

Die Gebrauchsphase umfaßt den Zeitraum der aktiven Nutzung des Hauses bzw. der Industriehalle und wurde mit 80 Jahren bzw. 30 Jahren angesetzt.

2.1.7 Entsorgung

Den Abschluß bildet die Entsorgung, wozu aus heutiger Sicht (Stand: 1993) geeignete Annahmen zugrundegelegt wurden. Sie basieren auf aktuellen Erfahrungen und Möglichkeiten. So ist ein Wiederverwerten durch Umsetzen, ein Recycling durch Brechen und Klassieren zu Kuppelprodukten bzw. das Deponieren möglich.

Die bilanzierten Stoffflüsse und die dabei betrachteten Prozeßschritte sind in den folgenden Abbildungen für die untersuchten Produktanwendungen dargestellt. Die Bilanzierung des Wassers wurde dabei vernachlässigt, da einerseits das Produktionswasser zu 100% im Kreislauf geführt wird und andererseits die Wasserverluste (Wasserdampf in der Produktion und beim Austrocknen) den konkreten Lebenswegstufen schlecht quantifiziert und zugeordnet werden können.

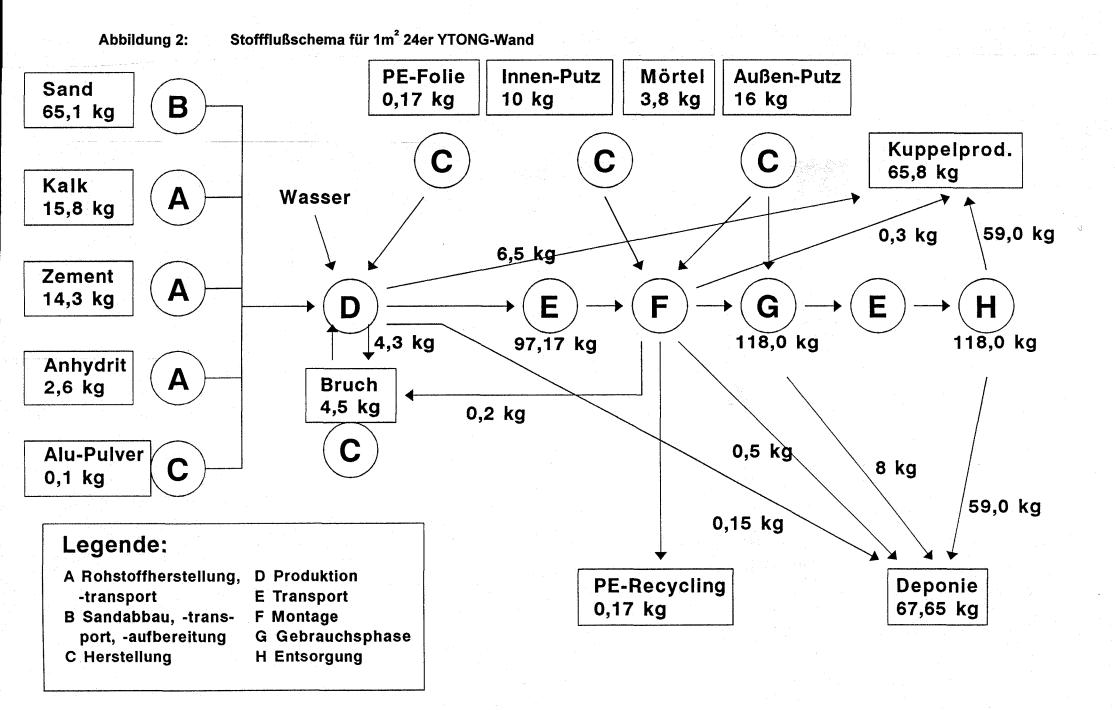


Abbildung 3: Stoffflußschema für 1m² 36,5er YTONG-Wand

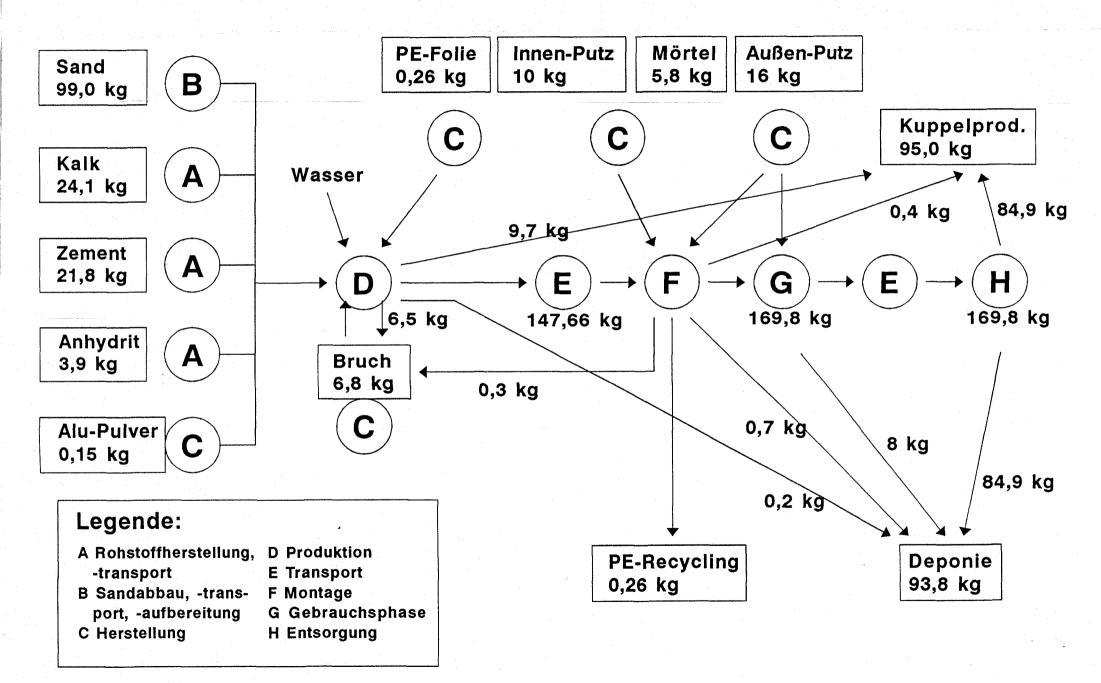
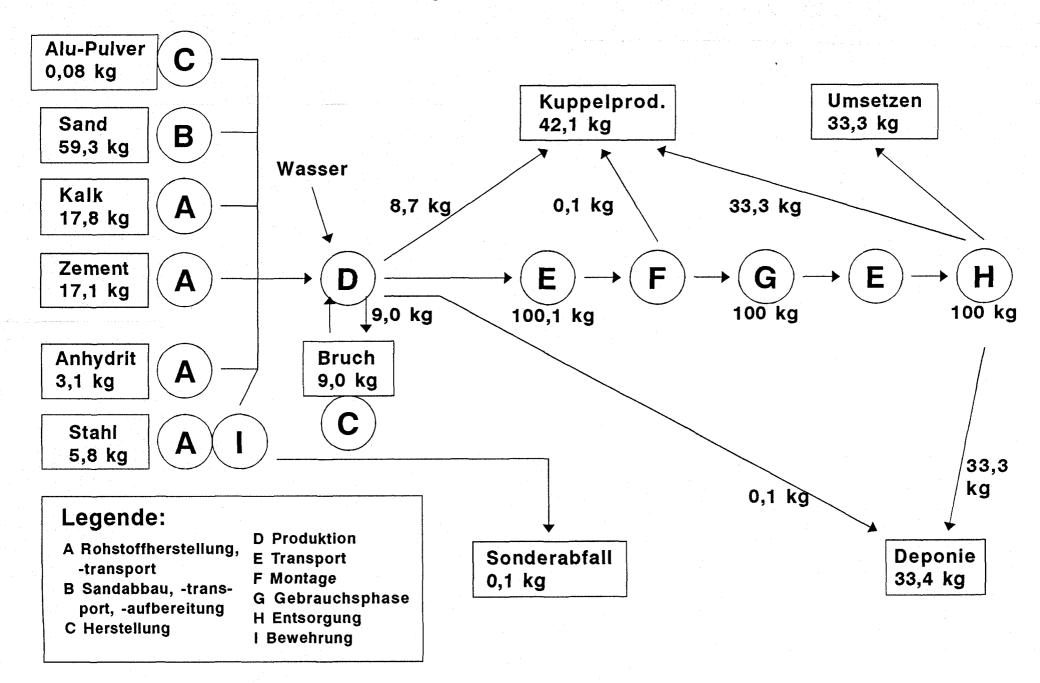


Abbildung 4: Stoffflußschema für 1m² Montagebauteil



2.2 Vorgehensweise zur Erstellung der Sachbilanz

Der erste Schritt bei der Sachbilanzerstellung besteht darin, die Stoff- und Energiebilanzen sowie die daraus resultierenden Emissionen der einzelnen Lebenswegstufen modular in einzelnen Ökokontenrahmen mit geeigneten Bezugsgrößen (d. h. die Bezugsgröße entspricht dem Output des jeweils betrachteten Stoffes) zu erfassen.

Um den Zusammenhang zwischen den Energieinputs und den aus der Vorkette (Elektroenergie bzw. Bereitstellung von Energieträgern wie Erdgas etc.) und/bzw. der Verbrennung (Erdgas, Erdöl, etc.) resultierenden Emissionsoutputs darzustellen, werden Standarddaten der GEMIS-Studie (GhK/ÖI, 1995) herangezogen (s. Anhang 1). Alle Emissionsangaben beziehen sich auf 1 MJ Energie Input (bei Elektroenergie auf 1 kWh). Beim Transport mit LKW (Dieselverbrauch) ist die Bezugsgröße in km. Bei den Energieträgern wurde je nach Anwendungszweck (Haushalt, Industrie) unterschieden.

Die verwendeten Heizwerte der Primärenergieträger, die Wirkungsgrade der Elektroenergieerzeugung sowie die Vorkettenfaktoren, die den Aufwand zur Bereitstellung der jeweiligen Energie berücksichtigen, sind ebenfalls der GEMIS-Studie entnommen und im Anhang 1 dargestellt. Für die Braunkohlefeuerung wurde rheinische Braunkohle in Form von Braunkohlenstaub angenommen, für die Steinkohlefeuerung und die Bereitstellung von Fernwärme eine Feuerung mit Steinkohlenkoks.

Um thermische und elektrische Energie zu einer einzigen Energiezahl zusammenzuführen, wird der Energieäquivalenzwert eingeführt. Er berechnet sich aus der Summe der jeweiligen verbrauchten Energieträger multipliziert mit den Energieaufwendungen zu ihrer Bereitstellung (Vorkettenfaktor).

Die einzelnen, modularen Ökokontenrahmen werden dann zu Gesamt-Ökokontenrahmen bezüglich der betrachteten 1m² Außenwand eines Hauses bzw. einer Industriehalle zusammengefaßt. Die Gesamt-Ökokontenrahmen umfassen die Stoff- und Energieströme aller betrachteten Lebenswegstufen.

2.3 Modulare Bilanzbetrachtungen

In den modularen Bilanzbetrachtungen werden für jede einzelne Lebenswegstufe der Bilanzraum und die Bilanzeinheiten definiert und bestimmte Annahmen und Vereinfachungen getroffen.

2.3.1 Rohstoffherstellung

Bilanzraum:

Dieser Ökokontenrahmen umfaßt alle Energieströme und die daraus resultierenden Emissionen für die Herstellung aller relevanten Rohstoffe, die einerseits zur Produktion von Porenbeton und andererseits bei der Montage notwendig sind. Diese Werte wurden nicht selbst erhoben, sondern aus Literaturquellen übernommen. Deshalb wird auf die jeweiligen Stoffinputs verzichtet. Zudem wurde hier auch die Herstellung des Verpackungsmittels LDPE-Folie mitbetrachtet. (s. Anhang 5)

Bilanzeinheit:

1 kg des jeweiligen Rohstoffes

Annahmen, Vereinfachungen und Quellen:

Sand:

Die Energieverbräuche für den Sandabbau sind bei der Sandaufbereitung mit erfaßt.

Kalksteinabbau:

Die verwendeten Daten sind der BUWAL-Studie (Habersatter, K., 1991) entnommen.

Kalkherstellung:

Die verwendeten Daten sind im Anhang 3 dargestellt; als prozeßbedingte CO₂-Emission werden 750g/kg Kalk angenommen (die Menge entspricht 2/3 der Gesamt-CO₂-Emission von 1,13kg/kg Kalk (Ruch, H., 1992)). Wasserbelastungen und anfallende Abfallmengen bei der Herstellung sind nicht bekannt.

Anhydrit:

Zu Anhydrit sind keine näheren Herstellungsinformationen vorhanden. Anydrit wurde somit zahlenmäßig nicht berücksichtigt.

Zement:

Die verwendeten Daten sind im Anhang 3 dargestellt (BDZ, 1995); als prozeßbedingte CO₂-Emission werden 500g/kg Zement angenommen (YTONG-Information). Die verwendete Energiemenge beinhaltet nicht die Energie von Sekundärrohstoffen, die bei der Zementherstellung mitverbrannt werden. Wasserbelastungen und anfallende Abfallmengen bei der Herstellung sind nicht bekannt.

Aluminiumfolienherstellung:

Die verwendeten Daten sind der BUWAL-Studie (Habersatter, K., 1991) entnommen, wobei mit einem Recyclinggrad von 40 % gerechnet wurde, da in Deutschland der Sekundärrohstoffanteil bei Aluminium bei 40 % liegt (Boecker, R., 1992).

Aluminiumpulver-Mahlen:

Energieverbrauchsdaten wurden beim Lieferanten bestimmt und so übernommen.

Stahlherstellung:

Der Walzdraht wird zu 100% aus Schrott gewonnen. Grundlagen für die verwendeten Daten sind einerseits die Daten der BUWAL-Studie (Habersatter, K., 1991) zur Weißblechherstellung und andererseits die Veröffentlichung des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute (VDEh, 1992) zum Energiebedarf bei der Herstellung von Walzdraht. Um möglichst reale Daten zu ermitteln, werden folgende Annahmen getroffen: die Drahtwalzherstellung entspricht der Weißblechherstellung ohne die Prozesse Zinngewinnung, Entzinnen und Verzinnen. Außerdem entspricht der Energiebedarf des Prozesses des Drahtwalzens zu 90% dem des Kaltband- und Warmbreitbandwalzens bei der Weißblechherstellung. (Unter diesen Bedingungen gleichen sich die Angaben des VDEh zum Energiebedarf etwa mit denen der BUWAL-Studie.)

Bruch:

Die Daten für die Rohstoffherstellung wurden analog der Rezeptur (60,4% Sand, 14,7% Kalk, 13,3% Zement, Rest wurde vernachlässigt) berechnet. Die innerbetriebliche Aufbereitung (Brechen und Sieben) wird derart berücksichtigt, daß der durchschnittliche Elektroenergieverbrauch von 10,6kWh/m³ Porenbeton der Recyclinganlagen und eine angenommene Bruchdichte von 400kg/m³ eingerechnet wurden.

LDPE-Granulat-Herstellung:

Die verwendeten Daten sind der PWMI-Studie (Boustead, I., 1993) entnommen.

LDPE-Folienextrusion:

Die verwendeten Daten zur Folienextrusion entstammen ermittelten Werten aus Unternehmensprojekten in dieser Branche.

Dünnbett-Mörtel:

Die Daten für die Rohstoffherstellung wurden analog der Zusammensetzung (15% Kalk, 15% Zement, 70% Sand) berechnet

Kalk-Zement-Putz:

Die Daten für die Rohstoffherstellung wurden analog der angenommenen Zusammensetzung (1/3 Kalk, 1/3 Zement, 1/3 Sand) berechnet.

Gips-Putz:

Zu Gips-Putz sind keine näheren Herstellungsinformationen vorhanden. Gips-Putz wurde somit nicht berücksichtigt.

2.3.2 Transporte

Bilanzraum:

In diesem Ökokontenrahmen sind alle als relevant angesehenen Rohstofftransporte, d. h. für Sand, Zement, Kalk, Anhydrit und Stahl, der Produkttransport sowie die Entsorgungstransporte erfaßt. (s. Anhang 6)

Bilanzeinheit:

1t bei Rohstoffen und Entsorgungsmaterialien; 1m³ bei Produkten.

Annahmen, Vereinfachungen und Quellen:

Für die Rohstoff- und Produkttransporte außer Stahl wurden durchschnittliche Transportwege, LKW-Kapazitäten und Auslastungsgrade ermittelt. Die Berechnung der Transportemissionen wurde wie folgt vorgenommen: Die Verteilung der Verkehrsleistungen auf die Straßentypen Innerorts-, Außerortsstraßen und Bundesautobahnen wurde Regniet, G.; Schmidt, G., 1995 entnommen. Die Emissionsfaktoren sowie der Kraftstoffverbrauch von Sattelzügen stammen aus einem Bericht des UBA (Hassel et al., 1995), die Berechnung der Kohlenwasserstoffe aus dem Sammelbegriff HC sowie des Dieselrußes erfolgt analog der FIGE-Studie (Steven, H., 1995). Die verwendeten Daten sind im Anhang 2 dargestellt. Für die restlichen Transporte werden folgende Annahmen getroffen:

Stahl:

300km per Bahn (angenommener Durchschnittswert für Deutschland) zur Entsorgung: 100km (Planblock) bzw. 150km (MBT) per LKW zum Recycling ins Werk, 50km per LKW zur Deponie, 50km per LKW beim Wiederverwerten (Umsetzen) von MBT. Hierbei wird davon ausgegangen, daß das Recycling dort erfolgt, wo der Baustoff hergestellt wurde, und das Deponieren und das Wiederverwerten in nahegelegenen Orten erfolgt. Die verwendeten Werte sind im Ökokontenrahmen dargestellt (s. Anhang 6).

2.3.3 Produktion

Bilanzraum:

Dieser Abschnitt umfaßt die gesamte Produktion von der Rohstoffaufbereitung bis zum Verpacken und Verladen der Baustoffe (s. Anhang 7 und 8).

Bilanzeinheit:

1m3 Planblock bzw. Montagebauteil

Annahmen, Vereinfachungen und Quellen:

Die verwendeten Daten sind Durchschnittswerte aus mehreren YTONG-Werken. Daraus ergeben sich für die Gesamtproduktion jeweils eine Durchschnittsdichte für den Planblock von 457 kg/m³ bzw. von 549 kg/m³ für das Montagebauteil. Der Rückgutschlamm, d.h. der beim Schneiden entstandene und rückgeführte Abfall, wird anteilmäßig bei den Rohstoffen mitberücksichtigt.

Als Dichte für den zu entsorgenden Baustoffabfall wird 0,4 kg/dm³, für Abfälle bei der Herstellung der Bewehrungen wird eine Dichte von 1 kg/dm³ angenommen.

2.3.4 Montage

Bilanzraum:

Dieser Abschnitt umfaßt die Fertigstellung von 1m² Außenwand inklusive des Mauerns, des Verputzens und des eventuellen Kran-/Förderbandumsetzens (s. Anhang 9). Als Dichte für den zu entsorgenden Baustoffabfall wird 0,4 kg/dm³ angenommen.

Bilanzeinheit:

1 m² Wand

Annahmen, Vereinfachungen und Quellen:

Da für diesen Prozeßschritt keine genauen Energieverbräuche erfaßt wurden, wurden folgende Werte geschätzt: 24er Wand: 2 kWh, 36,5er Wand: 3 kWh, MBT: 5 kWh.

Die Daten für die Herstellung des Dünnbett-Mörtels sowie des Putzes werden bei der Gesamtbilanzierung dieser Phase zugerechnet.

Montagebruch:

Planblock: 50% gelangen zurück ins Werk zum Recycling, 50% auf die Deponie;

MBT: 100% gelangen zurück ins Werk zum Recycling (Transporte, die für den Montagebruch notwendig sind, werden vernachlässigt).

2.3.5 Gebrauch

Bilanzraum:

Die Gebrauchsphase umfaßt den Zeitraum der aktiven Nutzung des Hauses bzw. der Industriehalle (s. Anhang 10).

Bilanzeinheit:

1 m² Wand

Annahmen, Vereinfachungen und Quellen:

Zeiträume:

Haus: 80 Jahre Nutzung werden angenommen, wobei nach 40 Jahren ein neuer Außenputz aufgetragen wird;

Industriehalle: 30 Jahre Nutzung werden zugrundegelegt.

Die gewählten Zeiträume stellen keine Maximalnutzungsdauer für die Baustoffe dar, sondern orientieren sich an der Realität, z.B. beträgt die derzeitige Ersatzzeit bei heutigem Bauvolumen bezogen auf 1m² Wohnfläche 79,9 Jahre (YTONG-Information).

Notwendige Heizenergie:

Die verwendeten Daten wurden von seiten der YTONG AG für zwei typische Anwendungsfälle nach den Berechnungsvorschriften der neuen Wärmeschutzverordnung berechnet. Zugrunde gelegt wurde ein kleines Einfamilienhaus (99,8 m² Wohnfläche bei der 36,5er Wand bzw. 105,4 m² bei der 24er Wand) und ein typischer Industriehallenbau (12m x 35m x 6m). Die Umrechnung der Heizenergie auf die einzelnen

Energieträger Kohle, Erdgas, Heizöl, Fernwärme und Elektroenergie (weitere Energieträger wurden vernachlässigt) erfolgt anhand der Angaben des Statistischen Jahrbuches 1995. Als Wirkungsgrad für die Wärmebereitstellung werden einheitlich 85 % zugrundegelegt. Die genauen Daten sind in der Tabelle im Anhang 4 dargestellt.

Die Daten für die Herstellung des Putzes werden bei der Gesamtbilanzierung dieser Phase zugerechnet. Als Dichte für den zu entsorgenden Außenputz wird 1 kg/dm³ angenommen.

2.3.6 Entsorgung

Bilanzraum:

Dieses System umfaßt die Stoffströme für die Entsorgung. Dabei werden geeignete Annahmen aus heutiger Sicht

zugrunde gelegt (s. Anhang 11).

Bilanzeinheit:

1 m3 Baustoff

Annahmen,

Vereinfachungen

und Quellen:

YTONG-Planblock:

50 % Recycling; 50 % Deponie

MBT:

1/3 Recycling; 1/3 Wiederverwertung (Umsetzen); 1/3

Deponie

Als Dichte für die zu entsorgenden Baustoffe wird 0,5 kg/dm³

angenommen.

2.3.7 Gesamtbilanzierung

Die Gesamtbilanzierung erfolgt in Form eines Gesamt-Ökokontenrahmens, der auf 1 m² Außenwand eines Hauses bzw. einer Industriehalle über den gesamten Lebensweg bezogen wird. In diesem Ökokontenrahmen sind einerseits die Stoff- und Energieströme und die daraus resultierenden Emissionen für alle betrachteten Prozeßschritte einzeln dargestellt und andererseits zu Lebenswegstufen und zur Gesamtbilanz über den ganzen Lebensweg zusammengefaßt.

Dazu werden die einzelnen vorher beschriebenen Ökokontenrahmen mit Hilfe von Umrechnungsfaktoren miteinander verknüpft.

Hierbei werden für die jeweilige Lebensphase Faktoren festgelegt und zu zwei Gesamtfaktoren zusammengeführt. Die Faktoren berücksichtigen die Rezeptur (Produktanteil), die Bilanzeinheit (Bezugsgrößenfaktor), die Dichte (Dichtefaktor) und die Verluste wie Abfälle (Zurechnungsfaktor 1) bzw. Verluste und Kuppelproduktion (Zurechnungsfaktor 2). Die Faktoren sind wie folgt definiert:

Bezugsgrößenfaktor: Faktor zur Umrechnung der jeweiligen Bilanzeinheit in die

definierte Bilanzeinheit 1m² Wandfläche (Wanddicken:

YTONG-Planblock 24 bzw. 36,5 cm; Montagebauteil 20 cm).

Dichtefaktor: Faktor zur Umrechnung der jeweiligen Dichte in die definier-

te Dichte von 400 kg/m³ (YTONG-Planblock) bzw. 500 kg/m³

(Montagebauteil).

Zurechnungsfaktor 1: Faktor zur Zurechnung der durch die Verluste bedingten er-

höhten Rohstoffinputs.

Zurechnungsfaktor 2: Faktor zur Zurechnung der durch die Verluste und Kuppel-

produktion bedingten erhöhten Rohstoffinputs.

Der Gesamtfaktor 1 dient der Berechnung der auf die reine YTONG-Baustoffproduktion entfallenden Umweltwirkungen und schließt damit z.B. die Energieverbräuche der Kuppelproduktion aus.

Der Gesamtfaktor 2 dient nur zur richtigen Abbildung der tatsächlichen Stoffströme und schließt hier die Kuppelproduktion im Gesamtkontenrahmen mit ein. Die detaillierten Angaben zu den einzelnen Faktoren sind im Anhang 12 zu finden.

Die sehr ausführliche Darstellung der Gesamt-Ökokontenrahmen ermöglicht somit detaillierte Analysen über den gesamten Lebensweg der betrachteten Produkt-anwendungen.

Die folgenden Abbildungen stellen die Gesamt-Ökokontenrahmen (die einzelnen Lebenswegstufen sind der Übersichtlichkeit halber zusammengefaßt) für die folgenden betrachteten Produktanwendungen dar:

- 1 m² Außenwand aus Porenbetonbaustein 24er Wanddicke
- 1 m² Außenwand aus Porenbetonbaustein 36,5er Wanddicke
- 1 m² Außenwand aus Porenbeton-Montagebauteil 20er Wanddicke.

Abbildung 5: Gesamt-Ökokontenrahmen für 1m² Außenwand aus Porenbetonbaustein mit 24er Wanddicke - Input

		Einheit	Rohstoff- herstellung	Produktion	Montage	Gebrauchs- phase	Entsorgung	Transporte	GESAMT
Input									
1.	Werkstoffe				_ ·				
1.1.	Rohstoffe	[kg]		1					132,355
1.1.1.	Sand	[kg]		65,116					65,116
1.1.2.	Kalk	[kg]		15,848					15,848
1.1.3.	Zement	[kg]		14,338					14,338
1.1.4.	Anhydrit	[kg]		2,587					2,587
1,1.5.	Alu-Pulver	[kg]		0.097					0,097
1.1.6.	Splitt	[kg]		4,528					4,528
1.1.8.	Dünnbett-Mörtel	[kg]		1,020	3,840		1.1		3,840
1.1.9.	Kalk-Zement-Putz	[kg]			8,000	8,000			16,000
1.1.10.	Gipsputz	[kg]			10,000	0,000		-	10,000
1.1.10.	Оірэрик	[1/9]			10,000				10,000
1.2.	Hilfs- und Betriebsstoffe								
1.2.1.	Mahlkörper	[kg]		0,200					0,200
1.2.2.	Seife	[kg]		0,002					0,002
1.2.3.	Formenöl	[kg]		0,065					0,065
1.2.4.	PE-Folie	[kg]		0,170					0,170
1.2.5.	Palette neu	[Stück]		0,130					0,130
1.2.6.	Palette alt	[Stück]		0,150		,			0,150
1.2.7.	Verladewinkel	[Stück]		0,007					0,007
1.3.	Wasser		 						
1.3.1.	Oberflächenwasser	[1]		27,360					27,360
2.	Energie								
2.1.	Elektroenergie								
2.1.1.	EE BRD	[kWh]	3,897	4,456	2,423	59,757			128,258
2.2.	Primärenergie	[MJ]	98.792	82,393	20.563	11639,000		41,475	11882,223
2.2.1.1	Erdgas Heizung	[MJ]	,	0.002		7450,991			7450,992
2.2.1.2	Erdgas Heizwerk	[MJ]		36,584					36,584
2.2.1.3	Erdgas Feuerung	[MJ]	29,129		5,604	4,600			39,333
2.2.2.1	Heizől EL Heizung	[MJ]	20,120		0,001	3945,341			3945,341
2.2.2.2	Heizöl EL Heizwerk	[MJ]	1.297	44,136	0.109	0.090	*****		45,632
2.2.3.	Heizöl S Feuerung	[MJ]	12,965	.,,	2,125	1,745			16,835
2.2.4.	Steinkohle Feuerung	[MJ]	43,094		9,769	8,019			60,882
2.2.5.1	Braunkohle Heizung	[MJ]	,004		2,700	47,534			47,534
2.2.5.2	Braunkohle Feuerung	[MJ]	12,307		2,956	2,426			17,689
2,2.6.	Fernwärme	[MJ]	,007	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		178,253		} · · · · · · · · · · 	178,253
2.2.7.	Diesel	[km]		0.128		110,200			1,0,200
		[,,		5,120					
	Energieäquivalenzwert	[MJ]	152,774	141,642	50,465	13282,211		46,037	13673,130

Abbildung 6: Gesamt-Ökokontenrahmen für 1m² Außenwand aus Porenbetonbaustein mit 24er Wanddicke - Output

		Einheit	Rohstoff- herstellung	Produktion	Montage	Gebrauchs- phase	Entsorgung	Transporte	GESAMT
Outpu	ıt								
3.	Produkte	1							
3.1.	Kuppelprodukte	[kg]		6,500	0,300		59,000		65,800
		1							
4.	Emissionen								
4.1.	Luftbelastungen			***************************************					
4.1.1.	CO2	[g]	28285,104	9055,359	7568,077	820267,144		3394,812	868570,496
4.1.2.	CO	[9]	6,795	5,479	2,363	744,375		7,425	766,438
4.1.3.	Staub	[g]	1069,071	0,681	231,915	223,001		1,929	1526,596
4.1.4.	CH4	[g]	36,129	14,573	10,074	2426,088		0,812	2487,676
4.1.5.	NOx	[g]	16,489	9,457	4,484	727,107		40,775	798,313
4.1.6.	N2O	[g]	0,537	0,211	0,149	15,211		0,003	16,111
4.1.7.	SO2	[g]	14,931	7,953	3,014	560,452		2,097	588,448
4.1.8.	NMVOC	[g]	0,626	1,455	0,228	153,012		0,805	156,126
4.1.9.	HCI	[g]	0,501		0,111	0,091			0,703
4.1.10.	HF	[g]	0,024		0,005	0,004			0,034
4.1.11.	Cl2	[g]	0,000						0,000
4.1.14.	Aldehyde	[g]	0,004		-				0,004
4.1.15.	org. Verb.	[9]	0,007						0,007
4.1.16.	NH3	[9]	0,001						0,001
4.1.17.	Benzol	[9]		0,024				0,605	0,629
4.1.18.	Toluol	[9]		0,001				0,025	0,026
4.1.19.	Xylol	[g]		0,001				0,025	0,026
4.1.20.	Dieselruß	[9]		0,029				0,710	0,738
4.1.21.	CH	[g]		0,131				3,250	3,381
4.1.23.	H2	[g]		9,511					9,511
4.1.24.	Wasserdampf	[g]		20640,000					20640,000
4.2.	Wasserbelastungen								
4.2.1.	gel. Feststoffe	[g]	0,989						0,989
4.2.2.	susp. Feststoffe	[g]	0,086						0,086
4.2.3.	BOD5	[g]	0,076						0,076
4.2.4.	COD	[g]	1,249						1,249
4.2.6.	Öle	[9]	0,045						0,045
4.2.8.	NH3	[g]	0,001						0,001
4.2.9.	Fluoride	[g]	1,74E-04						1,74E-04
4.2.10.	Chloride	[9]	0,022						0,022
4.2.13.	Nitrat	[9]	0,001					1	0,001
4.2.15.	org. Verbindungen	[9]	0,003						0,003
4.3.	feste Abfälle	-							
4.3.1.	Recycling	[cm3]					118000,000		118000,000
4.3.3.	Enddeponie (Prozeß)	[cm3]	72.386	317,048			110000,000		389,433
4.3.4.	Enddeponie (Bauschutt)	[cm3]	12,300	317,040	1256,250	8000,000	118000.000		127256,250

Abbildung 7: Gesamt-Ökokontenrahmen für 1m² Außenwand aus Porenbetonbaustein mit 36,5er Wanddicke - Input

·			Rohstoff-			Gebrauchs-			
-		Einheit	herstellung	Produktion	Montage	phase	Entsorgung	Transporte	GESAMT
Input									· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
1.	Werkstoffe								
1.1.	Rohstoffe								187,667
1.1.1.	Sand	[kg]		99,031					99,031
	Kalk	[kg]		24,102					24,102
1.1.3.	Zement	[kg]		21,806					21,806
1.1.4.	Anhydrit	[kg]		3,935					3,935
	Alu-Pulver	[kg]		0,148					0,148
1.1.6.	Splitt	[kg]		6,886					6,886
1.1.8.	Dünnbett-Mörtel	[kg]			5,760				5,760
1.1.9.	Kalk-Zement-Putz	[kg]			8,000	8,000			16,000
1.1.10.	Gipsputz	[kg]			10,000				10,000
1.2.	Hilfs- und Betriebsstof	ffe							
1.2.1.	Mahlkörper	[kg]		0,300		,			0,300
1.2.2.	Seife	[kg]		0,004					0,004
1.2.3.	Formenöl	[kg]	-	0,100					0,100
1.2.4.	PE-Folie	[kg]	-	0,260					0,260
1.2.5.	Palette neu	[Stück]		0,200		-			0,200
1.2.6.	Palette alt	[Stück]		0,220					0,220
1,2,7,	Verladewinkel	[Stück]		0,010					0,010
		1		7,010					
1.3.	Wasser								·
1.3.1.	Oberflächenwasser	īn		41,610					41,610
				,					
2.	Energie								
	Elektroenergie						-		
2.1.1.	EE BRD	[kWh]	5,758	6,776	3,465	47,293			63,293
	LL BIID	1 1	0,100	0,110	5,.55	11,200			00,200
2.2.	Primärenergie	[MJ]	150,247	125,307	22,405	9201,115		59,742	9558,815
	Erdgas Heizung	[MJ]	,	0,003		5888,052		30,1.12	5888,055
	Erdgas Heizwerk	[MJ]		55,638		0000,000			55,638
	Erdgas Feuerung	[MJ]	44,300	00,000	6,106	4,600			55,007
	Heizöl EL Heizung	[MJ]	,000		0,100	3117,757			3117,757
	Heizöl EL Heizwerk	[MJ]	1,973	67,123	0,119	0.090			69,305
	Heizöl S Feuerung	[MJ]	19,717	37,120	2,316	1,745			23,777
2.2.4.	Steinkohle Feuerung	[MJ]	65,539		10,644	8,019			84,202
	Braunkohle Heizung	[MJ]	00,000		10,044	37,563			37,563
2.2.6.	Fernwärme	[MJ]				140,862			140,862
2.2.7.	Diesel	[km]		0,195		170,002			170,002
<u> </u>	DIOGOI	[KIII]		0,193				 	
	Energieäquivalenzwert	[MJ]	232,344	215,414	64,548	10500,779		66,314	11079,399

Abbildung 8: Gesamt-Ökokontenrahmen für 1m² Außenwand aus Porenbetonbaustein mit 36,5er Wanddicke - Output

			Rohstoff-			Gebrauchs-			
		Einheit	herstellung	Produktion	Montage	phase	Entsorgung	Transporte	GESAMT
Outpu	t								
3.	Produkte								
3.1.	Kuppelprodukte	[kg]		9,700	0,400		84,900		95,000
4.	Emissionen								
4.1.	Luftbelastungen	-							
4.1.1.	CO2	[g]	43016,929	13771.692	8833,251	649262,587		4890.035	719774,495
4.1.2.	CO	[9]	10,334	8,333	3,050	588,440		10,696	620,854
4.1.3.	Staub	[9]	1625,878	1,036	252,751	216,129		2,778	2098,572
4.1.4.	CH4	[g]	54,946	22,164	12,426	1918,312		1,169	2009,018
4.1.5.	NOx	[g]	25,077	14,383	5,577	575,070		58,734	678,840
4.1.6.	N2O	[9]	0.817	0,321	0,185	12,036		0,005	13,364
4.1.7.	SO2	[9]	22,708	12,096	3,704	443,232		3,021	484,762
4.1.8.	NMVOC	[9]	0,952	2,213	0,290	120,937		1,160	125,552
4.1.9.	HCI	[9]	0,762	2,210	0,121	0,091		1,100	0,974
4.1.10.	HF	[9]	0.037		0.006	0,004			0.047
4.1.11.	Ci2	[g]	13.2E-6		0,000	0,001			13,2E-6
4.1.14.	Aldehyde	[9]	0.006						0,006
4.1.15.	org. Verb.	[g]	0,011						0,011
4.1.16.	NH3	[g]	0.002						0,002
4.1.17.	Benzol	[9]		0,037				0,871	0,908
4.1.18.	Toluol	[g]		0.002				0,037	0.038
4.1.19.	Xylol	[9]		0.002				0,037	0,038
4.1.20.	Dieselruß	[g]		0,044				1,022	1,066
4.1.21.	CH	[9]		0,199	•			4,681	4,880
4.1.23.	H2	[9]		14,465				.,,	14,465
4.1.24.	Wasserdampf	[9]		31390,000					31390,000
									<u></u>
4.2.	Wasserbelastungen	 							
4.2.1.	gel. Feststoffe	[9]	1,504						1,504
4.2.2.	susp. Feststoffe	[9]	0,131						0,131
4.2.3.	BOD5	[9]	0,116						0,116
4.2.4.	COD	[9]	1,900						1,900
4.2.6.	Öle	[9]	0,068						0,068
4.2.8.	NH3	[9]	0,001					2	0,001
4.2.9.	Fluoride	[9]	264,5E-6						264,5E-6
4.2.10.	Chloride	[9]	0,034						0,034
4.2.13.	Nitrat	[9]	0,001						0,001
4.2.15.	org. Verbindungen	[9]	0,005						0,005
4.3.1.	Recycling	[cm3]					169800,000		169800,000
4.3.3.	Enddeponie (Prozeß)	[cm3]	110,087	482,176					592,263
4.3.4.	Enddeponie (Bauschutt)	[cm3]			1758,750	8000,000	169800.000		179558,750

Abbildung 9: Gesamt-Ökokontenrahmen für 1m² Außenwand aus Porenbeton-Montagebauteil - Input

			Rohstoff-			Gebrauchs-			
		Einheit	herstellung	Produktion	Montage	phase	Entsorgung	Transporte	GESAMT
Input									
1.	Werkstoffe		Ī.						
1.1.	Rohstoffe								112,041
1.1.1.	Sand	[kg]		59,253					59,253
1.1.2.	Kalk	[kg]		17,788					17,788
1.1.3.	Zement	[kg]		17,130					17,130
1.1.4.	Anhydrit	[kg]		3,063					3,063
1.1.5.	Alu-Pulver	[kg]		0,082					0,082
1.1.6.	Splitt	[kg]		8,953					8,953
1.1.7.	Stahl	[kg]		5,772					5,772
1.2.	Hilfs- und Betriebssto	ffe							
1.2.1.	Mahlkörper	[kg]		0,300					0,300
1.2.2.	Seife	[kg]		0,000					0,000
1.2.3.	Formenöl	[kg]		0,060					0,060
1.2.5.	Palette neu	[Stück]		0,040					0,040
1.2.6.	Palette alt	[Stück]		0,020					0,020
1.2.8.	Rostschutz	[kg]		0,180					0,180
1.2.9.	Imprägniermittel	[kg]	-	0,020					0,020
	Ausbesserungsmasse	[kg]	_	0,230					0,230
				,					
1.3.	Wasser								
1.3.1.	Oberflächenwasser	[I]		28,500					28,500
2.	Energie								
2.1.	Elektroenergie								
2.1.1.	EE BRD	[kWh]	7,789	5,740	5,000	42,056			60.584
2.1.2.	EE Bahn	[kWh]							0,124
2.2.	Primärenergie	[MJ]	134,005	75,976		2206,129		41,658	2457,768
2.2.1.2	Erdgas Heizwerk	[MJ]		32,210	-	1456,333			1488,543
2.2.1.3	Erdgas Feuerung	[MJ]	38,234						38,234
	Heizöl EL Heizwerk	[MJ]	1,583	40,816		595,991			638,390
2.2.3.	Heizöl S Feuerung	[MJ]	23,316						23,316
2.2.4.	Steinkohle Feuerung	[MJ]	56,970						56,970
	Braunkohle Feuerung	[MJ]	13,902			19,226			33,127
2.2.6.	Fernwärme	[MJ]	,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,	·		134,579			134,579
2.2.7.	Diesel	[km]		0,226		,-,-			
	Energieäquivalenzwert	[MJ]	238,756	149,578	57,960	2797,122		47,455	3290,871

Abbildung 10: Gesamt-Ökokontenrahmen für 1m² Außenwand aus Porenbeton-Montagebauteil - Output

			Rohstoff-			Gebrauchs-			
	<u> </u>	Einheit	herstellung	Produktion	Montage	phase	Entsorgung	Transporte	GESAMT
Output		1				·			
3.	Produkte	1							
3.1.	Kuppelprodukte	[kg]		8,700	0,100		33,300		42,100
	Emissionen								4
	Luftbelastungen								
	CO2	[9]	34981,509	9548,120	3560,220	172698,092		3490,960	224278,900
	co	[9]	15,974	6,196	2,880	97,688		7,493	130,231
	Staub	[g]	1175,470	0,827	0,410	7,945		1,945	1186,598
	CH4	[g]	58,609	16,101	8,788	334,341		1,105	418,944
	NOx	[9]	25,631	11,418	4,185	137,114		41,020	219,367
	N2O	[9]	1,511	0,238	0,137	4,068		0,007	5,960
	SO2	[g]	37,042	8,249	2,551	107,819		2,165	157,827
	NMVQC	[g]	0,663	1,451	0,256	21,436		0,813	24,619
	HCI	[g]	0,552			0,054			0,606
	HF	[g]	0,027			0,004			0,031
	Cl2	[g]	7,0E-6						7,0E-6
4.1.14.	Aldehyde	[g]	0,025						0,025
4.1.15.	org. Verb.	[g]	0,045						0,045
4.1.16.	NH3	[g]	0,010						0,010
4.1.17.	Benzol	[g]		0,043				0,607	0,650
4.1.18.	Toluoi	[g]		0,002				0,026	0,027
4.1.19.	Xylol	[g]		0,002				0,026	0,027
4.1.20.	Dieselruß	[g]		0,050				0,713	0,763
4.1.21.	СН	[g]		0,231				3,264	3,495
4.1.23.	H2	[g]		7,842					7,842
4.1.24.	Wasserdampf	[9]		21500,000					21500,000
							,		
	Wasserbelastungen								
	gel. Feststoffe	[9]	5,432						5,432
	susp. Feststoffe	[9]	1,472						1,472
	BOD5	[9]	0,034						0,034
	COD	[9]	0,805						0,805
	Öle	[9]	2,529						2,529
	NH3	[g]	0,005						0,005
	Fluoride	[9]	0,106						0,106
	Chloride	[9]	0,080						0,080
	Sulfat	[9]	1,309	1					1,309
	Nitrat	[g]	1,465						1,465
4.2.14.	Natrium	[9]	1,013						1,013
4.3.	feste Abfälle								
4.3.1.	Recycling	[cm3]		227,978			66600,000		66827,978
	Enddeponie (Prozeß)	[cm3]	666,001						666,001
	Enddeponie (Bauschutt)	[cm3]	333,001	273,573			66600,000		66873,573
							33333,300		38,300
4.3.4. 4.3.5.	Enddeponie (Bauschutt) Sonderabfall	[cm3]		273,573 38,300			66600,000		-

2.4 Auswertungen der Sachbilanz

Wie schon erwähnt, können bereits auf der Ebene der Sachbilanz quantitative Aussagen getroffen werden; insbesondere in bezug auf den Energieverbrauch und das Deponievolumen, das zur Entsorgung der Reststoffe benötigt wird. Diese beiden Punkte wurden in der ersten Version im Kapitel Wirkungsabschätzung bearbeitet; da es sich dabei aber nicht um Umweltwirkungen i.e.S., sondern um Auswertungen von Sachbilanzdaten handelt, werden diese Aspekte nun hier aufgeführt.

2.4.1 Energieverbrauch

Der Energieverbrauch wurde, wie unter 3.2 beschrieben, auf einen Äquivalenzwert umgerechnet, der es gestattet, Elektroenergie- und Primärenergieträgerverbrauch durch Umrechnungen in einem Wert auszudrücken. Die folgenden Abbildungen zeigen, wie sich der Energieverbrauch bei der 24er, der 36,5er und der MBT Wand über den gesamten Lebenszyklus verteilt. Es überrascht nicht, daß der höchste Wert in der Gebrauchsphase auftritt, da hier eine Lebensdauer von 80 Jahren bei den Wohnhausanwendungen zugrundegelegt wurde. Für die 24er Wand und die 36,5er Wand sind die Aussagen nahezu identisch; nach der Gebrauchsphase folgt die Rohstoffherstellung, etwa gleich hoch ist die Produktion; die Montage und die Transporte sind dagegen eher vernachlässigbar. Die Absolutwerte der 24er Wand liegen allerdings höher, was an der geringeren Wärmedämmung liegt. Über die Lebensdauer von 80 Jahren entsteht dadurch ein relevanter Unterschied.

Abbildung 11: Energieäquivalenzwerte für 1m² einer 24er YTONG-Wand

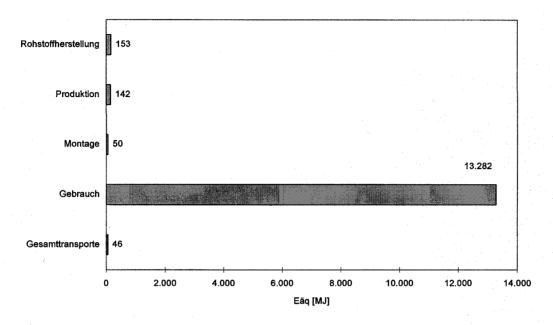
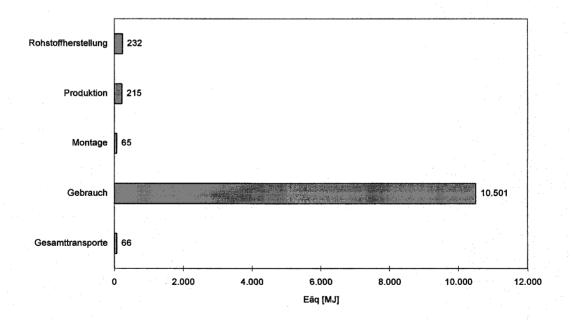
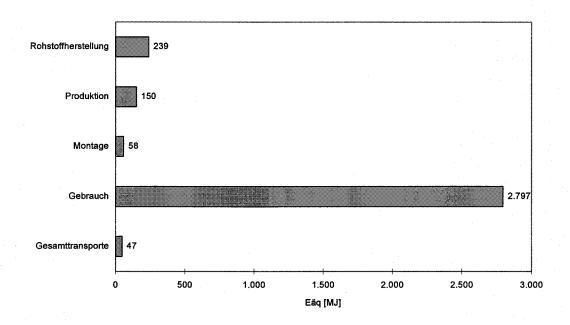


Abbildung 12: Energieäquivalenzwerte für 1m² einer 36,5er YTONG-Wand



Beim MBT fällt die Gebrauchsphase weniger stark ins Gewicht, da hier nur 30 Jahre Gebrauchsdauer angenommen werden. Betrachtet man die anderen Lebensphasen, wird deutlich, daß die Montage im Verhältnis mehr Energie gegenüber der 24er und der 36,5er Wand verbraucht. Die Rohstoffherstellung ist wie bei den anderen beiden YTONG-Anwendungen nach der Gebrauchsphase die energieintensivste Phase, gefolgt von der Produktion.

Abbildung 13: Energieäquivalenzwerte für 1m² einer 20er MBT-Wand



2.4.2 Deponievolumen

Der Hauptanteil am Deponievolumen entsteht selbstverständlich in der Entsorgungsphase. Doch auch in der Rohstoffherstellung und der Gebrauchsphase entstehen zu deponierende Abfälle prozeß- und energieverbrauchsbedingt (Klöpfer, W; Renner, I., 1994). In der Gebrauchsphase ist das u.a. der Putz, der nach 40 Jahren erneuert wird. In der Montage geht ein geringer Anteil an Bruch auf die Deponie. Die Herstellung der LDPE-Folie, die zur Verpackung der Planblöcke verwendet wird, trägt ebenfalls einen Teil zum Deponievolumen bei.

Abbildung 14: Deponievolumen durch 1m² 24er YTONG-Wand

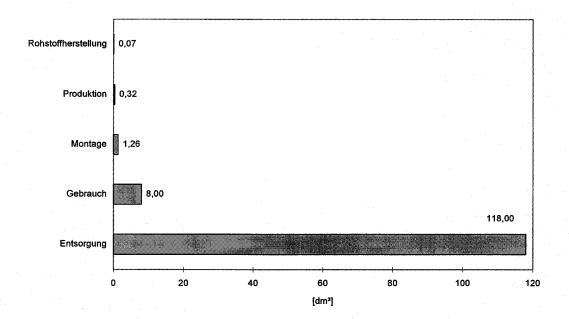
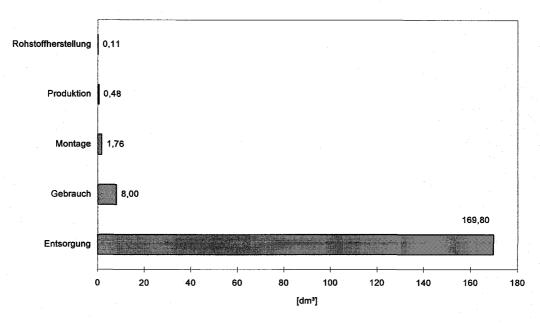
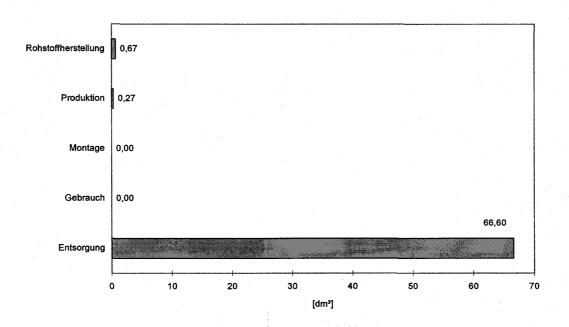


Abbildung 15: Deponievolumen durch 1m² 36,5er YTONG-Wand



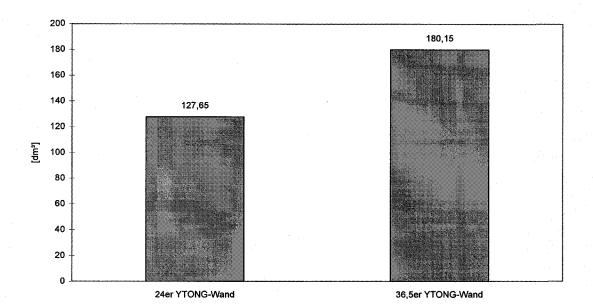
Eine Industriehalle wird nicht verputzt, daher fällt beim MBT in der Gebrauchsphase kein Deponievolumen an. Bei der Montage entsteht kein Bruch, also auch hier kein Deponievolumen. Bei der Rohstoffherstellung ist es aufgrund des hohen Abfallaufkommens in der Stahlproduktion höher.

Abbildung 16: Deponievolumen durch 1m² MBT



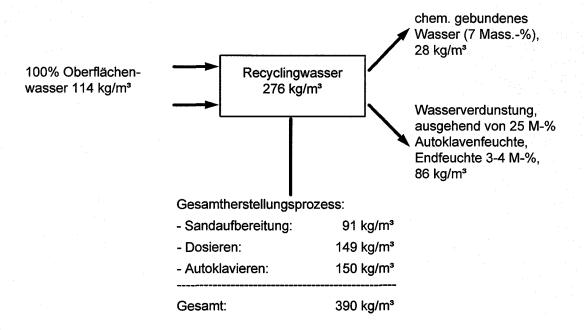
Beim Vergleich der beiden Wanddicken 24 cm und 36,5 cm schneidet die zweite Variante beim Deponievolumen schlechter ab, bedingt durch den höheren Materialverbrauch.

Abbildung 17: Vergleich des Deponievolumens durch 1m² 24er und 36,5er YTONG-Wand



2.4.3 Wasserverbrauch

Die Wasserbilanz der Porenbetonherstellung wird in der folgenden Abbildung für die Rohdichte 400 kg/m³ dargestellt.



Bei dem eingesetzten Oberflächenwasser handelt es sich um Regenwasser, Grubenwasser bzw. um Wasser aus Oberflächengewässern wie z.B. Flüssen. Zu beachten ist dabei, daß der überwiegende Anteil des eingespeisten Oberflächenwassers (75%) über Verdunstung aus den feuchten Porenbetonsteinen wieder der Biosphäre zugeführt wird und nur ein Viertel chemisch gebunden wird.

3 Wirkungsabschätzung

In der Sachbilanz wurden die Stoff- und Energieströme der YTONG-Baustoffe systematisch erhoben und dargestellt. Die Wirkungsabschätzung ist nun der Schritt innerhalb der Ökobilanz, in dem die Vielzahl der Sachbilanzdaten im Hinblick auf ihre ökologische Relevanz vorstrukturiert (klassifiziert) und zusammengefaßt (charakterisiert) wird, um die anschließende Bewertung vorzubereiten. Das Spezifische und Neue an der Wirkungsabschätzung ist, daß sich die Strukturierung an den potentiellen Umweltwirkungen orientiert, die durch die jeweiligen Ressourcenentnahmen, Emissionen, etc. hervorgerufen werden. Das bedeutet, daß die im Untersuchungssystem auftretenden Emissionen mit derzeit bekannten und nachvollziehbaren Umweltwirkungen wie z.B. Treibhauseffekt oder Eutrophierung in Zusammenhang gebracht werden.

können innerhalb einer Ökobilanz nie alle potentiell auftretenden Umweltwirkungen bearbeitet werden, eine Beschränkung einerseits auf die wichtigsten und andererseits auf die machbaren ist nötig. Die derzeit in Entwicklung befindliche Normenreihe DIN/ISO 14040ff. Produkt-Ökobilanzen sollte daher diejenigen Wirkungskategorien festschreiben, die in jeder seriösen Ökobilanz zu bearbeiten sind, sowie die jeweiligen Gewichtungsalgorithmen. Ob dabei jeweils nur ein Verfahren oder mehrere gleichwertige vorgeschlagen werden, ist noch nicht abzusehen, nicht zuletzt. da dieser Prozeß auf der nationalen (UA2 Wirkungsbilanz/Bilanzbewertung beim DIN-NAGUS) und internationalen Ebene bei ISO noch nicht abgeschlossen ist.

Kann in einer Ökobilanz zu einzelnen Wirkungskategorien keine Stellung bezogen werden, ist dies zu begründen. Zum heutigen Zeitpunkt können einige Wirkungskategorien nicht quantitativ erfaßt werden, da kein adäquates, konsensfähiges Verfahren zur Aggregation der Daten vorliegt. Das ist z.B. bei der Human- und der Ökotoxizität der Fall. Dennoch ist es das Ziel einer Ökobilanz, diese Punkte zumindest qualitativ anzusprechen, um möglichst große Transparenz und Vergleichbarkeit zu schaffen.

In diesem Kapitel werden nun zunächst die untersuchten Umweltwirkungen und im Anschluß daran die Teilschritte und die Vorgehensweise in der Wirkungsabschätzung beschrieben. Darauf folgt eine Einführung der Wirkungskategorien und der Gewichtungsalgorithmen. Im letzten Abschnitt wird schließlich die eigentliche Wirkungsabschätzung der 24er und 36,5er YTONG-Wand sowie des Montagebauteils (MBT) dargestellt und erläutert.

3.1 Beschreibung der potentiellen Umweltwirkungen

An dieser Stelle werden die Wirkungen beschrieben, die sich hinter Begriffen wie Treibhauseffekt, Eutrophierung etc. verbergen, ohne dabei auf alle Einzelheiten der Wirkungszusammenhänge, gegenseitigen Verstärkungen etc. einzugehen (Katalyse e.V., 1993; Nentwig, W., 1995). Die Tatsache, daß es sich zumeist nicht um eine einzige, klar begrenzte Wirkung, sondern um eine Abfolge von Wirkungen handelt, die von verschiedenen Parametern beeinflußt wird, soll hier nicht erschöpfend behandelt werden.

3.1.1 Ressourcenknappheit

Im Zuge der Diskussion um nachhaltige Entwicklung ist der Umgang mit nachwachsenden wie nicht-nachwachsenden, fossilen wie mineralischen Ressourcen verstärkt in die Diskussion gelangt. In der vorliegenden Ökobilanz wird die Wirkungskategorie Ressourceninanspruchnahme aufgrund der Datenlage ausschließlich auf fossile Ressourcen und im Hinblick auf deren Knappheit angewendet. Daher wird der Begriff Ressourcenknappheit gewählt. Die fossilen Ressourcen Stein- und Braunkohle sowie Rohöl und Rohgas werden in Anlehnung an die Ökobilanz von Getränkeverpackungen des Umweltbundesamtes (Schmitz et al., 1995) in Rohöläquivalente umgerechnet und als Rohölknappheitswert angegeben.

3.1.2 Treibhauseffekt

Die im Tagesverlauf auf die Erdoberfläche einfallende Sonnenstrahlung wird als Wärme gespeichert und während der Nacht als Infrarotstrahlung wieder abgegeben. Ein Teil dieser Infrarotstrahlung wird von Spurengasen, die sich in der Troposphäre (0 - 10 km) befinden, absorbiert und auf die Erdoberfläche reflektiert. Dieser natürliche Treibhauseffekt ist lebenswichtig, da die Erdoberfläche ansonsten unwirtliche Minusgrade aufweisen würde. Der als Umweltproblem diskutierte Treibhauseffekt umschreibt nun die zusätzliche Erwärmung der Erdoberfläche, hervorgerufen durch die Zunahme der Spurengase und das Auftreten neuer Treibhausgase in der Troposphäre wie bspw. der FKW (Fluorkohlenwasserstoffe). Die wichtigsten Treibhausgase sind Kohlendioxid, Methan, Ozon, FKW und Distickstoffoxid, die zu 50% aus dem Energieverbrauch, zu 20% aus der Chemischen Industrie, zu 15% aus der Landwirtschaft und zu weiteren 15% aus der Zerstörung der Regenwälder herrühren.

Mit dem Treibhauseffekt wird eine Vielzahl von Wirkungen umschrieben, die aus der Erwärmung der Atmosphäre resultieren. Dazu gehören neben einem steigenden Meeresspiegel auch die Zunahme extremer klimatischer Ereignisse wie Orkane, Sturmfluten, Dürrekatastrophen etc. Auch Änderungen in der Zusammensetzung und dem Verbreitungsgebiet von Flora und Fauna sind bereits zu beobachten.

Dazu kommt die gegenseitige Verstärkung von Treibhauseffekt und Ozonabbau. Die Erwärmung bodennaher Schichten ist verbunden mit einem Temperaturrückgang in der Stratosphäre, was wiederum den Ozonabbau begünstigt. Die durch den Ozonabbau ermöglichte verstärkte UV-Einstrahlung schädigt u.a. das empfindliche Meeresplankton, bei dessen Absterben zusätzliches Kohlendioxid freigesetzt und damit erneut der Treibhauseffekt angeheizt wird.

3.1.3 Versauerung

Die Versauerung stellt einen Sammelbegriff für mehrere unterschiedliche Wirkungen dar. Zurückzuführen ist das Phänomen auf Schwefeldioxid- und Stickoxidemissionen aus der Verbrennung fossiler Rohstoffe in Kraftwerken und in zunehmendem Maße aus dem motorisierten Verkehr. Darüber hinaus tragen auch Emissionen von Ammoniak, Chlor- und Fluorwasserstoff zur Versauerung bei. Schwefeldioxid- und Stickoxidemissionen reagieren mit Luftsauerstoff und Wasser zu Schwefel- oder Salpetersäure.

Vom Säureeintrag betroffen sind Gewässer, Böden und Pflanzen sowie Gebäude, je nachdem, wohin die luftgetragenen Schadstoffemissionen durch Abregnen gelangen.

Als direkte Wirkung auf Pflanzen wird die Wachsschicht auf den Blättern, die als Verdunstungs- und Schädlingsschutz dient, angegriffen; darüber hinaus sind Verätzungen der Baumrinde zu beobachten. Der Säureeintrag in Böden und Gewässer beeinträchtigt deren Neutralisationsfähigkeit und damit das ökologische Gleichgewicht. Erkennbare Folge ist das Aussterben von Tier- und Pflanzenarten in Gewässern. Die Bodenversauerung zieht eine ganze Reihe von Wirkungen nach sich: Zum einen wird die Anfälligkeit der Pflanzen für Krankheiten erhöht. Daneben werden lebensnotwendige Nährstoffe ausgewaschen und damit den Pflanzen entzogen. Schwermetalle und Aluminiumionen, die reichlich im Boden vorhanden (und toxisch) sind, werden ausgelöst, können dann von Pflanzen aufgenommen werden und so in die Nahrungskette oder ins Grundwasser gelangen. Schließlich schädigt das Aluminium bei gleichzeitigem Vorhandensein von Calcium- und Magnesium-Ionen die Feinwurzeln der Pflanzen.

Eine weitere, bereits seit den späten 70er Jahren bekannt gewordene Wirkung der Stick- und Schwefeloxide ist das Waldsterben, zu dem auch die Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft und die durch den Verkehr bedingte Photooxidantienbildung (Ozon) beitragen.

3.1.4 Eutrophierung

Unter Eutrophierung ist der vermehrte Nährstoffeintrag in Böden und Gewässer zu verstehen. Der anthropogene Eintrag von Stickstoffverbindungen (Nitraten u.a.) aus übermäßigem Düngemitteleinsatz sowie von Phosphorverbindungen (Phosphaten u.a.) aus Waschmitteln oder Exkrementen aus Abwässern führt zur Überdüngung von Gewässern. Neben diesen beiden Stoffgruppen wird der CSB (chemischer Sauerstoffbedarf) als Maß für den Eintrag organischer Schadstoffe herangezogen. Eine Folge des überhöhten Nährstoffangebotes ist das massenhafte Algenwachstum. Absterbende Algen werden unter hohem Sauerstoffverbrauch zersetzt und führen so zu Sauerstoffmangel im Gewässer. Als Folgeerscheinung treten Fäulnisprozesse auf, toxische Substanzen wie Schwefelwasserstoff werden gebildet, die wiederum zum Fischsterben führen. Das bedeutet, daß mit dem erhöhten Nährstoffeintrag in Gewässer ein sensibles Wirkungsgefüge nachhaltig und z.T. unwiderruflich gestört wird.

3.1.5 Humantoxizität

Humantoxizität ist ein schwer operationalisierbarer Sammelbegriff. Darunter müssen im Rahmen einer Ökobilanz so unterschiedliche Wirkungen wie Kanzerogenität, Teratogenität, chronische Schäden etc. zusammengefaßt werden. Entsprechend steht derzeit noch kein allgemein akzeptiertes Verfahren zur Verfügung, mit dessen Hilfe die Humantoxizität in einer Wirkungsabschätzung abgebildet werden könnte. Das Spektrum der Diskussion reicht von Einzelstoffbewertungen, wie sie vom Umweltbundesamt in der Ökobilanz von Getränkeverpackungen vorgenommen wurden (Schmitz et al. 1995), bis zu Aggregationen zu einem Wert durch Gewichtungen mit Hilfe von Grenzwerten wie den NOEC-Werten (no observed effect concentration, d.h. Konzentration, bei der keine Effekte beobachtet werden können).

3.1.6 Ökotoxizität

Auch hinter dem Begriff Ökotoxizität verbergen sich eine ganze Reihe unterschiedlicher Wirkungen. Auch für die Ökotoxizität wurden einige Verfahren der Datenaggregation vorgeschlagen, allgemein akzeptiert wurde bisher jedoch keines. In der vorliegenden Ökobilanz wird der Vorschlag unterbreitet, diese Wirkungskategorie zusammen mit der Humantoxizität, d.h. anhand derselben Kriterien zu bearbeiten. Es soll an dieser Stelle unterstrichen werden, daß eine Ökobilanz ohne die Wirkungskategorien Human- und Ökotoxizität wenig glaubwürdig ist.

3.2 Vorgehen zur Erstellung der Wirkungsabschätzung

3.2.1 Die Klassifizierung

Um aus der Vielzahl der Sachbilanzdaten aussagekräftige, gebündelte Informationen über die damit verbundenen Umweltwirkungen zu gewinnen, findet in der Wirkungsabschätzung zunächst eine Klassifizierung und im Anschluß daran eine Charakterisierung der Emissionen statt.

Klassifizierung beschreibt die Zuordnung der Emissionen zu den Wirkungen, die sie potentiell hervorrufen. Methodenbedingt werden in einer Ökobilanz keine real beobachteten Ursache-Wirkungszusammenhänge hergestellt, u.a. da keine lokalen Immissionen gemessen werden. Aufgezeigt werden die Wirkungspotentiale der in einem Untersuchungssystem auftretenden Emissionen. Das bedeutet also bspw., Kohlendioxid-Stickoxidemissionen daß alle und dem Treibhauseffekt zugeschrieben werden. Die Stickoxidemissionen können daneben iedoch auch zur Versauerung oder zum Abbau der stratosphärischen Ozonschicht beitragen. Die Wirkungskategorien werden aber so beschrieben, als würden jeweils alle Stickoxid-Emissionen zum Treibhauseffekt, zur Versauerung etc. beitragen. Der Begriff Wirkungspotential ist in diesem Sinne zu verstehen.

Das Ergebnis der Klassifizierung ist eine Liste mit Emissionen, die verschiedenen Wirkungskategorien zugeordnet sind, wobei Mehrfachnennungen von Emissionen in verschiedenen Kategorien auftreten.

3.2.2 Die Charakterisierung

Die Charakterisierung bezeichnet die Gewichtung der Emissionen innerhalb einer Wirkungskategorie gemäß ihrem Anteil an dieser Wirkung, denn nicht alle Emissionen tragen im selben Ausmaß dazu bei. Abhängig von ihren chemischen Eigenschaften (wie Langlebigkeit, Reaktivität etc.) ist die Wirksamkeit verschiedener Substanzen unterschiedlich groß. In den meisten Wirkungskategorien wird eine Leitsubstanz gewählt, zu deren Wirksamkeit die Wirksamkeit der anderen Substanzen ins Verhältnis gesetzt wird. Im Beispiel Treibhauseffekt ist die Referenzsubstanz Kohlendioxid, diese wird gleich eins gesetzt, Methan wird im Verhältnis dazu bspw. mit der Zahl 11 versehen (GWP 100), d.h. Methan ist über einen Zeitraum von 100 Jahren betrachtet 11 mal treibhausrelevanter als Kohlendioxid.

Mit diesen sogenannten Äquivalenzfaktoren (bzw. Gewichtungsfaktoren) werden die in der Klassifizierung zusammengestellten Emissionen multipliziert. Dadurch wird dem unterschiedlichen Potential der Substanzen, zu einer bestimmten Umweltwirkung beizutragen, Rechnung getragen.

Nachdem die Emissionen innerhalb einer Wirkungskategorie gemäß ihrem Anteil an der Umweltwirkung mit dem Äquivalenzfaktor multipliziert wurden, werden diese Werte zu je einer Zahl pro Wirkungskategorie, zum sogenannten Wirkungsindikator, addiert. Diese Wirkungsindikatoren können herangezogen werden um Vergleiche anzustellen, allerdings nur bezüglich je einer Wirkung. So kann der Wirkungsindikator Treibhauseffekt der 24er YTONG-Wand mit dem der 36,5er YTONG-Wand verglichen werden, nicht aber mit einem Versauerungsindikator.

Der Weg kann also von der Sachbilanz bis zum Wirkungsindikator verfolgt werden, indem die in einer Wirkungskategorie klassifizierten Emissionen aus der Sachbilanz mit den Äquivalenzfaktoren multipliziert und zu einem Indikator pro Wirkungskategorie addiert werden. In der Wirkungsabschätzung werden diese Indikatoren anhand graphischer Auswertungen diskutiert und erklärt.

3.3 Auswahl und Diskussion der Wirkungskategorien

Die Methode der Produkt-Ökobilanzierung wird auf verschiedenen Ebenen diskutiert, um methodische Konventionen als Norm festzulegen. Auf nationaler Ebene befaßt sich der 1993 gegründete "Normenausschuß Grundsätze des Umweltschutzes (NAGUS)" beim DIN mit Produkt-Ökobilanzen im Arbeitsausschuß 3 (AA3) mit den beiden Unterausschüssen 1, Sachbilanz (UA1) und 2,

Wirkungsbilanz/Bilanzbewertung (UA2). Auf internationaler Ebene existiert die International Standardisation Organisation (ISO). Darüber hinaus befaßt sich die Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) auf europäischer und internationaler Ebene mit diesem Thema. Dieser Zusammenschluß von Wissenschaftlern leistete sehr viel Vorarbeit, auf die in den Normungsgremien nun aufgebaut werden kann.

Diese etwas ausführliche Darstellung der mit dem Thema Produkt-Ökobilanzen befaßten Einrichtungen soll verdeutlichen, wie schwierig es ist, <u>einen</u> Diskussionsstand festzuhalten, da auf diesen Ebenen unterschiedlich weitgehende Übereinkünfte erzielt werden konnten und die Entwicklungsdynamik z.T. sehr groß ist.

In der hier vorgelegten Wirkungsabschätzung der YTONG-Produktanwendungen orientieren wir uns am Diskussionsstand im UA2. Dort wurde eine vorläufige sogenannte Standardliste an Wirkungskategorien festgelegt, die in jeder Ökobilanz berücksichtigt werden sollen. Diese Standardliste enthält folgende Wirkungskategorien:

- Ressourceninanspruchnahme
- Treibhauseffekt
- Ozonabbau
- Versauerung
- Eutrophierung

- Humantoxizität
- Ökotoxizität
- Sommersmog
- Lärm
- Naturraumbeanspruchung

Diese Liste konnte in der Wirkungsabschätzung der YTONG-Baustoffe nicht vollständig bearbeitet werden, zum einen aufgrund fehlender Daten (bspw. über Flächenverbrauch), zum anderen, da Emissionen, die bspw. den Ozonabbau bedingen, im Untersuchungssystem nicht entstehen.

In der internationalen Normungsdiskussion konnte eine Einigung auf eine derartige Liste noch nicht erzielt werden; hier werden vielmehr verschiedene Vorschläge diskutiert.

Die in der vorliegenden Ökobilanz bearbeiteten Wirkungskategorien können teilweise quantitativ und teilweise qualitativ dargestellt werden. Die Zielvorstellung in der Wirkungsabschätzungsdiskussion ist es, alle Wirkungskategorien quantitativ abzubilden. Derzeit stehen jedoch nicht für jede Wirkungskategorie allgemein akzeptierte Aggregationsverfahren zur Verfügung, so daß teilweise (noch) qualitativ vorgegangen werden muß. Qualitativ bedeutet hierbei verbal argumentativ, also die

Wirkung(en) beschreibend, ohne Zahlenwerte einzusetzen und zu einer Zahl zu aggregieren.

Weiterhin kann zwischen globalen und regional/lokal auftretenden Wirkungen unterschieden werden. Globale Wirkungen sind unabhängig vom Entstehungsort und damit in einer Ökobilanz methodisch bedingt mit größerer Genauigkeit erfaßbar. Dazu zählen der Treibhauseffekt (GWP = Global Warming Potential) und der Ozonabbau (ODP = Ozone Depletion Potential).

Sowohl Versauerung als auch Eutrophierung sind dagegen Umweltwirkungen, die regional wirken und je nach den Gegebenheiten in unterschiedlichem Maße problematisch sind. Treffen versauernde Emissionen bspw. auf einen Kalkboden, werden sie neutralisiert (und stellen demnach kein oder ein geringes Problem dar), treffen sie auf Böden mit geringer Säurepufferkapazität, treten z.T. erhebliche Schäden auf. Dasselbe gilt vom Prinzip her für die Eutrophierung. Daher sind diese beiden Wirkungskategorien in ihrer Aussagekraft weniger sicher als Ozonabbau und Treibhauseffekt.

In der Wirkungsabschätzung der Ökobilanz YTONG-Produktanwendungen wurden folgende Wirkungskategorien berücksichtigt:

Quantitativ:

global:

- Ressourcenknappheit
- Treibhauseffekt

regional:

- Versauerung
- Eutrophierung

Qualitativ:

- Humantoxizität
- Ökotoxizität (gemeinsam mit Humantoxizität)

In der anschließenden Diskussion einzelner Parameter werden darüber hinaus die Umweltwirkungen Naturraumbeanspruchung und Lärm angesprochen sowie im Kapitel "spezifische Beiträge" näherungsweise der Beitrag zum Sommersmog anhand der NMVOC-Werte abgeschätzt. Im Lebenszyklus der YTONG-Baustoffe treten keine Emissionen auf, die zum Ozonabbau beitragen, daher wird diese Wirkungskategorie nicht dargestellt.

3.4 Auswahl und Diskussion der verwendeten Gewichtungsalgorithmen

Hinsichtlich der Gewichtungsalgorithmen besteht sowohl auf nationaler wie auch auf internationaler Ebene bei den Kategorien Treibhauseffekt und Ozonabbau Konsens. Im UA2 des DIN-NAGUS werden darüber hinaus in Arbeitsgruppen Vorschläge für die anderen Wirkungskategorien erarbeitet, die jedoch erst in der "entwicklungsbegleitenden Normung" erprobt werden sollen, bevor eine Einigung darauf erzielt werden kann.

Ressourcenknappheit

Die Ressourcenknappheit wird in Anlehnung an die "Ökobilanz von Getränkeverpackungen" des Umweltbundesamtes (Schmitz et al., 1995) als Knappheit der fossilen Energieträger Gas, Öl, Stein- und Braunkohle behandelt. Wasser und andere Ressourcen werden in der Bewertung qualitativ berücksichtigt. Die Knappheit der fossilen Energieträger wird relativ zu Rohöl in Rohöläquivalenzfaktoren ausgedrückt; dieser Äquivalenzfaktor errechnet sich wie folgt:

 $R_{AqRohstoff} = R_{stat.Rohol}/R_{stat.Rohstoff} \times Hu_{Rohstoff}/Hu_{Rohol}$ [kg]

R_{Äq}: Rohöl-Ressourcen-Äquivalenzfaktor [dimensionslos]

R_{stat}: Statische Reichweite [in Jahren]

 H_{u} : unterer Heizwert [in kJ/kg bzw. kJ/Nm³]

Tabelle 1: Rohöl-Ressourcen-Äquivalenzfaktoren, statische Reichweiten und untere Heizwerte für verschiedene Rohstoffe

Rohstoffe	stat, Reichweite [a]	H _u [MJ/Nm³ bzw. t]	Rohöläq.faktor			
Braunkohle	200	8303	0,0409			
Rohgas	60	31736	0,5212			
Steinkohle	160	29809	0,1836			
Rohöl	42	42622	1,0000			

In der Sachbilanz wurden verschiedene Primärenergieträger ermittelt, die vereinfachend den o.g. Rohstoffen zugeordnet werden:

Erdgas, Propangas:

Rohgas

Heizöl EL, Heizöl S, Diesel:

Rohöl

Fernwärme:

Steinkohle

Die eingesetzte Elektroenergie wird auf der Basis des jeweils zugrundegelegten Erzeugungsmixes in Primärenergieträger überführt und auf die 4 Rohstoffarten umgerechnet, z.B. Elektroenergie: Steinkohle 29,0 %, Braunkohle 26,0%, Rohgas 9,0%, Rohöl 2,0% (und Kernenergie 27,0 %, Wasserkraft 5,0%, Müllverbrennungsanlagen 2,0%) (GhK/ÖI, 1995).

Treibhauseffekt

Das Treibhauspotential wird mithilfe des Global Warming Potential (GWP) dargestellt. Die Gewichtungsalgorithmen sind auf Kohlendioxid normiert, das eins gesetzt wird. In der vorliegenden Wirkungsabschätzung wird das Global Warming Potential mit dem Zeithorizont 100 Jahre betrachtet (= GWP 100), da dies die gebräuchlichste Anwendung ist. Die Äquivalenzfaktoren für den Treibhauseffekt wurden einer Studie des holländischen "Centre for Environmental Science (CML)" (Heijungs et al., 1992) und einem Bericht der "Gesellschaft für Consulting und Analytik im Umweltbereich" (Klöpffer, W.; Renner, I., 1995) entnommen.

Versauerung

Die mit dem Begriff Versauerung umschriebenen Umweltwirkungen wurden bereits erläutert. In der vorliegenden Wirkungsabschätzung wird das Versauerungspotential, Acidification Potential, wiederum mit den Faktoren von CML gebildet. Substanzen, die erst nach der Oxidation (wie z.B. Ammoniak) oder der Hydrolyse (wie z.B. SO₂) zur Versauerung beitragen, gehen dabei ebenfalls ein. Im Modell von CML werden nur Luftemissionen berücksichtigt, Wasseremissionen fließen nicht ein.

Eutrophierung

Die Äquivalenzfaktoren für das Eutrophierungspotential werden in Phosphat- oder Phosphoräquivalenten ausgedrückt, d.h. relativ zu Phosphat bzw. Phosphoremissionen. Auch zur Abbildung des Eutrophierungspotentials werden die Äquivalenzfaktoren aus CML und C.A.U. verwendet.

An dieser Stelle werden zusammenfassend noch einmal alle in der vorliegenden Wirkungsabschätzung verwendeten Gewichtungsalgorithmen aufgezeigt. Daraus wird ersichtlich, welche Emissionen zu welcher Wirkungskategorie beitragen, aber auch, welch geringer Anteil der Sachbilanz, die knapp 30 verschiedene Output-Parameter umfaßt, in der Wirkungsabschätzung derzeit verarbeitet werden können.

Tabelle 2: Verwendete Gewichtungsfaktoren

C.L.C. Tark Indiana Indiana Indiana							
Substanz	Treibhauspoten- tial, [GWP 100]	Versauerungs- potential [AP]	Eutrophierungs- potential [NP]	Rohöläq			
Luftemissionen							
Kohlendioxid (CO ₂)	1						
Lachgas (N₂O)	270						
Methan (CH ₄)	11						
Salzsäure (HCI)	-	0,88	:				
Fluorwasserstoff (HF)	-	1,6		·			
Ammoniak (NH ₃)		1,88					
Stickoxide (NOx)		0,7	0,13				
Schwefeldioxid (SO ₂)		1					
Wasser- emissionen							
org. Schad- stoffracht [in chem. Sauerstoffbedarf (CSB)]			0,022				
Fossile Energie- träger							
Rohöl				1,0000			
Rohgas			·	0,5212			
Steinkohle				0,1836			
Braunkohle				0,0409			

In den folgenden Kapiteln werden die Ursachen für die Umweltwirkungen für jeden der drei Untersuchungsgegenstände getrennt erläutert. Dabei werden im Sinne einer Schwachstellenanalyse des Baustoffes die Produktlebenszyklusstufen Rohstoffherstellung, Produktion, Montage, Gesamttransporte sowie die Summe aus diesen für die 24er und die 36,5er YTONG-Wand sowie für das Montagebauteil dargestellt und diskutiert. Die Gebrauchsphase wird beispielhaft bei der Ressourcenknappheit einbezogen, um das Verhältnis zu den anderen Produktlebenszyklusstufen aufzuzeigen.

3.5 Wirkungsabschätzung der YTONG-Produktvarianten

3.5.1 24er YTONG-Wand

Die folgende Tabelle zeigt die Zusammenstellung der Wirkungsindikatoren für 1m² 24er YTONG-Wand. Daraus kann abgelesen werden, aus welchen Lebensstufen welche Umweltbelastungen stammen. Die Ressourcenknappheit ist im Gegensatz zu den anderen Wirkungsindikatoren in Kilogramm angegeben, um zu kleine Zahlen zu vermeiden. Da an dieser Stelle keine Vergleiche zwischen verschiedenen Wirkungskategorien gezogen werden, wirkt sich dies nicht auf das Ergebnis aus.

Tabelle 3: Wirkungsindikatoren für 1m² 24er YTONG-Wand

	Rohstoff- herstellung	Produktion	Montage	Gebrauchs- phase	Gesamt- transporte	Gesamt
Ressourcen- knappheit [kg]	√1,43	2,00	0,37	226,00	1,08	230,88
Treibhaus- effekt [g]	28.827,64	9.272,59	7.719,11	851.061,05	3.404,60	900.284,99
Versauerung [g]	26,96	14,57	6,26	1.069,51	30,64	1.147,94
Eutrophierung [g]	2,17	1,23	0,58	94,52	5,30	103,81

In dieser Tabelle sind alle Lebenszyklusstufen des YTONG-Baustoffes inklusive der Gebrauchsphase aufgeführt, die jedoch eine Sonderrolle einnimmt. Diese Sonderrolle erklärt sich daher, daß die Umweltwirkungen in der Gebrauchsphase aus dem Heizenergieverbrauch stammen und nicht in derselben Weise dem Baustoff zugeordnet werden können wie etwa die Produktion. Vielmehr ist die Wärmedämmleistung des Baustoffes die relevante Größe zur Betrachtung der Gebrauchsphase. Diese kann jedoch nicht absolut, sondern nur im Vergleich dargestellt werden. Der untersuchte Baustoff weist dann eine bessere oder schlechtere Wärmedämmleistung als eine Vergleichsgröße auf.

In dieser Einzeldarstellung wird die Gebrauchsphase zunächst abgebildet, um die Umweltwirkungen in der Gebrauchsphase im Verhältnis zu den anderen Produktlebenszyklusstufen zu zeigen. Die Umweltwirkung der Gebrauchsphase ergibt sich aus der Annahme, daß ein Wohnhaus 80 Jahre Lebensdauer aufweist und in dieser Zeitspanne Energie für die Erwärmung der Raumluft aufgewendet wird. Durch diesen Sachverhalt werden die Umweltbelastungen in den anderen Lebensphasen

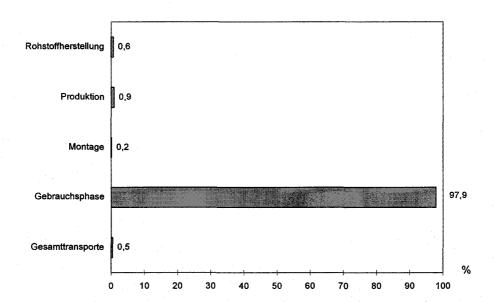
optisch marginalisiert und es entsteht der Eindruck, daß weder Handlungsbedarf noch Handlungsspielraum auf seiten der YTONG AG existiert. Um diesen falschen Eindruck zu vermeiden, wird die Gebrauchsphase bei den folgenden Einzeldarstellung nicht einbezogen.

Um die Verständlichkeit der Abbildungen zu erhöhen, werden keine absoluten Zahlen, sondern Prozente angegeben und die X-Achse jeweils bis 100 % abgebildet.

Ressourcenknappheit

Die Ressourcenknappheit bezieht sich in der vorliegenden Ökobilanz auf fossile Energieträger; daher ist die Gebrauchsphase mit dem hohen Heizenergiebedarf am stärksten verantwortlich dafür, was die nachfolgende Abbildung zeigt.

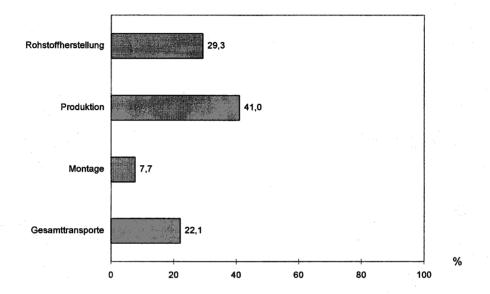
Abbildung 18: Ressourcenknappheit durch 1m² 24er YTONG-Wand (gesamter Lebenszyklus)



Die Gebrauchsphase verursacht durch den Verbrauch an fossilen Energieträgern für die Heizung des Gebäudes nahezu 100% der Ressourcenknappheit. Um die Anteile der anderen Lebenszyklusstufen aufzeigen zu können, werden diese nun ohne Gebrauchsphase dargestellt.

Den größten Anteil verzeichnet dabei die Produktion mit 41,0%, gefolgt von der Rohstoffherstellung und den Gesamttransporten mit 29,3 bzw. 22,1%. Die Montage ist vergleichsweise unbedeutend.

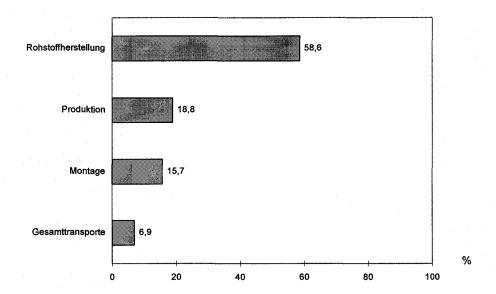
Abbildung 19: Ressourcenknappheit durch 1m² 24er YTONG-Wand (ohne Gebrauchsphase



Treibhauseffekt

Der Treibhauseffekt wird im Untersuchungssystem durch Emissionen von Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Distickstoffoxid (N₂O) hervorgerufen. Diese Emissionen resultieren in hohem Maße aus dem Verbrauch fossiler Energieträger. Durch den unterschiedlichen Beitrag und damit Gewichtung der o.g. Emissionen, sieht die Verteilung dennoch anders aus als bei der Ressourcenknappheit: Hier schlägt die Rohstoffherstellung mit fast 60% am stärksten zu Buche. Die Produktion und die Montage folgen mit 18,8% und 15,7%. Diese Verschiebung des Schwerpunktes hin zur Rohstoffherstellung läßt sich durch den Energieverbrauch und v.a. durch die prozeßbedingten CO₂-Emissionen bei der Kalk- und Zementherstellung erklären. Die Montage tritt durch denselben Effekt ebenfalls stärker in Erscheinung, da in diese Lebensphase die Herstellung des Kalk-Zement-Putzes einfließt. Nachfolgend wird auch von Treibhauspotential gesprochen, um zu betonen, daß es sich um Wirkungspotentiale handelt.

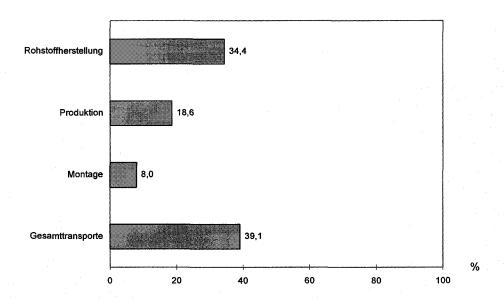
Abbildung 20: Treibhauspotential durch 1m² 24er YTONG-Wand (ohne Gebrauchsphase)



Versauerung

In der Wirkungskategorie Versauerung zeigt sich ein anderes Bild. Die Transporte tragen mit 39,1% am stärksten zum Versauerungspotential bei, bedingt durch den hohen Beitrag der NOx-Emissionen, die hauptsächlich aus dem Verkehrssektor stammen. Die weiteren versauernd wirkenden Substanzen Ammoniak, Schwefeldioxid, Salzsäure und Fluorwasserstoff treten in geringerer Menge auf, so daß sich deren Einfluß weniger bemerkbar macht. Die Rohstoffherstellung trägt daher mit 34,4% zur Versauerung bei, die Produktion und die Montage mit 18,6% und 8,0%.

Abbildung 21: Versauerungspotential durch 1m² 24er YTONG-Wand (ohne Gebrauchsphase)

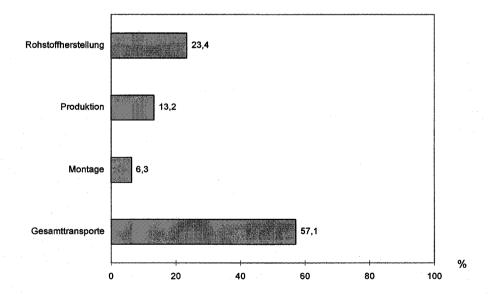


Eutrophierung

In Wirkungskategorie Eutrophierung werden die Aussagen des Versauerungspotentials verstärkt. Zur Eutrophierung tragen v.a. Stickoxidemissionen und organische Schadstoffe bei, die durch den chemischen Sauerstoffbedarf (CSB) ausgedrückt werden. Letzterer geht jedoch sowohl mit geringer Sachbilanzzahl als auch geringer Gewichtung ein. Der größte Teil des Eutrophierungspotentials wird von den Gesamttransporten hervorgerufen (57,1%), darauf folgen die Rohstoffherstellung mit 23,4% und die Produktion mit 13,2%. Die Montage scheint mit 6,3% eher unbedeutend.

Damit wird sowohl die Bedeutung als auch der Handlungsbedarf bei den Transporten aufgezeigt, die bei den Wirkungskategorien Versauerung und Eutrophierung die höchsten Umweltwirkungen hervorrufen.

Abbildung 22: Eutrophierungspotential durch 1m² 24er YTONG-Wand (ohne Gebrauchsphase)



3.5.2 36,5er YTONG Wand

Auch die 36,5er YTONG-Wand wird im Hinblick auf die Ressourcenknappheit zunächst mit Gebrauchsphase und anschließend in allen anderen Wirkungskategorien ohne Gebrauchsphase dargestellt. Die folgende Tabelle enthält die Wirkungsindikatoren der 36,5er YTONG-Wand für alle Lebenszyklusstufen und Wirkungskategorien.

Tabelle 4: Wirkungsindikatoren für 1m² 36,5er YTONG-Wand

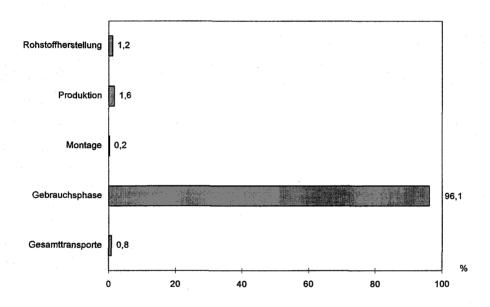
	Rohstoff- herstellung	Produktion.	Montage	Gebrauchs- phase	Gesamt- transporte	Gesamt
Ressourcen- knappheit [kg]	2,16	3,04	0,46	178,64	1,55	185,84
Treibhaus- effekt [g]	43.842,04	14.102,06	9.019,86	673.613,85	4.904,13	745.481,94
Versauerung [g]	41,00	22,16	7,72	845,87	44,13	960,89
Eutrophierung [g]	3,30	1,87	0,72	74,76	7,64	88,29

Diese Wirkungsindikatoren werden im folgenden graphisch dargestellt.

Ressourcenknappheit

Bei der 36,5er YTONG-Wand dominiert die Gebrauchsphase die Ressourcenknappheit aufgrund der Lebensdauer von 80 Jahren ebenso wie bei der vorangegangenen Betrachtung der 24er YTONG-Wand. Die anderen Lebenszyklusstufen weisen durch den höheren Materialeinsatz jedoch höhere Werte auf als bei der 24er.

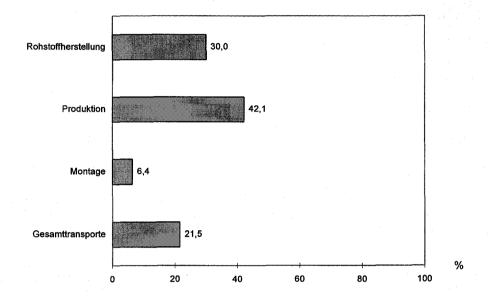
Abbildung 23: Ressourcenknappheit durch 1m² 36,5er YTONG-Wand (gesamter Lebenszyklus)



Um diesen Unterschied besser darstellen zu können, wird im folgenden die Gebrauchsphase weggelassen.

In dieser Darstellung wird ersichtlich, daß die Produktion mit über 42% den größten Beitrag aufweist, gefolgt von der Rohstoffherstellung und den Gesamttransporten mit 30% und 21,5%.

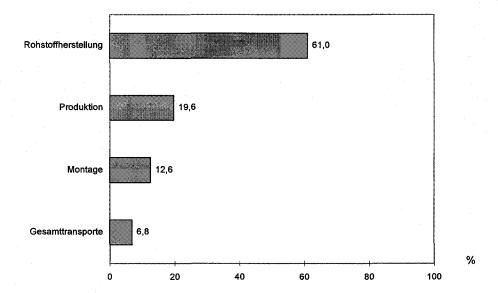
Abbildung 24: Ressourcenknappheit durch 1m² 36,5er YTONG-Wand (ohne Gebrauchsphase)



Treibhauseffekt

Das Treibhauspotential, hervorgerufen durch CO₂-, CH₄- und N₂O-Emissionen, wird von der Rohstoffherstellung mit 61% dominiert, bedingt durch die prozeßbedingten CO₂-Emissionen bei der Kalk- und Zementherstellung. Die Produktion und die Montage liegen deutlich darunter, doch in ihrem Verhältnis untereinander weiter auseinander als bei der 24er YTONG-Wand. Hier tritt die Produktion stärker hervor, bedingt durch den höheren Materialeinsatz bei der 36,5er YTONG-Wand.

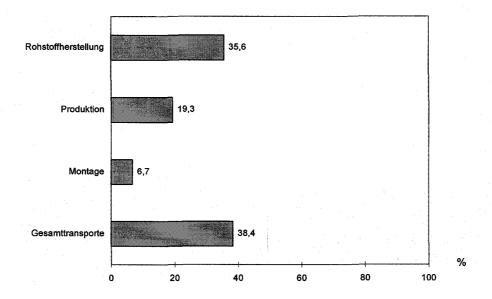
Abbildung 25: Treibhauspotential durch 1m² 36,5er YTONG-Wand (ohne Gebrauchsphase)



Versauerung

Die Versauerung wird durch Emissionen von Stickoxiden, Schwefeldioxid, Ammoniak, Salzsäure und Fluorwasserstoff hervorgerufen. Stickoxide stammen vorwiegend aus dem Transportsektor, Ammoniak aus der Aluminium- und Stahlproduktion, wobei Stahl nur beim Montagebauteil eingesetzt wird und an dieser Stelle daher nicht relevant ist. Schwefeldioxid wird hauptsächlich bei der Rohstoffherstellung und der Produktion emittiert. Salzsäure und Fluorwasserstoff entstehen bei der Energieerzeugung aus Stein- und Braunkohle, aber auch bei der Produktion von Aluminium und Polyethylen, das bei der Verpackung der YTONG-Planblöcke zum Einsatz kommt. Das Versauerungspotential wird insgesamt jedoch von den Transporten mit 38,4% und der Rohstoffherstellung mit 35,6% dominiert. Die Produktion folgt mit 19,3%, die Montage scheint mit 6,7% unter dem Aspekt der Versauerung weniger bedeutend.

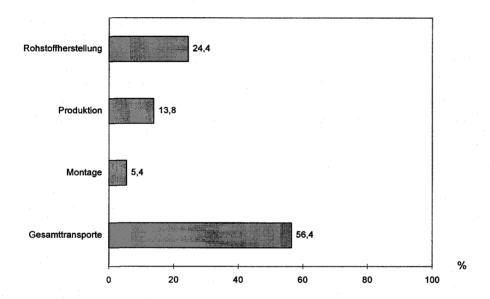
Abbildung 26: Versauerungspotential durch 1m² 36,5er YTONG-Wand (ohne Gebrauchsphase)



Eutrophierung

Das Eutrophierungspotential der 36,5er YTONG-Wand, hervorgerufen durch NOxund organische Schadstoff-Enissionen (CSB), weist nahezu dieselbe Verteilung auf wie das der 24er YTONG-Wand: Die Transporte bestimmen die Umweltwirkung aufgrund der hohen NOx-Emissionen, die Rohstoffherstellung liegt bei ca. 24%, gefolgt von der Produktion und der Montage.

Abbildung 27: Eutrophierungspotential durch 1m² 36,5er YTONG-Wand (ohne Gebrauchsphase)



3.5.3 Vergleich zwischen 1m² der 24er und der 36,5er YTONG Wand

Bislang wurden die beiden YTONG-Produktvarianten der 24er und 36,5er Wandstärke getrennt betrachtet und die Verteilung der Umweltwirkungen auf die Lebenszyklusstufen diskutiert. Von besonderem Interesse ist darüber hinaus der Vergleich dieser beiden Varianten. Der Unterschied besteht in den Wandstärken und dem damit einhergehenden größeren Materialeinsatz. Daraus resultieren höhere Umweltbelastungen durch die 36,5er Wand in den Lebenszyklusstufen Rohstoffherstellung, Produktion, Montage und Gesamttransporte. Demgegenüber steht jedoch eine deutlich bessere Wärmedämmung in der Gebrauchsphase, was sich in den k-Werten 0,44 W/m²K für die 24er und 0,28 W/m²K für die 36,5er YTONG-Wand ausdrückt.

Um diese Effekte vergleichen zu können, und insbesondere, um Vergleichbarkeit auch mit anderen Baustoffen herzustellen, wird an dieser Stelle eine Standardwand im Sinne eines Vergleichssystems eingeführt. Angenommen wird eine Wand aus dem Baustoff YTONG mit 24cm Dicke, einer Dichte von 450kg/m³ und einem k-Wert von 0,5 W/m²K, die exakt den Anforderungen der Wärmeschutzverordnung 1995 (WSVO 95) entspricht. Die WSVO 95 trägt mit ihrem neuen Konzept und den verschärften Anforderungen dem ökologischen Grundsatz des sparsamen Umgangs mit Energie Rechnung. Diese Standardwand ist jedoch nur berechnet und existiert in der Realität nicht.

Der Vergleich der Wände verschiedener Stärken wird nun vorgenommen, indem die Umweltbelastungen der Standardwand aus YTONG von denen der beiden Varianten 24er und 36,5er YTONG-Wand abgezogen werden. In nachfolgenden Graphiken wird demnach die Differenz zu diesem Standard dargestellt. Daraus wird ersichtlich, daß der größere Materialbedarf der 36,5er YTONG-Wand zu größeren Umweltwirkungen in den Lebenszyklusstufen Rohstoffherstellung, Produktion, Montage und Gesamttransporte führt. Die 24er YTONG-Wand besitzt zwar dieselbe Wandstärke wie die Standardwand, doch eine geringere Dichte (400kg/m³ im Vergleich zu 450kg/m³), wodurch ein geringerer Materialbedarf und damit in allen Lebenszyklusstufen geringere Umweltwirkungen entstehen. Die nachfolgende Tabelle enthält die Wirkungsindikatoren der berechneten Standardwand nach WSVO 95 sowie der 24er und der 36,5er YTONG-Wand. Die Werte werden im Gegensatz zur Einzelbetrachtung nicht für alle Lebenszyklusstufen einzeln, sondern für die Lebenszyklusstufen "Gesamt ohne Gebrauch" in einem Wert aufgeführt, der der Gebrauchsphase gegenübergestellt wird. Wie bei den Erläuterungen zur 24er YTONG-Wand bereits erwähnt, sind die

unterschiedlichen Einheiten bei der Ressourcenknappheit und den anderen Wirkungskategorien nicht ergebnisrelevant, da an dieser Stelle noch kein direkter Vergleich gezogen wird. Dies erfolgt erst bei der Bildung der spezifischen Beiträge im Kapitel Bewertung, wofür die Einheiten angeglichen werden.

Tabelle 5: Wirkungsindikatoren der Standardwand, der 24er und der 36,5er YTONG-Wand im Vergleich

	Standard nach WSVO 95		24er YTONG-Wand		36,5er YTONG-Wand	
	Gesamt (o. Gebr.)	Gebrauchs- phase	Gesamt (o. Gebr.)	Gebrauchs- phase	Gesamt (o. Gebr.)	Gebrauchs- phase
Ressourcen- knappheit [kg]	5,29	231,48	4,88	226,00	7,20	178,64
Treibhauseffekt [g]	53.980,50	871.586,75	49.223,94	851.061,05	71.868,09	673.613,85
Versauerung [g]	83,51	1.095,38	78,43	1.069,51	115,02	845,87
Eutrophierung [g]	9,72	96,81	9,28	94,52	13,53	74,76

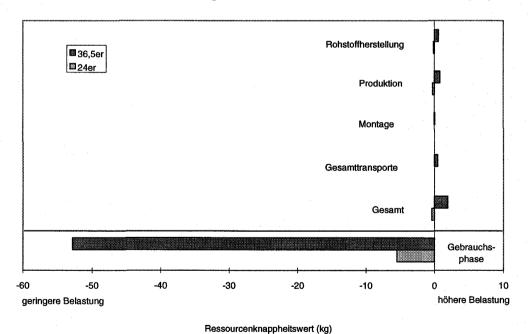
In den nachfolgenden Abbildungen werden die 24er und die 36,5er YTONG-Wand in allen Lebenszyklusstufen in Relation zur Standardwand dargestellt. Deren Werte bilden die Nullinie, da sie von den Werten der 24er und der 36,5er YTONG-Wand abgezogen wurden. Die Abbildungen sind so zu verstehen, daß zunächst die Anteile der Lebenszyklusstufen Rohstoffherstellung bis Gesamttransporte zwischen der 24er und der 36,5er YTONG-Wand verglichen werden. Für die Montage der Standardwand wurden aufgrund der identischen Wandstärke dieselben Annahmen getroffen wie für die 24er YTONG-Wand, daher unterscheiden sich diese Werte nicht. Im Anschluß daran kann der Gesamtwert, der entweder über oder unter der Nullinie und damit der Belastung durch die Standardwand liegt, mit der Gebrauchsphase verglichen werden. Die Gebrauchsphase verdeutlicht für beide YTONG-Varianten die bessere Wärmedämmung, die bei der 36,5er jedoch erheblich höher ist als bei der 24er YTONG-Wand. Die Gesamtwerte und die Gebrauchsphase können einander gegenübergestellt werden. Eine Höherbelastung in den Lebenszyklusstufen kann demnach durch eine entsprechend bessere Wärmedämmung in der Gebrauchsphase und damit insgesamt niedrigere Umweltwirkungen ausgeglichen oder überkompensiert werden.

Ressourcenknappheit

Die Knappheit der fossilen Ressourcen Rohöl, Rohgas, Stein- und Braunkohle wird in Rohöläquivalente umgerechnet und als Knappheit von Rohöl dargestellt. Es überrascht nicht, daß die in dieser Weise dargestellte Ressourcenknappheit v.a. in der Gebrauchsphase ins Gewicht fällt. Es zeigt sich, daß die 24er YTONG-Wand, die in den Abbildungen mit hellen Balken gekennzeichnet ist, gegenüber der Standardwand in allen Lebenszyklusstufen aufgrund der geringeren Dichte und damit der insgesamt geringeren Masse niedrigere Werte besitzt. Auch in der Gebrauchsphase weist die 24er Wand Vorteile gegenüber der Standardwand auf, was an der besseren Wärmedämmleistung liegt.

Die 36,5er YTONG-Wand zeigt entsprechend in allen Lebenszyklusstufen geringfügig größere Belastungen als die Standardwand. In der Gebrauchsphase sind die Vorteile der besseren Wärmedämmung jedoch weitaus größer als die Höherbelastung in den Lebenszyklusstufen. Dadurch fällt die Gesamtbilanz der 36,5er YTONG-Wand positiv aus.

Abbildung 28: Ressourcenknappheit durch 1m² 24er und 36,5er YTONG-Wand im Vergleich zum Standard nach WSVO 95 (=0)

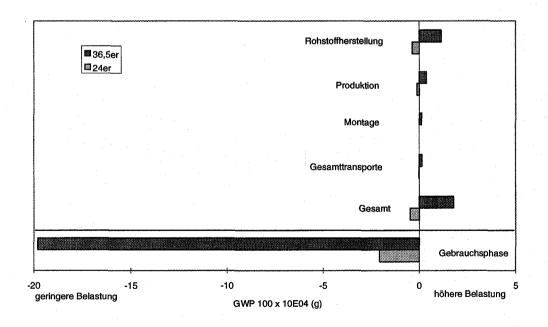


Treibhauseffekt

Das Treibhauspotential des YTONG-Baustoffes beruht auf Emissionen von Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Distickstoffoxid (N₂O). Diese Emissionen stammen im wesentlichen aus der Verbrennung fossiler Energieträger und entstehen daher in allen Lebenszyklusstufen parallel zu dem jeweiligen Energieverbrauch. Unterschiede ergeben sich daraus, daß in den Lebenszyklusstufen verschiedene Energieträger zum Einsatz kommen, die wiederum unterschiedliche Emissionen freisetzen (vgl. Anhang 1 und 2). So wird in der Produktion weitgehend Gas eingesetzt, bei den Transporten Diesel.

Die Umweltwirkungen der 24er YTONG-Wand sind in allen Lebenszyklusstufen sowohl niedriger als die der 36,5er YTONG-Wand als auch die der Standardwand, bedingt durch den niedrigeren Rohstoffeinsatz bei niedrigerer Dichte bzw. geringerer Wanddicke. Die Werte der 36,5er YTONG-Wand liegen bei allen Lebenszyklusstufen höher als die der Standardwand. Dieser Effekt wird jedoch deutlich überkompensiert durch die bessere Wärmedämmung in der Gebrauchsphase.

Abbildung 29: Treibhauspotential durch 1m² 24er und 36,5er YTONG-Wand im Vergleich zum Standard nach WSVO 95 (=0)

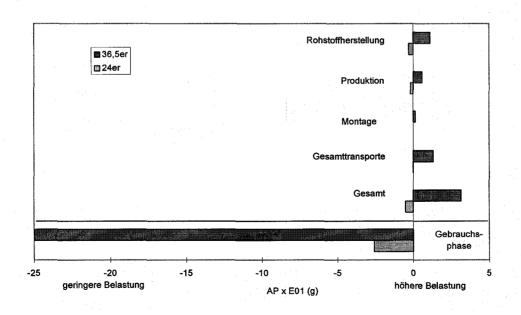


Versauerung

Die Versauerung wird hervorgerufen durch Emissionen von Stickoxiden (NOx), Schwefeldioxid (SO₂), Ammoniak (NH₃) sowie Salzsäure (HCl) und Fluorwasserstoff (HF). NOx stammt v.a. aus dem Verkehrssektor, daher schlagen die Gesamttransporte stark zu Buche. Salzsäure und Fluorwasserstoff entstehen hauptsächlich bei der Energiebereitstellung aus Stein- und Braunkohle und damit in Lebenszyklusstufen, in denen elektrische Energie eingesetzt wird. Die 24er YTONG-Wand trägt in allen Lebenzyklusstufen (mit Ausnahme der Montage) weniger zur Versauerung bei als die Standardwand.

Die 36,5er YTONG-Wand weist dagegen in allen Lebenszyklusstufen einen höheren Beitrag zur Versauerung auf. Die Gegenüberstellung der Gesamtbelastungen und der Gebrauchsphase zeigt, daß die geringeren Belastungen der 24er Wand im Endeffekt deutlich geringer ausfallen als die Differenz zwischen höheren Belastungen der 36,5er Wand in den Lebenszyklusstufen und geringeren Belastungen in der Gebrauchsphase. D.h., in der Wirkungskategorie Versauerung besitzt die 36,5er YTONG-Wand in der weiter oben beschriebenen Lesart insgesamt eine positive Bilanz sowohl im Vergleich zur 24er YTONG-Wand als auch insbesondere im Vergleich zur Standardwand nach WSVO 95.

Abbildung 30: Versauerungspotential durch 1m² 24er und 36,5er YTONG-Wand im Vergleich zum Standard nach WSVO 95 (=0)

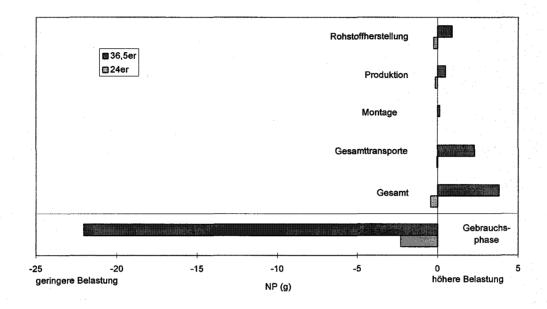


Eutrophierung

Das Eutrophierungspotential der 24er und der 36,5er YTONG-Wand im Vergleich zum Standard nach WSVO 95 zeigt eine ähnliche Verteilung wie das Versauerungspotential. Es wird beim YTONG-Baustoff weitgehend durch NOx-Emissionen hervorgerufen, die insgesamt bei der Verbrennung fossiler Ressourcen in Kraftwerken und mit zunehmender Bedeutung im Verkehrssektor entstehen. Daher machen in der Gegenüberstellung der Lebenszyklusstufen die Gesamttransporte den größten Beitrag an der Eutrophierung aus. Ferner tragen organische Schadstoffbelastungen dazu bei, ausgedrückt als chemischer Sauerstoffbedarf (CSB). Diese Schadstoffe stammen aus der Herstellung von Aluminium, Stahl und Polyethylen.

Die 36,5er YTONG-Wand schneidet bei den Transporten aufgrund der größeren Masse deutlich schlechter ab als die Standardwand und die 24er Wand. Die 24er Wand weist hier nur geringfügig bessere Werte auf als die Standardwand, was wiederum am geringeren Materialeinsatz liegt. In der Gegenüberstellung der Gesamtbelastungen und der Gebrauchsphase wird deutlich, daß die geringeren Belastungen der 24er Wand im Endeffekt geringer ausfallen als die Differenz zwischen höheren Belastungen der 36,5er Wand in den Lebenszyklusstufen und geringeren Belastungen in der Gebrauchsphase. Wiederum besitzt die 36,5er YTONG-Wand Vorteile sowohl gegenüber der 24er YTONG-Wand als auch der Standardwand nach WSVO 95, wenngleich dieser etwas geringer ausfällt als bei der Versauerung und zunehmend geringer beim Treibhauseffekt und der Ressourcenknappheit.

Abbildung 31: Eutrophierungspotential durch 1m² 24er und 36,5er YTONG-Wand im Vergleich zum Standard nach WSVO 95 (=0)



3.5.4 Montagebauteil

Bisher wurde ausschließlich der YTONG-Planblock in den Varianten 24er und 36,5er Wanddicke betrachtet. Nun soll auf einen weiteren Untersuchungsgegenstand, das Montagebauteil, eingegangen werden. Das Montagebauteil (MBT) weist eine Wanddicke von 20 cm und eine Stahlbewehrung auf, wird mit 30 Jahren Lebensdauer veranschlagt und verbraucht aufgrund einer niedrigereren Durchschnittstemperatur der erwärmten Raumluft auch relativ weniger Heizenergie als die 24er und die 36,5er YTONG-Wand.

Die Tendenz der Aussagen über die Umweltwirkungen ist dieselbe, d.h. bezieht man die Gebrauchsphase mit ein, trägt diese am stärksten zu den Belastungen bei. Auch an dieser Stelle gilt, daß die unterschiedlichen Einheiten der Wirkungsindikatoren das Ergebnis nicht verfälschen, da nicht zwischen den Wirkungskategorien verglichen wird.

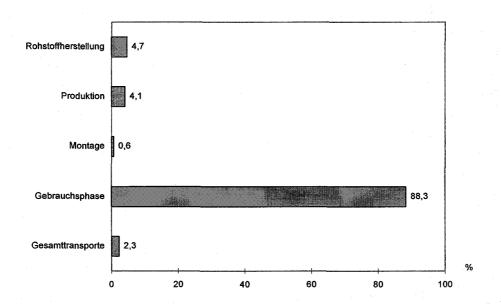
Tabelle 6: Wirkungsindikatoren für 1m² Montagebauteil 20er Wanddicke

	Rohstoff herstellung	Produktion	Montage	Gebrauchs- phase	Gesamt- transporte	Gesamt
Ressourcen- knappheit [kg]	2,21	1,92	0,30	41,58	1,09	47,10
Treibhaus- effekt [g]	36.034,30	9.789,38	3.693,82	177.474,11	3.504,92	230.496,52
Versauerung [g]	55,54	16,24	5,48	203,85	30,88	311,99
Eutrophierung [g]	3,35	1,48	0,54	17,82	5,33	28,54

Ressourcenknappheit

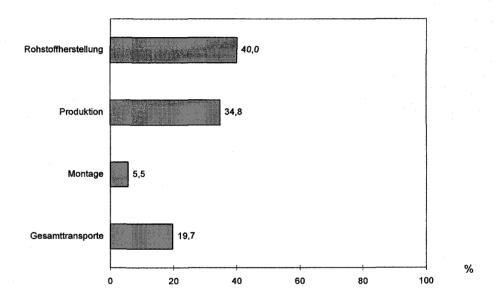
Bezieht man die Gebrauchsphase mit ein, dominiert diese alle Umweltwirkungen, wenngleich weniger als bei der 24er und der 36,5er YTONG-Wand. Das liegt an der geringeren angenommenen Lebensdauer einer Industriehalle und der geringeren Raumwärme, d.h. Heizenergiebedarf. Analog zu der 24er und der 36,5er YTONG-Wand wird die Gebrauchsphase daher in den nachfolgenden Abbildungen nicht mehr aufgeführt und die Schwachstellenanalyse des **MBT** auf die Lebenszyklusstufen Produktion, Rohstoffherstellung, Montage und Gesamttransporte bezogen.

Abbildung 32: Ressourcenknappheit durch 1m² MBT (gesamter Lebenszyklus)



Um die Verteilung der Ressourcenknappheit auf die anderen Lebenszyklusstufen beurteilen zu können, kann folgende Abbildung herangezogen werden: Auch beim MBT trägt die Rohstoffherstellung mit 40% am stärksten dazu bei, gefolgt von der Produktion und mit etwas größerem Abstand den Transporten. Die Montage scheint dagegen unbedeutend.

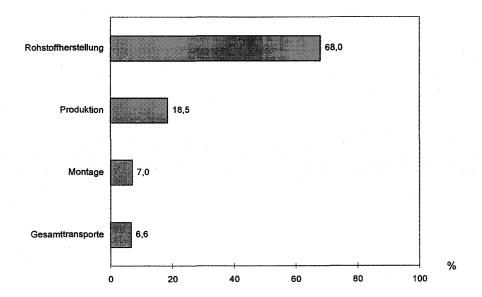
Abbildung 33: Ressourcenknappheit durch 1m² MBT (ohne Gebrauchsphase)



Treibhauseffekt

Zum Treibhauseffekt trägt die Rohstoffherstellung mit mehr als 2/3 bei. D.h., auch beim MBT wird die Bedeutung der prozeßbedingten CO₂-Emissionen in der Zement- und Kalkherstellung unterstrichen. Die Produktion liegt mit 18,5% deutlich niedriger, die Montage und die Transporte sind beim Treibhauspotential eher unbedeutend.

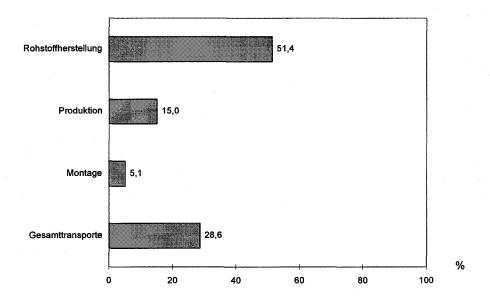
Abbildung 34: Treibhauspotential durch 1m² MBT (ohne Gebrauchsphase)



Versauerung

Bei der Versauerung dominiert ebenfalls die Rohstoffherstellung, wenn auch in geringerem Maße. Ferner ist auch der Anteil der durch die Transporte verursachten Umweltwirkungen mit knapp 30% zu beachten. Die Produktion tritt mit 15% in den Hintergrund, die Montage ist mit 5,1% im Prinzip unbedeutend.

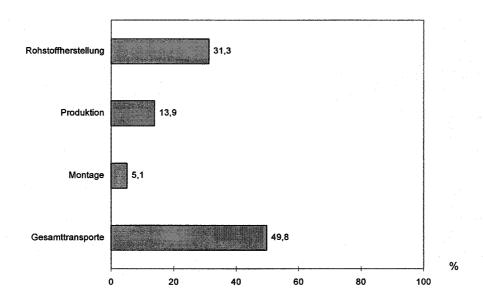
Abbildung 35: Versauerungspotential durch 1m² MBT (ohne Gebrauchsphase)



Eutrophierung

Beim Eutrophierungspotential ist der Anteil der Transporte noch höher und verursacht die höchsten Umweltwirkungen. Die transportbedingten NOx-Emissionen machen knapp 50% des Eutrophierungspotentials aus, die restliche Hälfte verteilt sich auf die anderen Lebenszyklusstufen, wobei die Rohstoffherstellung mit 31,3% den Hauptanteil ausmacht.

Abbildung 36: Eutrophierungspotential durch 1m² MBT (ohne Gebrauchsphase)



Insgesamt kann also festgehalten werden, daß beim MBT unter den getroffenen Annahmen die Rohstoffherstellung in allen Wirkungskategorien eine bedeutende Rolle spielt, mit Ausnahme der Eutrophierung sogar jeweils die größte. Dort dominieren jedoch die Transporte. Die größten Optimierungspotentiale und -bedarfe liegen entsprechend in der Rohstoffherstellung, die insbesondere durch die Stahlbewehrung zu Buche schlägt, bei der Produktion und bei den Transporten.

3.6 Qualitative Aspekte der Wirkungsabschätzung

Human- und Ökotoxizität

Zur Darstellung der Human- und Ökotoxizität in Ökobilanzen existiert noch kein allgemein akzeptiertes quantitatives Verfahren. An dieser Stelle werden daher einzelne Substanzen, die human- und ökotoxisch wirken, qualitativ behandelt. Methodenbedingt können in der Wirkungsabschätzung keine lokalen und zeitabhängigen Aussagen getroffen werden. U.E. sollte Toxizität in einer Ökobilanz daher in der folgenden Weise dargestellt werden, bis geeignetere Verfahren entwickelt wurden:

Es sollten v.a. solche Substanzen erfaßt werden, die über die Emissionsqueße hinaus von globaler Bedeutung sind. Ferner sollten Stoffe einbezogen werden, die keine Wirkschwelle besitzen. Folgende Eigenschaften sind u.E. relevant und Substanzen, die diese besitzen, sollten daher berücksichtigt werden:

- Persistenz
- Bioakkumulation
- Toxizität
- Mutagenität, Erbgutveränderung

Stoffe, die in der Ökobilanz YTONG-Produktanwendungen auftreten und diese Eigenschaften aufweisen, werden in den nachfolgenden Tabellen dargestellt.

Tabelle 7: Kriterien zur Beurteilung der Human- und Ökotoxizität, Luftbelastungen

	direkte Schadwirkung LD 50 bzw. LC 50 oral bzw. inhaltiv	Indirekte Schadwirkung	Persistenz in der Luft Halbwertszeit	Bioakkumulation Verteilungskoeff, log Pow.	Kanzerogenität.	Mutagenität M	Erbgutverände- rung E
等高级的 的	(Ratte)		ARMADA Ziri	30.2011年中华工艺的	erin is desirited stands.	iga ili lature 1	
со	1807 mg/l						E2
N ₂ O	1,06 mg/l						
SO ₂	2520 mg/l	mit Wasser Bildung von Schwefelsäure					
HCI	4700 mg/l				·		
HF	1276 mg/l						
Cl2	293 mg/l		-				
NH ₃	2000 mg/l						
Benzol	18-23 mg/l	in Luft Reaktion zu Nitrophenol, in Wasser bei Chlorung Reaktion zu Chlorphenolen	14,6	2,12 d.h. geringes Bioakkumulationspotential	C1	М3	
Toluol	72 mg/l	in Luft durch photochemische Oxidation Bildung von toxischen Transformations- produkten	2,6	2,66 Toluole sind wasserlöslich und flüchtig, d.h. sie haben eine relativ große Mobilität zwischen den Umweltsystemen. Mikrobiell abbaubar			
Xylole (orto-, meta-, para-)	17 mg/l (Maus)	in Luft durch photochemische Oxidation Bildung von div. giftigen Tranformations- produkten	0,7-1,2	3,15 d. h. mittlere Bioakkumulationstendenz. Xylole sind wasserlöslich und flüchtig, d.h. sie haben eine relativ große Mobilität zwischen den Umweltsystmen			
Dieselruß					C2		

Tabelle 8:	Kriterien zur Beurteilung der Human- und Ökotoxizität,
	Wasserbelastungen

Carried San Carrie	Toxizität Bewertungszahl	Persisteriz Bewertungszahl
NH ₃	V	10
Fluoride	IV	
Chloride	VI	
Sulfat	VI	
Nitrat	V	90
Natrium	VI	

Erläuterungen zu den Tabellen Human- und Ökotoxizität

Human- und Ökotoxizität wurden in einer gemeinsamen Tabelle abgebildet, wobei zwischen Luft- und Wasserbelastungen unterschieden wurde. Die Wasserbelastungen, die in der Ökobilanz YTONG-Produktanwendungen auftreten, besitzen nur zu einem geringen Ausmaß die o.g. Eigenschaften. Die Spalten der Tabellen zu Human- und Ökotoxizität von Luft- und Wasserbelastungen enthalten folgende Informationen:

Luftbelastungen

- 1. Spalte: Sachbilanzparameter
- **2. Spalte:** Toxizitätsinformationen: LD bzw. LC 50-Werte (die Dosis (LD) bzw. Konzentration (LC) einer Substanz, bei der 50% der Versuchsorganismen, hier Ratten, sterben), (Hommel, G., 1993-1995).
- **3. Spalte:** Beschreibung indirekter Schadwirkungen durch die Bildung von toxischen Transformations- und Abbauprodukten. (Hommel, G., 1993-1995).
- **4. Spalte:** Daten zur Persistenz in der Luft, angegeben als Halbwertzeit der Substanz in Tagen (Rippen, 1996).
- **5. Spalte:** Bioakkumulation, d.h. Anreicherung einer Substanz in lebender Materie, angegeben als Logarithmus des Verteilungskoeffizienten der Substanz in n-Octanol und Wasser (log Pow) (Rippen, 1996).
- 6. Spalte: Daten zur Kanzerogenität (krebserzeugendes Potential)
- 7. Spalte: Mutagenität M (Erbgutveränderung)
- 8. Spalte: Entwicklungsschädigungen E

Die Einteilungen der Spalten 6-8 sind den Gefahrstoff-Vorschriften entnommen und sind pro Kategorie hierarchisch gestaffelt; d.h. die Kanzerogenität wird angegeben

von C1 bis C3, die Mutagenität und Entwicklungsschädigung entsprechend von M1 und E1 bis M3 und E3.

Beispiel:

C 1: Stoffe, die beim Menschen bekanntermaßen krebserzeugend wirken. Es sind hinreichende Anhaltspunkte für einen Kausalzusammenhang zwischen der Exposition eines Menschen gegenüber dem Stoff und der Entstehung von Krebs vorhanden.

C 2: Stoffe, die als krebserzeugend für den Menschen angesehen werden sollten. Es bestehen hinreichende Anhaltspunkte zu der begründeten Annahme, daß die Exposition eines Menschen gegenüber dem Stoff Krebs erzeugen kann. Diese Annahme beruht im allgemeinen auf geeigneten Langzeit-Tierversuchen und/oder sonstigen relevanten Informationen.

C 3: Stoffe, die wegen möglicher krebserregender Wirkung beim Menschen Anlaß zur Besorgnis geben, über die jedoch nicht genügend Informationen für eine befriedigende Beurteilung vorliegen. Aus geeigneten Tierversuchen liegen einige Anhaltspunkte vor, die jedoch nicht ausreichen, den Stoff in Kategorie 2 einzustufen.

Wasserbelastungen

1. Spalte: Sachbilanzparameter

2. Spalte: Hinweise zur Toxizität, wobei die römische Zahl eine Einstufung des Toxizitätspotentials (Bewertungszahl) in folgende Toxizitätsklassen kennzeichnet (IWBL, 1993).

I: hoch toxisch, humancarcinogen oder Initiator

II: stark toxisch und mindestens B2 (Karzinogenitätseinstufung)

III: stark toxisch oder mäßig toxisch und mindestens B3 (Karzinogenitätseinstufung), oder schwach toxisch und mindestens B2

IV: mäßig toxisch oder schwach toxisch und mindestens D (Karzinogenitätseinstufung)

V: schwach toxisch

VI: toxikologisch nicht relevant

3. Spalte: Persistenz (Bewertungszahl), d.h. die Nicht-Abbaubarkeit der Substanzen (IWBL, 1993). Die Zahlen reichen von 0 bis 100 mit zunehmender Persistenz.

Die 36,5er YTONG-Wand weist einen höheren Materialbedarf auf als die 24er. Daher sind alle potentiell human- oder ökotoxischen Substanzen bei der 36,5er in

größerer Menge in den Lebenszyklusstufen Rohstoffgewinnung bis Transporte vorhanden. Dagegen sind die durch den Heizenergieverbrauch hervorgerufenen Emissionen bei der 36,5er YTONG-Wand durch die bessere Wärmedämmung erheblich geringer.

Die Gesamtbilanz der human- und ökotoxischen Substanzen zeigt, daß bei den Luftbelastungen folgende Substanzen in Betracht zu ziehen sind:

Kohlenmonoxid

Fluorwasserstoff

Toluol

Distickstoffoxid

Chlorgas

Xylole

Schwefeldioxid

Ammoniak

Dieselruß

Salzsäure

Benzol

Bei den Wassserbelastungen sind es folgende Substanzen:

Ammoniak

Chloride

Nitrat

Fluoride

Sulfat

Natrium

Doch nicht alle diese Substanzen sind gleichermaßen bedeutend, daher werden anhand von Abschneidekriterien diejenigen indentifiziert, die möglichst minimiert bzw. eliminiert werden sollten.

Alle Substanzen ohne Wirkschwelle, die demnach kanzerogen, mutagen oder erbgutschädigend sind, sollten vermieden werden. Das sind in der vorliegenden Ökobilanz Kohlenmonoxid, Benzol und Dieselruß, Substanzen, die im wesentlichen aus dem Verkehrssektor stammen.

Ferner sind Stoffe, die hohe direkte und indirekte Schadwirkungen aufweisen, gekennzeichnet durch niedrige LD50 bzw. LC50-Werte, auf Ersatz bzw. Minimierung hin zu untersuchen. Dazu zählen Distickstoffoxid, sowie Benzol, Toluol und Xylole, wiederum insbesondere Verkehrsemissionen. Toxische Wasserbelastungen, die anhand hoher Toxizitätszahlen (Klasse I-III) zu identifizieren sind, liegen in der Ökobilanz der YTONG-Produktanwendungen nicht vor. Stoffe, die sehr persistent sind, was in einer hohen Halbwertszeit zum Ausdruck kommt, sind mit maximal 14 Tagen ebenfalls nicht vorhanden. Eine Ausnahme bildet jedoch Nitrat als Wasserbelastung, das mit der Bewertungszahl 90 (bei maximal 100) größere Bedeutung besitzt.

Im Hinblick auf Bioakkumulation sind sowohl Benzol als auch Toluol zu nennen, allerdings ohne große Bedeutung; Xylole besitzen dagen mittlere Bioakkumulationstendenz. Alle drei Substanzen sind dem Verkehrsbereich zuzuordnen.

Zusammenfassend kann also festgehalten werden, daß die unter dem Aspekt Human- und Ökotoxizität mit den oben erwähnten Hilfsparametern identifizierten Substanzen nahezu vollständig aus dem Transportsektor stammen, dieser daher in jedem Fall von großer Bedeutung für Optimierungen ist.

4 Bewertung

In der Wirkungsabschätzung werden quantitativ erfaß- und beschreibbare Umweltwirkungen behandelt. Zugrunde liegen weitgehend objektive, naturwissenschaftlich begründete Ursache-Wirkungsabschätzungen. Die Bewertung dagegen ist gekennzeichnet durch ihren subjektiven, wertenden Charakter und ist daher von der Wirkungsabschätzung zu unterscheiden.

In der Bewertung werden Hierarchisierungen der Umweltwirkungen vorgenommen sowie weitere Parameter verbal argumentativ diskutiert. Die Bewertung wird in zwei Schritten durchgeführt:

- Bildung spezifischer Beiträge
- Diskussion einzelner qualitativer Parameter

4.1 Spezifische Beiträge

Ziel der Bildung spezifischer Beiträge ist es, einen Bezug zwischen den in einer Produkt-Ökobilanz erfaßten Umweltbelastungen eines Produktes und der gesamten Umweltproblematik im Untersuchungssystem herzustellen. Dadurch soll Wesentliches von Unwesentlichem unterschieden werden. Die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung können danach beurteilt werden, ob sie für den untersuchten örtlichen und zeitlichen Raum von Bedeutung sind, ob von ihnen ein großer oder kleiner Einfluß ausgeht. Dazu werden die spezifischen Beiträge der untersuchten Wirkungskategorien miteinander verglichen.

Die spezifischen Beiträge werden im folgenden für die Wirkungskategorien Ressourcenknappheit, Treibhauseffekt, Versauerung und Eutrophierung sowie für Substanzen, die zur Bildung von Photooxidantien beitragen, gebildet. Nach Schmitz et al. erfolgt die Bildung der spezifischen Beiträge durch Division der in der Wirkungsabschätzung ermittelten Wirkungsindikatoren durch die für einen bestimmten Zeitraum (in der Regel von einem Jahr) ermittelten Werte im Untersuchungsgebiet. Dazu wird vom Umweltbundesamt (UBA) folgender mathematischer Zusammenhang gebildet:

$$Spezifischer \ Beitrag_{wk} = \frac{\sum \left(Fr_{i, UB} \ x \ \ddot{A}F_{i, Wk}\right)}{\sum \left(Fr_{i, Ges} \ x \ \ddot{A}F_{i, Wk}\right)}$$

$$\frac{\text{wobei:}}{\sum \left(Fr_{i, Ges} \ x \ \ddot{A}F_{i, Wk}\right)}$$

$$\frac{\text{wobei:}}{\sum \left(Fr_{i, Ges} \ x \ \ddot{A}F_{i, Wk}\right)}$$

$$\frac{\text{WK}}{\sum \left(Fr_{i, Ges}$$

Die Bildung der spezifischen Beiträge selbst kann auf unterschiedliche Art und Weise erfolgen. Für den im Nenner der genannten Formel stehenden Koeffizienten können folgende Möglichkeiten genannt werden:

- Bildung anhand der aktuell bestehenden ökologischen Belastung,
- Bildung anhand einer zukünftig zu erwartenden ökologischen Belastung,
- Bildung anhand von *Umweltqualitätszielen* oder von *Umweltzielen*.

Zumindest die dritte der genannten Möglichkeiten nimmt eine ausdrückliche Bewertung vor, denn Umweltqualitätsziele oder Umweltziele unterliegen immer einem Abwägungsprozeß, der von subjektiven Werten und Werturteilen geprägt ist.

Die Bildung der spezifischen Beiträge ist nicht ohne Probleme. Dazu gibt es auch eine rege Fachdiskussion. Wir wollen nachfolgend kurz auf einige Probleme schlagwortartig hinweisen:

Bezugsgebiet

Die in der Sachbilanz erhobenen Daten beziehen sich auf Input- und Outputströme, die sich über den gesamten Lebenszyklus eines Produktes erstrecken. Damit werden auch Emissionen und Verbräuche, die außerhalb Deutschlands stattfinden, erfaßt. Folglich müßten auch für jede einzelne der betrachteten Wirkungskategorien die Frachten derselben Stoffe weltweit erfaßt werden.

Datenverfügbarkeit

Eng mit dem vorherigen Punkt verzahnt ist das Problem, daß Daten - erst recht in weltweitem Maßstab - kaum vorliegen bzw. nur unter großen Mühen und mit Hilfe von Annahmen und Analogieschlüssen erhoben werden können.

Datenerhebung

Ein weiteres Problem ist, ob alle Emissionen berücksichtigt werden, oder nur Ausschnitte davon. Beispielsweise sind nicht alle Umweltbelastungen vom Menschen verursacht (also anthropogen), sondern manche auch "natürlich" (wie z.B. Vulkanausbrüche, die in die Luft Schadstoffe emittieren). Es stellt sich somit die Frage, ob derartige Emissionen bei der Berechnung der gesamten jährlichen Stofffracht auch berücksichtigt werden oder nicht.

Als Stofffracht Fr_{i,Ges} werden die im Jahr 1991 bestehenden tatsächlichen Gesamtfrachten herangezogen. Wir haben als Bezugsgebiet die Bundesrepublik Deutschland gewählt.

Das Umweltbundesamt (vgl. Schmitz et al., 1995, S. A. 26f.) hat diese numerischen Ergebnisse der spezifischen Beiträge in einer fünfstufigen ordinalen Skala gewichtet: "Wichtig für die Bilanzbewertung sind nicht die absoluten Beträge des spezifischen Beitrags einer Verpackung zu einer Wirkungskategorie, sondern ihre relative Größe beim Vergleich der Wirkungskategorien untereinander". Hierfür werden die berechneten spezifischen Beiträge linear, gemessen am jeweils größten berechneten Wert, in fünf Klassen unterteilt:

↑	sehr großer Beitrag	(80-100% des Maximalwertes)
7	großer Beitrag	(60-80% des Maximalwertes)
→	mittlerer Beitrag	(40-60% des Maximalwertes)
7	geringer bis mittlerer Beitrag	(20-40% des Maximalwertes)
Ψ .	geringer Beitrag	(0-20% des Maximalwertes)

Von allen spezifischen Beiträgen der Spalten "Gesamt ohne Gebrauch" wird der größte Wert gesucht, gleich 100 und zu den anderen in Beziehung gesetzt. In der nachfolgenden Tabelle ist dies der spezifische Beitrag der 36,5er YTONG-Wand zum Treibhauseffekt. Alle anderen spezifischen Beiträge werden relativ dazu in Prozent ausgedrückt.

Die Tabelle stellt die spezifischen Beiträge der 24er, der 36,5er YTONG-Wand und des MBT jeweils für die gesamten Lebenszyklusstufen ohne Gebrauchsphase und daneben die Differenz der Gebrauchsphase der 24er und 36,5er YTONG-Wand zur Standardwand dar. Letzteres verdeutlicht demnach den Nutzen im Sinne einer geringeren Umweltbelastung, den die 24er und die 36,5er YTONG-Wand im Vergleich zur Standardwand aufweisen. Das MBT kann nicht mit dem Standard verglichen werden, da es nicht im Wohnhausbau sondern im Industriehallenbau eingesetzt wird und daher ohnehin geringere Raumwärme und Heizenergiebedarf

benötigt. Für das MBT wird demnach nur der spezifische Beitrag für "Gesamt ohne Gebrauch" ausgewiesen.

Sommersmog wird vereinfachend auf NMVOC-Emissionen bezogen, wenngleich sich dahinter ein sehr viel komplexeres Wirkungsgefüge verbirgt, das von der Anwesenheit verschiedener Faktoren abhängt.

Zur Berechnung der spezifischen Beiträge können die Wirkungsindikatoren nicht vollständig herangezogen werden, da nicht für alle zu einer Wirkungskategorie beitragenden Substanzen statistische Werte über Jahresgesamtfrachten vorliegen. Vielmehr müssen aus den Wirkungsindikatoren je Bilanzeinheit diejenigen Emissionen herausgerechnet werden, für die Daten über Gesamtjahresfrachten existieren. Die spezifischen Beiträge wurden daher wie folgt berechnet.

Ressourcenknappheit: Rohöläquivalenzwerte der YTONG-Produktvarianten, mit den in Rohöläquivalenzwerten ausgedrückten Jahresverbräuchen in der BRD 1991 an Braunkohle, Steinkohle, Rohgas und Rohöl ins Verhältnis gesetzt.

Treibhauseffekt: CO₂- und CH₄-Emissionen, umgerechntet in CO₂-Äquivalente und mit den Jahresfrachten der CO₂-Äquivalente ins Verhältnis gesetzt.

Versauerung: Fluorwasserstoff-, Stickoxid- und Schwefeldioxidemissionen, mit den jeweiligen Jahresfrachten ins Verhältnis gesetzt.

Eutrophierung: Stickoxidemissionen, deren Gesamtstickstoffanteil herausgerechnet wurde, da nur Gesamtjahresfrachten für Gesamtstickstoff vorliegen. Näherungweise wird NOx gleich NO₂ gesetzt, die Berechnung erfolgt anhand der Molekulargewichte, so daß der Gesamtstickstoffanteil an NOx 30,44% ausmacht). Der Gesamtstickstoffanteil der YTONG-Produktvarianten wird mit den Jahresfrachten Gesamtstickstoff ins Verhältnis gesetzt.

Sommersmog: Die NMVOC-Emissionen der YTONG-Produktvarianten werden mit den Gesamtfrachten NMVOC ins Verhältnis gesetzt.

Tabelle 9: Berechnung der spezifischen Beiträge für je 1m² der 24er, der 36,5er YTONG-Wand und des MBT

		:	24er YTC	NG-Wand			36,5er Y	TONG-Wand		M	3 T	Standard
Wirkungs- kategorien	Äquivalenz- werte (kt/a)	Gesamt ohne Gebrauchsphase		Gebrauch: Differenz zum Standard		Gesamt ohne Gebrauchsphase		Gebrauch: I zum Sta		Gesam Gebrauc	Gebrauchs- phase	
		Wert	spez. Beitrag	Wert	spez. Beitrag	Wert	spez. Beitrag	Wert	spez. Beitrag	Wert	spez. Beitrag	spez. Beitrag
Ressourcen- knappheit	143.000	4,88	34,13	-5,48	-38,32	7,20	50,35	-52,84	-369,51	5,52	38,60	1618,74
Treibhaus- effekt	1.060.000	48980,82	46,21	-20.426,56	-19,27	71.509,67	67,46	-197.016,65	-185,86	52.511,44	49,54	818,28
Versaue- rung	6.956	77,89	11,20	-25,87	-3,72	114,24	16,42	-249,52	-35,87	107,63	15,47	157,46
Eutrophie- rung	558	21,68	38,85	-5,35	-9,59	31,59	56,61	-51,63	-92,53	25,04	44,87	406,24
Sommer- smog	2.980	3,11	1,04	-3,71	-1,24	4,62	1,55	-35,79	-12,01	3,18	1,07	52,59

Alle spezifische Beiträge sind mit 10E12 multipliziert, um die Lesbarkeit zu erhöhen.

Verknüpft man nun die spezifischen Beiträge der Lebenszyklusstufen Rohstoffherstellung bis Gesamttransporte mit den verbalen Wichtungen von "sehr großer Beitrag" bis "geringer Beitrag" bzw. den Symbolen \uparrow , \nearrow , \searrow und \checkmark in der weiter oben beschriebenen Weise, ergibt sich folgendes Bild:

Tabelle 10: Wichtung der spezifischen Beiträge für je 1m² der 24er, der 36,5er YTONG-Wand und des MBT ohne Gebrauchsphase

Wirkungs- kategorien	24er YTONG- Wand	36,5er YTONG- Wand	MBT
Ressourcen- knappheit	→	7	→
Treibhauseffekt	7	^	7
Versauerung	Ψ	7	7
Eutrophierung	→	↑	7
Sommersmog	+	Ψ	Ψ

Diese Abbildung veranschaulicht, an welchen Stellen Optimierungsbedarf besteht:

↑: sehr großer Beitrag und damit Handlungsbedarf

7: großer Beitrag und Handlungsbedarf

→: mittlerer Beitrag

⇒: geringer bis mittlerer Beitrag

◆: geringer Beitrag

Die Entscheidung, ob aus Handlungsbedarf Maßnahmen abgeleitet werden können, obliegt der YTONG AG.

Der größte Handlungsbedarf besteht aufgrund des sehr großen Beitrags beim Treibhaus- und Eutrophierungspotential der 36,5er YTONG-Wand. Darauf folgen mit großem Beitrag die Ressourcenknappheit der 36,5er YTONG-Wand, das Treibhauspotential der 24er YTONG-Wand, sowie das Treibhaus- und Eutrophierungspotential des MBT. Sommersmog ist bei allen drei Produktvarianten durch einen geringen Beitrag gekennzeichnet.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß die 36,5er YTONG-Wand mit zwei sehr großen und einem großen Beitrag die höchsten spezifischen Beiträge aufweist, darauf folgt das MBT mit zwei großen und einem mittleren Beitrag und die 24er YTONG-Wand besitzt einen großen und zwei mittlere Beiträge.

Wichtig für die Interpretation der als Symbol gezeigten spezifischen Beiträge ist, daß die Gebrauchsphase in dieser Abbildung nicht einbezogen wurde. Denn die Geringerbelastung durch die bessere Wärmedämmung der 24er bzw. der 36,5er YTONG-Wand im Vergleich zur Standardwand kann sinnvoller wie folgt in Prozent ausgedrückt werden.

Tabelle 11: Geringerbelastung der 24er und der 36,5er YTONG-Wand in der Gebrauchsphase bezogen auf die spezifischen Beiträge der Standardwand

	24er YTONG-Wand	36,5er YTONG-Wand
Ressourcenknappheit	2,4%	22,8%
Treibhauseffekt	2,4%	22,7%
Versauerung	2,4%	22,8 %
Eutrophierung	2,4%	22,8%
Sommersmog	2,4%	22,8%

Die Geringerbelastung, ausgedrückt in geringerem spezifischen Beitrag, ist für die 24er YTONG-Wand in allen Wirkungskategorien mit 2,4% deutlich niedriger als die der 36,5er YTONG-Wand mit etwa 22,8%.

4.2 Diskussion einzelner Parameter

Im folgenden soll auf einige Aspekte eingegangen werden, die in der Wirkungsabschätzung keine Berücksichtigung gefunden haben, im Rahmen der ökologischen Betrachtung dennoch relevant sind.

Lärm

Die schädigenden Wirkungen von Lärm wie vegetative Störungen, Schlafstörungen, Gehörschädigungen etc. werden zunehmend anerkannt und ernst genommen. Aus diesem Grund wird Lärm auch in Ökobilanzen als Umweltwirkung diskutiert. Es existieren zwar für verschiedene Geltungsbereiche (Sondergebiete wie Krankenhäuser und Schulen sowie Wohngebiete, Dorf-, Misch- und Kerngebiete, Gewerbe- und Industriegebiete) Immissionsrichtwerte der TA Lärm und der Verkehrslärmschutzverordnung, die nach Tages- und Nachtwerten differenziert sind, doch die Handhabung in einer Ökobilanz ist noch weitgehend ungeklärt.

Relevante Lärmquellen sind innerhalb der YTONG-Werke im wesentlichen die Mühlen und Brecher. Abhängig von der Lage der Werke müßte hier im einzelnen entschieden werden, ob die Mühlen bzw. Brecher Anwohner oder schützenswerte Biotope (oder Tierarten) belästigen. Darüber hinaus sind Transportvorgänge

lärmintensiv. Daher sollte auch unter diesem Aspekt (wie auch dem der Energieeinsparung) auf möglichst kurze Wegstrecken geachtet und u.a. die Möglichkeiten des Umstiegs von LKWs auf die Bahn geprüft werden.

Naturraumbeanspruchung

Unter Naturraumbeanspruchung werden Aspekte wie Flächenverbrauch und die damit einhergehende Zerstörung von Biotopen verstanden. Wichtig ist diese Wirkungskategorie bei sehr flächenintensiven Prozessen wie etwa dem Abbau von Rohstoffen im Tagebau (z.B. Bauxitförderung als Rohstoff der Aluminiumproduktion) oder bei land- und forstwirtschaftlichen Produkten. Da auch in diesem Fall die Handhabung noch nicht endgültig geklärt ist, in der ersten Studie 1993 in der Sachbilanz keine flächenbezogenen Daten erhoben wurden und sich die Aktualisierungen weitgehend auf produktionsbezogene Daten und Methode der Wirkungsabschätzung und Bewertung bezogen, kann hier nur verbal darauf eingegangen werden.

Mit der Herstellung der im Porenbeton eingesetzten Rohstoffe Sand und Kalk, sowie des Aluminiumrohstoffs Bauxit geht in Folge der Tagebauförderung, die sehr flächenintensiv ist, eine relativ hohe Naturraumbeanspruchung einher. Aufgrund der geringeren Dichte gegenüber anderen Baustoffen werden zwar weniger Rohstoffe für dasselbe Volumen benötigt, auf eine naturnahe Rekultivierung der nicht mehr genutzten Abbauflächen ist dennoch zu achten. Außerdem sollte dieser Aspekt bedacht werden, wenn über eine bessere Wärmeisolierung durch eine größere Wanddicke (und damit höheren Rohstoffbedarf) nachgedacht wird.

Demontierbarkeit

Porenbetonbausteine sind für einschalige Bauausführungen geeignet, die durch einfachen Wandaufbau und geringe Materialvielfalt gekennzeichnet sind. Damit sind diese im Gegensatz zu komplizierten Wandaufbauten wenig anfällig gegen Ausführungsfehler (Wärmebrücken etc.) und die Recyclingfähigkeit ist als gut einzuschätzen. Die Demontage von Gebäuden aus einschaligen Wänden ist bedeutend einfacher zu bewerkstelligen als bei mehrschaligem Aufbau.

Energieverbrauch in der Herstellung

Der Energiebedarf zur Herstellung von Porenbetonbaustoffen ist im Vergleich zu anderen Baustoffen gering bis mittel. Da der bei der Bilanzierung ermittelte Energieäquivalenzwert stark von in der Literatur bisher angegebenen Werten abweicht, ist ein quantitativer Vergleich mit anderen Baustoffen so nicht möglich. Dazu müßten

überall gleiche Grundannahmen getroffen worden sein. Außerdem relativiert sich der Energieverbrauch des Herstellungsprozesses, wenn der gesamte Produktlebenszyklus betrachtet wird (s. als Beispiel Abb. 8). Die Gebrauchsphase ist der alles dominierende Faktor; d. h. die benötigte Heizenergie über 80 Jahre ist erheblich größer als der Energieverbrauch zur Produktion der 36,5er YTONG-Wand und ebenfalls deutlich größer als der Energieverbrauch zur gesamten Rohstoffherstellung.

5 Schlußbemerkung und Empfehlungen

Bei den YTONG-Produktanwendungen schneidet in allen Wirkungskategorien die 36,5er Variante in den Lebenszyklusstufen Rohstoffherstellung bis Gesamttransporte schlechter ab als die 24er, in der Gebrauchsphase dagegen erheblich besser. Damit kann die 36,5er YTONG-Wand die Nachteile in den Lebenszyklusstufen Rohstoffherstellung bis Transporte gegenüber der Standardwand nach WSVO 95 deutlich überkompensieren.

Das Montagebauteil kann aufgrund der unterschiedlichen Funktion nicht mit den beiden Wohnhausvarianten verglichen werden; hier sollten ausschließlich die Umweltwirkungen im Sinne einer Schwachstellenanlyse dargestellt werden. Eine Kommentierung der Wirkungen fand bereits in der Wirkungsabschätzung statt, die Aussagen bezüglich Demontierbarkeit, Lärm etc. gelten für alle drei Bilanzeinheiten, können also auf das MBT übertragen werden.

In den beiden vorangegangenen Versionen der Ökobilanz von YTONG-Produktanwendungen wurden eine Reihe von Empfehlungen zur Produktoptimierung ausgesprochen. Diese sollen hier nicht wiederholt werden.

Im Licht der Ergebnisse der aktualisierten Studie können jedoch folgende Aussagen getroffen werden:

Wärmedämmung

Die Bedeutung der Wärmedämmung wurde durch die geänderte Darstellung der Gebrauchsphase noch einmal unterstrichen. Die Höherbelastungen der 36,5er YTONG-Wand aufgrund des höheren Materialeinsatzes werden deutlich überkompensiert durch die Geringerbelastungen in der Gebrauchsphase. Die Wärmedämmung sollte daher weiterhin Schwerpunkt der Produktverbesserungen sein.

Transporte

Durch die Aktualisierung wurde jedoch die Bedeutung der Transporte für die Gesamtumweltwirkungen des Baustoffes YTONG verstärkt ins Blickfeld gerückt. Der Transport per LKW verursacht nicht nur einen hohen Energieverbrauch sondern auch ein entsprechend hohes Versauerungs- und Eutrophierungspotential, die sogar von den Transporten maßgeblich gebildet werden. Doch auch die qualitativ beschriebenen Wirkungskategorien Human- und Ökotoxizität sowie der spezifische Beitrag zum Sommersmog werden wesentlich durch Emissionen aus

dem Transportbereich hervorgerufen. Damit wird offenkundig, daß in diesem Bereich erhebliche Verbesserungsbedarfe bestehen.

6 Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Ökobilanz ist es, die Umweltwirkungen, die von dem Baustoff Porenbeton der YTONG AG ausgehen, systematisch zu erfassen und zu bewerten. Dabei soll zum einen gezeigt werden, aus welcher Lebenszyklusstufe der Produkte welche Belastungen herrühren, zum anderen werden die Umweltwirkungen der Rohstoffherstellung, Produktion, Montage und aller Transporte denen der Gebrauchsphase gegenübergestellt. Die Entsorgung des abgerissenen Gebäudes wird auf der Basis heute plausibel erscheinender Annahmen und Prognosen für die Entsorgungssituation von Bauschutt beschrieben.

Die verwendete Methodik zur Produkt-Ökobilanzierung mit den Schritten Zieldefinition, Sachbilanz, Wirkungsabschätzung und Bewertung basiert auf dem internationalen Normentwurf DIS 14040 Life Cycle Assessment und berücksichtigt die Methodendiskussion im Arbeitsausschuß Produkt-Ökobilanzen beim DIN (Deutsches Institut für Normung).

Die Daten der Sachbilanz wurden in den YTONG-Werken ermittelt und sind als Durchschnittswerte unterschiedlicher Produktionsstätten zu verstehen. Weitere Grunddaten, wie etwa zur Stahl- und Aluminiumherstellung, entstammen einschlägiger Literatur und Nachschlagewerken.

Die hier zur Wirkungsabschätzung angewandte Methodik führt nicht zu einer Bewertungszahl, sondern zu folgenden quantitativen und qualitativen Aussagen:

Quantitativ:

- Ressourcenknapheit (fossile Ressourcen)
- Treibhauseffekt
- Versauerung
- Eutrophierung

Qualitativ:

- Human- und Ökotoxizität
- Sommersmog (als spezifischer Beitrag)

Nicht berücksichtigt wurde aus Gründen fehlender Daten oder methodischer Grenzen:

• Ozonabbau (keine entsprechenden Emissionen vorhanden)

Ausschließlich verbal argumentativ beschrieben wurden:

- Lärm
- Naturraumbeanspruchung

Der aktuelle Diskussionsstand im DIN Unterausschuß 2 "Wirkungsbilanz/Bewertung" fließt in diese 2. überarbeitete Fassung der Ökobilanz ein, indem die Liste der betrachteten Wirkungskategorien und die entsprechenden Gewichtungsfaktoren zugrundegelegt werden, sofern dies ohne Neuerhebung von Daten möglich war.

Die Berücksichtigung verschiedener Umweltwirkungen anhand von Wirkungskategorien, die in der Wirkungsabschätzung nicht weiter aggregiert werden, erschwert auf der einen Seite zwar die Eindeutigkeit der Aussagen, ermöglicht auf der anderen Seite jedoch eine nach Umweltproblemen differenzierte Interpretation. Auf dieser Basis können die Umweltwirkungen der Baustoffproduktion und -anwendung verbessert werden.

Anhand der Wirkungskategorien werden die Umweltwirkungen einer Wand aus YTONG-Planblöcken der Dicke 36,5 cm und einer Wand der Dicke 24 cm zunächst getrennt dargestellt und anschließend verglichen, wobei beide Varianten einer aus den Vorgaben der Wärmeschutzverordnung 1995 berechneten fiktiven Standardwand mit einem k-Wert von 0,5 W/m²K gegenübergestellt werden.

Schwachstellenanalyse

Die Einzeldarstellung wird für die Ressourcenknappheit exemplarisch unter Einbeziehung der Gebrauchsphase vorgenommen, um deren Einfluß aufzeigen zu können. Um die anderen Lebenszyklusstufen nicht zu marginalisieren, wird die Gebrauchsphase anschließend nicht einbezogen und eine Schwachstellenanalyse der Lebenszyklusstufen Rohstoffherstellung, Produktion, Montage und Transporte erstellt.

Die Anteile der Lebenszyklusstufen an den Umweltwirkungen Ressourcenknappheit, Treibhauseffekt, Versauerung und Eutrophierung sind bei der 24er und der 36,5er YTONG-Wand in Prozent ausgedrückt, um die Abbildungen leichter interpretieren und vergleichen zu können. So ist bei beiden die Produktion am stärksten verantwortlich für die Ressourcenknappheit, gefolgt von der Rohstoffherstellung, den Transporten und mit größererm Abstand der Montage.

Bereits beim Treibhauseffekt verändert sich die Reihenfolge: Der größte Anteil geht mit rund 60% zu Lasten der Rohstoffherstellung, in größerem Abstand folgen die Produktion mit rund 19%, die Montage mit 12-15% und zum Schluß die Transporte mit rund 7%.

In der Versauerung nehmen sowohl die Rohstoffherstellung mit rund 35% als auch die Transporte mit rund 39% einen hohen Stellenwert ein, darauf folgt mit Abstand die Produktion (19%), nahezu unbedeutend ist die Montage.

Die Eutrophierung wird schließlich von den Transporten dominiert, die rund 57% der Umweltwirkung ausmachen. Darauf folgt die Rohstoffherstellung mit 34% und mit größerem Abstand die Produktion und die Montage.

Das Montagebauteil verhält sich vom Grundsatz her ähnlich, jedoch spielt bereits bei der Ressourcenknappheit die Rohstoffherstellung eine größere Rolle als die Produktion. Ferner ist der Einfluß der Rohstoffherstellung generell größer als bei den Wohnhausvarianten, was u.a. auf die Stahlbewehrung zurückzuführen ist. So ist der Anteil der Transporte bei der Versauerung nicht gleich hoch wie der der Rohstoffherstellung, sondern nur 30% gegenüber 50%. Auch bei der Eutrophierung ist der Anteil der Transporte bei knapp 50% und der Rohstoffherstellung bei 31%.

Vergleich zwischen der 24er, der 36,5er YTONG-Wand und einer Standardwand nach Wärmeschutzverordnung 1995 (WSVO 95)

Anschließend wird ein Vergleich zwischen der 24er, der 36,5er YTONG-Wand und einer Standardwand vorgenommen. Diese Standardwand besteht nur rechnerisch, ist aus dem Baustoff YTONG und entspricht exakt den Anforderungen der neuen Wärmeschutzverordnung 1995 (WSVO 95). Der Vergleich mit dieser Standardwand wird erzielt, indem die Werte der Standardwand in allen Lebenszyklusstufen von denen der 24er und der 36,5er YTONG-Wand abgezogen wurden.

Im Vergleich zur 24er Wand, die bei gleicher Wanddicke von 24cm eine niedrigere Dichte aufweist, schneidet die Standardwand in den Lebenszyklusstufen Rohstoffherstellung, Produktion, Montage und Transporte schlechter ab. Das sind diejenigen Stufen, die von der eingesetzten Materialmenge abhängen. Im Vergleich zur 36,5er YTONG-Wand schneidet die Standardwand in den genannten Lebenszyklusstufen jedoch besser ab, wiederum aufgrund des unterschiedlichen Materialbedarfs.

In der Gebrauchsphase führen sowohl die 24er als auch die 36,5er YTONG-Wand zu geringeren Umweltbelastungen als die Standardwand, da sie eine bessere

Wärmedämmleistung besitzen. Dabei ist der Vorteil der 24er jedoch deutlich geringer als der der 36,5er YTONG-Wand.

Bewertung mittels spezifischer Beiträge

Die spezifischen Beiträge ermöglichen es, Vergleichbarkeit zwischen den Wirkungskategorien herzustellen. Dazu werden die Belastungen durch die YTONG-Produktvarianten mit denen im gesamten Untersuchungsgebiet, hier vereinfachend der Bundesrepublik, ins Verhältnis gesetzt. Die Wirkungskategorie, die den höchsten Beitrag zur Gesamtbelastung aufweist, ist im Hinblick auf ökologische Optimierungen bedeutender als andere. Dieses Verfahren ergibt für die 24er und die 36,5er YTONG-Wand, daß die Beiträge zum Treibhauseffekt und zur Eutrophierung besonders hoch und damit bedeutsam sind, bezogen auf die Lebenszyklusstufen Rohstoffherstellung bis Transporte. Demgegenüber werden die Geringerbelastungen in den Wirkungskategorien durch die Wärmedämmung der 24er und der 36,5er YTONG-Wand in Prozent dargestellt: die 24er führt stets zu rund 2,4% Geringerbelastung, die 36,5er YTONG-Wand dagegen zu rund 23%.

Empfehlungen

Aus der Wirkungsabschätzung und den verschiedenen Aspekten der Bewertung rücken die Transporte als Verursacher hoher und teilweise sogar der höchsten Umweltbelastungen verstärkt ins Blickfeld, bezieht man ausschließlich die Lebenszykylusstufen Rohstoffherstellung, Produktion, Montage und Transporte ein. Betrachtet man die Gebrauchsphase, wird die große Bedeutung der Wärmedämmung unterstrichen, die den größeren Materialbedarf deutlich überkompensieren kann.

Ausblick

Mit der Einführung des Vergleichs mit einer Standardwand nach WSVO 95 wurde ein erster Versuch unternommen, Vergleichbarkeit auch zu anderen Baustoffen herstellen zu können. Andere Baustoffhersteller könnten diesem Verfahren folgen und die Ökobilanzen ihrer Baustoffe ebenfalls im Vergleich zu einer fiktiven Wand mit dem k-Wert der WSVO 95 darstellen.

7 Literaturverzeichnis

- Boecker, R. (1992): Betrachtungen zum Stand des Metall- und Kunststoffrecyclings. in: Erzmetall 45 Nr. 10.
- Boustead, I. (1993): Eco-profiles of the European plastics industry. Report for The European Centre for Plastics in the Environment (PWMI), Brüssel.
- BDZ (1995): Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V.: Zement Zahlen und Daten 94/95, Köln.
- Feist, W. (1986): Primärenergie und Emissionsbilanz von Dämmstoffen. I.W.U. Darmstadt.
- Habersatter, K. (1991): Oekobilanz von Packstoffen Stand 1990. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL). Schriftenreihe Umwelt Nr. 132, Bern.
- Heijungs, et al. (1992): Environmental life cycle assessment of products, backgrounds & guide. Centre of Environmental Science, Leiden.
- GhK/ÖI (1995): Gesamthochschule Kassel, Öko-Institut Darmstadt, Forschungsgruppe Umweltsystemanalyse (Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten (Hg.)), Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) Version 2.1, Wiesbaden.
- Hommel, G. (1993-1995): Handbuch der gefährlichen Güter; Merkblätter, Heidelberg.
- IWBL (1993): Institut für Wasser- 'Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes: Bewertung der Grundwassergefährdung von Altablagerungen - Standardisierte Methoden und Maßstäbe, Nr. 1.
- Katalyse e.V. (1993): Das Umwelt-Lexikon, Köln.
- Klöppfer, W; Renner, I. (1994): Methodik der Wirkungsbilanz im Rahmen von Produkt-Ökobilanzen unter Berücksichtigung nicht oder nur schwer quantifizierbarer Umweltkategorien, UFO-Plan Nr.: 101 01 102.
- LBB (1992): Landesinstitut für Bauwesen und angewandte Bauschadensforschung: Umweltbewußte Bauteil- und Baustoffauswahl, Aachen.
- Marmé, W.; Seeberger, J. (1982): Der Primärenergiegehalt von Baustoffen. in: Bauphysik 6.

- Nentwig, W. (1995): Humanökologie, Heidelberg.
- Pappi, I., Stürmer, H.-D. (1992): Umweltverträglichkeit von Baustoffen, Berlin.
- Regniet, G.; Schmidt, G. (1995): Struktur des Nutzfahrzeugverkehrs auf allen Straßen in Deutschland. in: Internationales Verkehrswesen 47, 3.
- Rippen (1996): Handbuch Umweltchemikalien.
- Ruch, H. (1992): Der Kalkbrennprozeß im Spannungsfeld zwischen Ökonomie und Ökologie. in: Tagungsband der 1. Europäischen Technischen Tagung, Köln.
- Schmitz et al. (1995): Ökobilanz für Getränkeverpackungen. Umweltbundesamt (Hg.), UBA-Texte 52/95, Berlin.
- SETAC (1992): A Conceptual Framework For Life Cycle Assessment, Workshop Report, Sandestin.
- SETAC (1993): "A Code Of Practice", Workshop Report, Sesimbra.
- Stat. Jahrbuch (1995): Statistisches Jahrbuch der Bundesrepublik Deutschland:

 Tabelle 10.1.3 Baugenehmigungen im Hochbau nach Art der
 Beheizung.
- Steven, H. (1995): 3. Zwischenbericht des UBA F+E-Vorhabens 105 06 044 "Emissionsfaktoren für verschiedene Fahrzeugschichten, Straßenkategorien, Verkehrszustände und Bezugsjahre", Herzogenrath.
- Hassel et al. (1995): Abgas-Emissionsfaktoren von Nutzfahrzeugen in der Bundesrepublik Deutschland für das Bezugsjahr 1990. Umweltbundesamt (Hg.), UBA-Berichte 5/95, Berlin.
- Umweltinstitut (1993): Umweltinstitut München (Hg.): Wärmedämmstoffe im Vergleich, München.
- VDEh (1992): Verein Deutscher Eisenhüttenleute (Hg.): Kumulierter spezifischer Primärenergiebedarf von Stahlprodukten.
- Weber, H. (1991): Das Porenbeton Handbuch, Wiesbaden.

8 Anhang

Anhang 1:	Tabellen zu Luftemissionen, Heizwerten und	
	Vorkettenfaktoren	94
Anhang 2:	Grundlagentabelle für Luftemissionen	95
Anhang 3:	Daten zur Zement- und Kalkherstellung	96
Anhang 4:	Daten zur Gebrauchsphase	97
Anhang 5:	Ökokontenrahmen Herstellung der Roh- und Hilfsstoffe	08
Anhang 6:	Ökokontenrahmen Transporte	
_		
Anhang 7:	Ökokontenrahmen Produktion YTONG-Baustein	103
Anhang 8:	Ökokontenrahmen Produktion Montagebauteil	104
Anhang 9:	Ökokontenrahmen Montage	105
Anhang 10:	Ökokontenrahmen Gebrauchsphase	106
Anhang 11:	Ökokontenrahmen Entsorgung	107
Anhang 12:	Umrechnungsfaktoren 24er YTONG-Wand	108
Anhang 13:	Umrechnungsfaktoren 36,5er YTONG-Wand	109
Anhang 14:	Umrechnungsfaktoren 20er YTONG-MBT	110

Anhar	ng 1: Tabellen zu Lu	ıftemi	ssionen,	Heizv	verten	, Vorl	kettenf	aktor	en					-				1	Ī		
Energ	ieart		Lufter	mission	en													Heizw	/ert	Faktor	Vorkette
		-	4.1.1.	4.1.2.	4.1.3.	4.1.4.	4.1.5.	4.1.6.	4.1.7.	4.1.8.	4.1.9.	4.1.10.	4.1.17.	4.1.18.	4.1.19	4.1.20.	4.1.21.				* .
			CO2	CO	Staub	CH4	NOx	N2O	SO2	NMVOC	HCI	HF	Benzol	Toluol	Xylol	Dieselruß	СН			Bereits	tellung
			[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]		Einheit		Einheit
2.	Energie																				
2.1.	Elektroenergie								ļ												
2.1.1.	EE BRD	[kWh]	712,044	0,576	0,082	1,758	0,837	0,027	0,510	0,051										11,59	[MJ/kWh]
2.1.2.	EE Bahn	[kWh]	656,885	0,284	0,066	2,348	0,529	0,028	0,475	0,030										9,828	[MJ/kWh]
2.2.	Primärenergie	[MJ]																1			
2.2.1.1	Erdgas Heizung	[MJ]	58,162	0,055	0,001	0,293	0,052	0,001	0,002	0,006								35,2	[MJ/m³]	1,08	[MJ/MJ]
2.2.1.2	Erdgas Heizwerk	[MJ]	57,855	0,034	0,001	0,154	0,040	0,001	0,002	0,003		***						35,2	[MJ/m³]	1,07	[MJ/MJ]
2.2.1.3	Erdgas Feuerung	[MJ]	57,855	0,027	0,001	0,151	0,040	0,001	0,002	0,003								35,2	[MJ/m³]	1,07	[MJ/MJ]
2.2.2.1	Heizöl EL Heizung	[MJ]	82,230	0,050	0,005	0,025	0,070	0,001	0,125	0,024								42,8	[MJ/kg]	1,11	[MJ/MJ]
2.2.2.2	Heizől EL Heizwerk	[MJ]	82,230	0,031	0,005	0,025	0,060	0,001	0,125	0,024								42,8	[MJ/kg]	1,11	[MJ/MJ]
2.2.3.	Heizöl S Feuerung	[MJ]	89,020	0,039	0,012	0,024	0,116	0,003	0,143	0,022								40,7	[MJ/kg]	1,15	[MJ/MJ]
2.2.4.	Steinkohle Feuerung	[MJ]	97,982	0,056	0,010	0,502	0,154	0,003	0,124	0,003	0,011	0,001						27,8	[MJ/kg]	1,06	[MJ/MJ]
2.2.5.1	Braunkohle Heizung	[MJ]	116,123	2,009	0,052	0,203	0,069	0,009	0,132	0,203								19,9	[MJ/kg]	1,17	[MJ/MJ]
2.2.5.2	Braunkohle Feuerung	[MJ]	116,061	0,063	<u> </u>	0,004		·	0,080		0,003	2,00E-04						21,9	[MJ/kg]		[MJ/MJ]
2.2.6.	Fernwärme	[MJ]	53,921	0,033		0,163			0,056				ļ					1			[MJ/MJ]
2.2.7.	Diesel	[km]	1066,616	2,333	0,606	0,255	12,811	0,001	0,659	0,253	<u> </u>		0,019	0,008	0,008	0,223	1,021	42,8	[MJ/kg]	1,11	[MJ/MJ]

		Einheit	CO2	co	Staub	CH4	NOx	N2O	SO2	NMVOC	HF	HCL	Benzol	Toluol	Xylol	Dieselruß	НС	
			[9]	[g]	[g]	[g]	[g]	[9]	[g]	[9]	[g]	[g]	[9]	[9]	[g]	[9]	[g]	
Primärenergie (Gl	nK/ÖL 1995)																	ļ
Bereitstellung		-																
	frei Verbraucher, Haushalt	MJ	3.012	0.015	0,001	0.288	0.012	1,00E-04	0.002	0,001						***************************************		
	frei Verbraucher, Industrie	MJ	2.705	0.013	0,001	0,149		1.00E-04	0.001	0.001								
Heizöl EL	frei Verbraucher, LKW	MJ	8,180	0,010	0.004	0,018	0,030	1,00E-04	0.051	0,019								-
Heizöl S	frei Verbraucher, Bahn	MJ	10,699	0,010	0,004	0,021		2,00E-04	0,055	0,019								
Steinkohle	frei Verbraucher, Mix-Kohle	MJ	4,632	0,003	0,002	0,500	0,013	1,00E-04	0,017	0,001								
Braunkohle	frei Verbraucher, westdeutsche Brikett	MJ	18,173	0,009	0,002	0,003	0,019	0,005	0,009	0,003				-				
Braunkohle	frei Verbraucher, westdeutscher Staub	MJ	18,111	0,009	0,002	0,003	0,018	0,005	0.009	0,003								
Diesel	frei Verbraucher, LKW	km	106,594	0,128	0,050	0,231	0,388	0,001	0,659	0,253								
Verbrennung										<u> </u>								
	Heizung (Haushalt)	MJ (input)	55,150	0,040	1,00E-04	0.005	0,040	0.001	4,00E-04	0,005					-			
	Heizwerk (Industrie, klein)	MJ (input)	55,150	0.021	1,00E-04	0.005	0.028	0.001	4,00E-04									
Erdgas	Feuerung	MJ (input)	55,150	0,014	1,00E-04	0,003	0.028	0,001	4,00E-04					-				
	Heizung (Haushalt)	MJ (input)	74,050	0,040	0.001	0,007	0,040	0,001	0,075	0,005								
	Heizwerk (Indutrie, klein)	MJ (input)	74,050	0,021	0,001	0,007	0.030	0.001	0,075	0.005							ļ	
	Feuerung (Industrie)	MJ	78,320	0,029	0,008	0,003	0.086	0,003	0.088	0,003			-					
	Feuerung (Industrie, mittel)	MJ	93,350	0,053	0,009	0.002	0,141	0.003	0.107	0,002	0.001	0.011						
	Heizung (Haushalt, westdeutsche Brikett)	MJ (input)	97,950	2,000	0.050	0,200	0,050	0,004	0,123	0,200		· ·						
	Feuerung (Industrie, mittel, westdeutsche Braunkohle)	MJ (input)	97,950	0,054	0,009	0,002	0,143	0,008	0.070	0.002	2.00E-04	0.003						
		MJ (Wärme)	 	0.028	0,003	0.139	0.036	0.003	0.047	3,552	2,002 01	0,000						
	Mix	km	960,022	2,205	0,556	0,025	12,423	5,000					0,019	0,008	0,008	0,223	1,021	304,463
				4005 -		0-1												•
Grundlagen zu Ve	erkehrsemissionen (Steven	, н., 1995; Н	assei et al.	, 1995; R	egniet, G.;	Schmid	ւ, G., 199	((30)										
Straßentypen	Verteilung der Belastungen auf die Straßentypen	Fahrzeug- kategorie	CO2	СО	Staub	CH4	NOx						Benzol	Toluol	Xylol	Dieselruß	нс	Verbrauc
		3	[g/km]	[g/km]	[g/km]	[g/km]	[g/km]			-			[g/km]	[g/km]	[g/km]	[g/km]	[g/km]	[g/km]
Bundesautobahner	69,00%	Sattelzüge	949,900	2,070	0,490	0.022	11,720						0,017	0,007	0,007	0.196	0,900	301,100
Außerortsstraßen	22,70%	Sattelzüge	877,450	2,180	0,570	0.024	11,810						0,019	0,008	0,008	0,228	0,990	278,400
Innerortsstraßen	8,30%	Sattelzüge	1270,000	3,400	1,070	0,051	19,940			1			0,040	0,017	0.017	0.428	2,110	403,700

Anhang 3: Daten z	zur Zement- und K	alkherstellung		
Zementherstellung	(BDZ, 1995)			
Benötigte Energiemen	gen:		MJ/kg Zement	Brennstoff
		0,104	kWh/kg Zement	Strom
Umrechnung auf einze	elne Brennstoffe:			
Brennstoffe	Anteil	Energiemenge		
	[%]	[MJ/kg bzw. m³]		
Steinkohle	52	1,328		
Braunkohle	36	0,919		
Heizöl S	11	0,281		
Erdgas	1	0,026		
Kalkherstellung (Ru	uch,H., 1992)		Adam and the second sec	
Benötigte Energiemen	gen:	3,8	MJ/kg Kalk	Brennstoff
		0,021	kWh/kg Kalk	Strom (ca. 2 % des Gesamtenergiebedarfs)
Umrechnung auf einze	elne Brennstoffe:			
Brennstoffe	Anteil	Energiemenge		
	[%]	[MJ/kg bzw. m³]		
Steinkohle	45	1,710		
Heizöl S	10	0,380		
Erdgas	45	1,710		

Anhang 4: Date	nı zur Gebrau	cuspnase				
1. YTONG-Baustei	n					
Wanddicke	Gebrauchs- jährliche dauer Wärmebed		benötigte Energiemenge			
[cm]	[a]	[kWh/(m²*a)]	[MJInput / m²]			
24,0	80	35,073	11883,56			
36,5	80	27,716	9390,83			
Umrechnung auf e	inzelne Heizene	rgien				
Brennstoffart	Anteil Heizwert		Verbrauch/m² Hüliflä			
-			24-er Wa		36,5-er V	
	[%]	[MJ/kg bzw. m³]	[kg bzw. m³/m² Hüllfläche]	[MJ/m² Hüllfläche]	[kg bzw. m³/m² Hüllfläche]	[MJ/m² Hüllfläche]
Kohle	0,4	19,9	2,39	47,53	1,89	37,56
Heizöl	33,2	42,8	92,18	3945,34	72,84	3117,76
Erdgas	62,7	35.2	211,68	7450,99	167,27	5888,0
Fernwärme	1,5	00,2	211,00	178,25	101,21	140,80
	7,0			[kWh/m² Hüllfläche]		[kWh/m² Hüllfläche]
Strom	1,8			59,42		46,9
Sonstiges	0,3		-	00,42		40,30
2. YTONG-MBT						· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
Wanddicke	Wanddicke Gebrauchs- dauer		benötigte Energiemenge			
[cm]	[a]	[kWh/(m²*a)]	[MJInput / m²]			
20,0	30	18,91	2403,19			
Umrechnung auf e	inzelne Heizene	gien				
Brennstoffart	Anteil	Heizwert	Verbrauch/m² H	lülifläche		
	[%]	[MJ/kg bzw. m³]	[kg bzw. m³/m² Hüllfläche]	[MJ/m² Hüllfläche]		
	`					
Kohle	0,8	19,9	0,97	19,23		
Heizöl	24,8	42,8	13,93	595,99		
Erdgas	60,6	35,2	41,37	1456,33		
Fernwärme	5,6			134,58		
				kWh/m²		
Store and				Hüllfläche		
Strom	6,3			42,06		
Sonstiges	1,90					

Bezuasar	röße: 1 kg des jeweiligen S	Stoffes								
										_
		Einheit	Sand	Kalk Kalkstein-	Kalkher-	<u> </u>	Kalk	Zement		Zement
			Abbau	abbau	stellung		Gesamt	Herstellung		Gesamt
Input										
1.	Werkstoffe									
	Faceria		ļ							
2. 2.1.	Energie Elektroenergie									
2.1.1.	EE BRD	[kWh]		0,004	0,021		0,025	0,104	1	0,104
2.2.	Primärenergie	[MJ]		0,041	3,800		3,841	2,553		2,553
2.2.1.1 2.2.1.2	Erdgas Heizung Erdgas Heizwerk	[MJ]		-				ļ	<u> </u>	
2.2.1.2	Erdgas Feuerung	[MJ]		0,007	1,710	_	1,717	0,026		0,026
2.2.2.1	Heizöl EL. Heizung	[MJ]		- 0,001	1,710		1,717	0,020		0,020
2.2.2.2	Heizöl EL Heizwerk	[MJ]		0,034			0,034			
2.2.3.	Heizöl S Feuerung	[MJ]			0,380		0,380			0,281
2.2.4.	Steinkohle Feuerung	[MJ]			1,710		1,710			1,328
2.2.5.1	Braunkohle Heizung	[MJ]								
2.2.5,2	Braunkohle Feuerung	[MJ]						0,919		0,919
2.2.6.	Fernwärme	[MJ]								
2.2.7.	Diesel	[km]								
	F	0.0.13			4 000		4 400	4.000		4.000
	Energieäquivalenzwert	[MJ]		0,086	4,323		4,409	4,038		4,038
Output		 							 	
3.	Produkte	<u> </u>						 		
<u></u>	Flounte									
		-		_		prozeß-			prozeß-	
4.	Emissionen				energetisch	bedingt		energetisch	bedingt	
4.1.	Luftbelastungen				J-11-1			g		
4.1.1.	CO2	[9]		5,693	315,262	750,000	1070,955	337,275	500,000	837,275
4.1.2.	CO	[g]		0,003	0,168		0,172	0,203		0,203
4.1.3.	Staub	[g]		72,000	0,025		72,026	0,036		0,036
4.1.4.	CH4	[g]		0,008			1,171	0,863		0,863
4.1.5.	NOx	[9]		0,005			0,398	0,473		0,473
4.1.6.	N2O	[g]		0,000			0,009			0,020
4.1.7.	SO2	[g]		0,006			0,287	0,331		0,331
4.1.8.	NMVOC	[g]		0,001	0,019		0,020			0,019
4.1.9.	HCI	[g]	ļ		0,018		0,018		-	0,017
4.1.10. 4.1.11.	HF Cl2	[9]			0,001		0,001	0,001	-	0,001
4.1.14.	Aldehyde	[9]								
4.1.15.	org. Verb.	[9]				-				
4.1.16.	NH3	[9]								
		102								
4.2.	Wasserbelastungen									
4.2.1.	gel. Feststoffe	[9]								
4.2.2.	susp. Feststoffe	[g]								
4.2.3.	BOD5	[g]								
4.2.4.	COD	[9]								
4.2.6.	Öle NH3	[g]							 	
4.2.8.	NH3 Fluoride	[9]							 	
120	Chloride	[9]				-			 	
4.2.9. 4.2.10			i		l					
4.2.10.						1		1	1 T	
4.2.10. 4.2.12.	Sulfat	[g]								
4.2.10. 4.2.12. 4.2.13.	Sulfat Nitrat	[9]								
4.2.10. 4.2.12. 4.2.13. 4.2.14.	Sulfat Nitrat Natrium	[9] [9]		-						
4.2.10. 4.2.12. 4.2.13.	Sulfat Nitrat	[9]								
4.2.10. 4.2.12. 4.2.13. 4.2.14.	Sulfat Nitrat Natrium	[9] [9]		-						

Bezugsgr	öße: 1 kg des jeweiligen :	Stoffes								
		Einheit	Anhydrit	Alu-Puiver		Aluminium	Stahl	Bruch		Bruch
				Alu-Folien-	Mahlan	0	l la vatalli va a	l la antalli una	Db	0
Input				Herstellung	Mahlen	Gesamt	Herstellung	Herstellung	Brechen	Gesamt
1.	Werkstoffe	 								
2. 2.1.	Energie									
2.1. 2.1.1.	Elektroenergie EE BRD	[kWh]		10,767	6,110	16,877	0.945	0,017	0.027	0.044
2.1.1.	LL DIO	fixanil	 	10,707	0,110	10,077	0,540	0,017	0,027	0,01
2,2.	Primärenergie	[MJ]		27,690		27,690	6,340	0,904		0,904
2.2.1.1	Erdgas Heizung	[MJ]								
2.2.1.2	Erdgas Heizwerk	[MJ]								
2.2.1.3	Erdgas Feuerung	[MJ]		2,360		2,360	2,00	0,256		0,256
2.2.2.1 2.2.2.2	Heizől EL Heizung Heizől EL Heizwerk	[MJ]		9,130		9,130	0,08	0,005		0,005
2.2.2.2	Heizől S Feuerung	[MJ]		9,130		9,130 16,100	2,40	0,005		0,008
2.2.4.	Steinkohle Feuerung	[MJ]		0,100		0,100	1,86	0,428		0,090
2.2.5.1	Braunkohle Heizung	[MJ]		0,100			.,,00			
2.2.5.2	Braunkohle Feuerung	[MJ]						0,122		0,122
2.2.6.	Fernwärme	[MJ]								
2.2.7.	Diesel	[km]								
	Energieäquivalenzwert	[MJ]		156,09	70,827	226,919	17,915	1,185	0,307	1,492
Output		-								· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
3.	Produkte	+								
J.	Frounce	 								
4.	Emissionen									
4.1.	Luftbelastungen									
4.1.1.	CO2	[9]		5458,758	4350,589	9809,347	836,064	268,788	18,869	287,657
4.1.2.	co	[9]		10,912	3,519	14,431	1,833	0,052	0,015	0,068
4.1.3.	Staub	[9]		23,166	0,502	23,668	0,822	10,593	0,002	10,595
4.1.4. 4.1.5.	CH4 NOx	[g]		26,771 18,143	10,738 5,114	37,509 23,257	4,804 2,082	0,287 0,121	0,047 0,022	0,333 0,144
4.1.6. 4.1.6.	N2O	[9] [9]		1,033	0,167	1,200	0,198	0,121	0,022	0,005
4.1.7.	SO2	[9]		49,729	3,117	52,846	4,805	0,086	0,014	0,100
4.1.8.	NMVOC	[9]		0,324	0,313	0,637	1,000	0,005	0.001	0,007
4.1.9.	HCI	[9]		0,152	-,-,-	0,152	1,00E-04	0,005	-,	0,005
4.1.10.	HF	[9]						2,4E-04		2,4E-04
4.1.11.	CI2	[g]		1,00E-04		1,00E-04				
4.1.14.	Aldehyde	[9]		0,043		0,043	0,004			
4.1.15.	org. Verb.	[9]		0,071		0,071	0,008			
4.1.16.	NH3	[g]	ļ	0,014		0,014	0,002			
4.2.	Wasserbelastungen	-								
4.2.1.	gel. Feststoffe	[g]		10,784		10,784	0,953			
4.2.2.	susp. Feststoffe	[g]		0,004		0,004	0,300			
4.2.3.	BOD5	[9]		0,480		0,480	1,00E-04			
4.2.4.	COD	[9]		11,414		11,414	0,001			
4.2.6.	Öle	[9]		0,121		0,121	0,514			
4.2.8.	NH3	[g]		0,001		0,001	0,001			
4.2.9.	Fluoride	[g]	ļI	0,002		0,002	0,022	·		
4.2.10. 4.2.12.	Chloride Sulfat	[g]					0,016 0,267			
4.2.12.	Nitrat	[g]					0,267			
4.2.14.	Natrium	[g] [g]					0,299		-	
4.2.15.	org. Verbindungen	[9]				· ·	0,207	·		
		103								1
4.3.	feste Abfälle						125,000			
4.3.3.	Enddeponie (Prozeß)	[cm3]		754,800		754,800				

Bezugsgi	röße: 1 kg des jeweiligen S	Stoffes						
		Τ						
		Einheit	LDPE-Folie		LDPE	Dünnbett- Mörtei	Kalk-Zement- Putz	Gips-Put
			Granulat-Herst,	Folien-Extrusion	Gesamt			
Input								
1.	Werkstoffe							
2. 2.1.	Energie							
2.1.1.	Elektroenergie EE BRD	[kWh]	2,660	0,650	3,310	0,019	0,042	
۷. ۱. ۱۰	CE DRU	[KVVII]	2,000	0,650	3,310	0,019	0,042	
2.2.	Primärenergie	[MJ]	31,240		31,240	0,959	2,110	
2.2.1.1	Erdgas Heizung	[MJ]	01,240		01,240	0,555	2,110	
2.2.1.2	Erdgas Heizwerk	[MJ]						
2.2.1.3	Erdgas Feuerung	[MJ]	18,510		18,510	0,261	0,575	<u> </u>
2.2.2.1	Heizöl EL Heizung	[MJ]	,		,.,.	-,201	2,0,0	
2.2.2.2	Heizöl EL Heizwerk	[MJ]				0,005	0,011	
2.2.3.	Heizöl S Feuerung	[MJ]	12,730		12,730	0,099	0,218	
2.2.4.	Steinkohle Feuerung	[MJ]	,.			0,456	1,002	
2.2.5.1	Braunkohle Heizung	[MJ]						
2.2.5.2	Braunkohle Feuerung	[MJ]				0,138	0,303	
2.2.6.	Fernwärme	[MJ]						
2.2.7.	Diesel	[km]						
	Energieäquivalenzwert	[MJ]	65,280	7,535	72,815	1,267	2,787	
Output		<u> </u>			-			
3.	Produkte			,				
4.	Emissionen							
4. 1.	Luftbelastungen	 						<u> </u>
4.1.1.	CO2	[g]	1250,000	462,829	1712,829	286,235	629,716	
4.1.2.	CO	[9]	0,900	0,374	1,274	0,056	0,124	
4.1.3.	Staub	[9]	3,000	0,053	3,053	10,809	23,780	
4.1.4.	CH4	[9]	21,000	1,142	22,142	0,305	0,671	
4.1.5.	NOx	[9]	12,000	0,544	12,544	0,131	0,288	-
4.1.6.	N2O	[9]	0,134	0,018	0,152	0,004	0,010	
4.1.7.	SO2	[9]	9,000	0,332	9,332	0,093	0,204	
4.1.8.	NMVOC	[9]	0,070	0,033	0,103	0,006	0,013	
4.1.9.	HCI	[9]	0,005		0,005	0,005	0,011	
4.1.10.	HF	[g]	,			2,6E-04	0,001	<u> </u>
4.1.11.	CI2	[9]						
4.1.14.	Aldehyde	[g]						
4.1.15.	org. Verb.	[g]	0,005		0,005			
4.1.16.	NH3	[9]						
4.2.	Wasserbelastungen	1						
4.2.1.	gel. Feststoffe	[9]	0,300		0,300			
4.2.2.	susp. Feststoffe	[g]	0,500		0,500			
4.2.3.	BOD5	[g]	0,200		0,200			
4.2.4.	COD	[g]	1,500		1,500			
4.2.6.	Öle	[g]	0,200		0,200			
4.2.8.	NH3	[g]	0,005		0,005			<u> </u>
4.2,9.	Fluoride	[g]						L
4.2.10.	Chloride	[g]	0,130		0,130			L
4.2.12.	Sulfat	[g]		,				ļ
4.2.13.	Nitrat	[g]	0,005		0,005			<u> </u>
4.2.14.	Natrium	[g]						
4.2.15.	org, Verbindungen	[9]	0,020		0,020			
4.3.	feste Abfälle	 						
4.3.3.	Enddeponie (Prozeß)	[cm3]	39,400		39,400			

Annang 6: O	kokontenrahmen Transporte								
			Rohstofftranspor	rte	<u> </u>			Produkttransporte	
Bezugsgröße:			1 t des jeweiliger	Rohstoffes				1m³ des jeweiligen Pı	oduktes
			Sand	Kalk	Zement	Anhydrit	Stahl	Ytong-Baustein	Ytong-MBT
		PO/ 3							
	Entsorgungsanteile	[%]							
	Entfernung durchschn.	[km]	10,000	100,000	50,000	300,000	300,000	100,000	150,000
	LKW- Kapazität	[t] bzw. [m³]	28,000	30,000	30,000	30,000		40,000	40,000
	Auslastungsgrad (1 Tour)	[%]	100,000	100,000	100,000	100,000		95,000	95,000
	Spez. Energiebedarf Bahn	[kWh/tkm]	<u> </u>				0,042		
Input									
2.	Energie								
2.1.	Elektroenergie								
2.1.2.	EE Bahn	[kWh]					12,600		
2.2.	Primärenergie	[MJ]	9,308	86,873	43,437	260.620		68.584	102,876
2.2.7.	Diesel	[km]	10,000	100,000	50,000	300,000		100,000	150,000
2.2.1.	Diodoi	[Kinj	10,000	100,000	55,555	000,000		100,000	100,000
	Energieäquivalenzwert	[MJ]	10,332	96,429	48,215	289,288	123,833	76,129	114,193
							_		
Output									
3.	Produkte								
3.1.	Kuppelprodukte								
4.	Emissionen						_		<u></u>
4.1.	Luftbelastungen								
4.1.1.	CO2	[g]	761,869	7110,773	3555,387	21332,320	8276,751	5613,768	8420,653
4.1.2.	co	[g]	1,666	15,553	7,777	46,660	3,578	12,279	18,418
4.1.3.	Staub	[g]	0,433	4,040	2,020	12,120	0,832	3,189	4,784
4.1.4.	CH4	[9]	0,182	1,700	0,850	5,100	29,585	1,342	2,013
4.1.5.	NOx	[9]	9,151	85,407	42,703	256,220	6,665	67,426	101,139
4.1.6.	N2O	[g]	0,001	0,007	0,003	0,020	0,353	0,005	0,008
4.1.7.	SO2	[g]	0,471	4,393	2,197	13,180	5,985	3,468	5,203
4.1.8.	NMVOC	[g]	0,181	1,687	0,843	5,060	0,378	1,332	1,997
4.1.17.	Benzol	[9]	0,136	1,267	0,633	3,800		1,000	1,500
4.1.18.	Toluol	[g]	0,006	0,053	0,027	0,160		0,042	0,063
4.1.19.	Xylol	[9]	0,006	0,053	0,027	0,160		0,042	0,063
4.1.20.	Dieselruß	[9]	0,159	1,487	0,743	4,460		1,174	1,761
4.1.21.	СН	[9]	0,729	6,807	3,403	20,420		5,374	8,061
4.2.	Wasserbelastungen				·				
4.3.	feste Abfälle					1.			

Ökokonteni	rahmen Transporte								
			Entsorgungstranspor	to					
		<u> </u>	1 t des zu entsorgend						
·		· 	Ytong-Baustein	en Daumatenas	•	Ytong-MBT			
			Recycling	Deponie	Gesamt	Recycling	Deponie	Wiederverwenden	Gesamt
	Entsorgungsanteile	[%]	50,000	50,000	Gesami	33,300	33,300	33,300	Gesami
·	Entfernung durchschn.	[km]	100.000	50,000		150,000	50,000	50,000	
	LKW- Kapazität	[t]	25,000	6,000		25,000	6,000	25,000	
	Auslastungsgrad (1 Tour)	[%]	95,000	95,000		95,000	95,000	95,000	
	Spez. Energiebedarf Bahn	[kWh/tkm]	95,000	95,000		95,000	95,000	95,000	
	Spez. Energiebedan Bann	[KVVII/tKIII]							
Input									
2.	Energie								
2.1.	Elektroenergie								
2.1.2.	EE Bahn	[kWh]							
2.2.	Primärenergie	[MJ]	109,735	228,614	169,175	164,602	228,614	54,867	149,36
2.2.7.	Diesel	[km]	100,000	50,000	75,000	150,000	50,000	50,000	83,333
		•							
	Energieäquivalenzwert	[MJ]	121,806	253,762	187,784	182,709	253,762	60,903	165,79
Output									
3.	Produkte	 				:			
3.1.	Kuppelprodukte								
	,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,								
4.	Emissionen								
4.1.	Luftbelastungen								
4.1.1.	CO2	[9]	8982,029	18712,561	13847,295	13473,044	18712,561	4491,015	12225,540
4.1.2.	co	[9]	19,646	40,930	30,288	29,469	40,930	9,823	26,74
4.1.3.	Staub	[g]	5,103	10,632	7,867	7,655	10,632	2,552	6,946
4.1.4.	CH4	[g]	2,147	4,474	3,311	3,221	4,474	1,074	2,923
4.1.5.	NOx	[g]	107,882	224,754	166,318	161,823	224,754	53,941	146,840
4.1.6.	N2O	[9]	0,008	0,018	0,013	0,013	0,018	0,004	0,01
4.1.7.	SO2	[9]	5,549	11,561	8,555	8,324	11,561	2,775	7,553
4.1.8.	NMVOC	[g]	2,131	4,439	3,285	3,196	4,439	1,065	2,900
4.1.17.	Benzol	[g]	1,600	3,333	2,467	2,400	3,333	0,800	2,178
4.1.18,	Toluol	[g]	0,067	0,140	0,104	0,101	0,140	0,034	0,092
4.1.19.	Xylol	[9]	0,067	0,140	0,104	0,101	0,140	0,034	0,092
4.1.20.	Dieselruß	[g]	1,878	3,912	2,895	2,817	3,912	0,939	2,556
4.1.21.	СН	[9]	8,598	17,912	13,255	12,897	17,912	4,299	11,70
4.2.	Wasserbelastungen								
	S. A. ALSUII.								
4.3.	feste Abfälle								

	größe: 1 m³ Ytong-Baustein			i i	1	I	
							Gesamt-
			Sandaufbereitung	Dosieren etc.	Härten	Beladen	produktion
nput							
I	Werkstoffe						
14	Rohstoffe						434,42
1.1. 1.1.1.	Sand	[kg]	276,000				276,00
1.1.2.	Kalk	[kg]		67,000			67,00
1.1.3.	Zement	[kg]		61,000			61,00
1.1.4.	Anhydrit	[kg]		11,000			11,00
1.1.5. 1.1.6.	Alu-Pulver Splitt	[kg]		0,420 19,000			0,42 19.00
	Орик	1,91		,0,005			10,00
1.2.	Hilfs- und Betriebsstoffe						1,82
1.2.1.	Mahikörper	[kg]	0,830	2010			0,83
1.2.2. 1.2.3.	Seife Formenöl	[kg] [kg]		0,010 0,270			0,010 0,270
1.2.4.	PE-Folie	[kg]		0,210		0,710	0,270
1.2.5.	Palette neu	[Stück]	7-			0,550	0,55
1.2.6.	Palette alt	[Stück]				0,610	0,61
1.2.7.	Verladewinkel	[Stück]				0,030	0,03
1.3.	Wasser					-	
1.3.1.	Oberflächenwasser	[1]					130,25
1.0.1.	Operitadienwasser	111					100,200
2.	Energie						
2.1.	Elektroenergie						
2.1.1.	EE BRD	[kWh]	11,740	6,290	1,700	1,350	21,080
2.2.	Primärenergie	[MJ]	36,586		345,312	7,917	382,513
	Erdgas Heizung	[MJ]	00,000		040,012	0,008	0,008
	Erdgas Heizwerk	[MJ]	16,093	-	156,992		173,08
	Heizöl EL Heizwerk	[MJ]	20,493		188,320		208,81
2.2.7.	Diesel	[km]				0,607	0,60
	Energieäquivalenzwert	[MJ]	176,057	72,914	396,723	24,437	670,13
	Lifeigreadulvalorizwert	[INIO]	170,001	72,014	330,720	24,407	010,10
Outpu	t						
3.	Produkte						
3.1.	Kuppelprodukte	[kg]					30,600
	Federal						· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
4. 4.1.	Emissionen Luftbelastungen						
4.1.1.	CO2	[g]	10975,596	4478,757	25778,801	1609,129	42842,282
4.1.2.	со	[g]	7,946	3,623	12,161	2,194	25,924
4.1.3.	Staub	[9]	1,073	0,516	1,153	0,479	3,222
4.1.4.	CH4	[g]	23,611	11,055	31,753	2,530	68,949 44,744
4.1.5. 4.1.6.	NOx N2O	[g]	11,688 0,361	5,265 0,172	18,886 0,426	8,906 0,038	0,99
4.1.7.	SO2	[g] [g]	8,586	3,209	24,746	1,089	37,629
4.1.8.	NMVOC	[9]	1,154	0,323	5,185	0,223	6,88
4.1.17.	Benzol	[g]				0,115	0,11
4.1.18.	Toluol	[9]		-		0,005	0,00
4.1.19. 4.1.20.	Xylol Dieselruß	[g]				0,005	0,00
4.1.20. 4.1.21.	CH	[9]				0,135 0,620	0,13 0,62
4.1.23.	H2	[9]		45,000		0,020	45,000
4.1.24.	Wasserdampf	[9]		,			98260,00
4.2.	Wasserbelastungen						·
4.3.	feste Abfälle						

Bezugs	sgröße: 1 m3 Ytong-MBT							
								Gesamt-
			Sandaufbereitung	Bewehrung	Dosieren etc.	Härten	Beladen	produktion
nput								· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
	Werkstoffe							
1.1.	Rohstoffe	 						493,02
	Sand	[kg]	276,000					276,00
	Kalk	[kg]		0.000	83,000			83,00
	Zement	[kg]		2,620	75,000			77,62
	Anhydrit Alu-Pulver	[kg]			14,000 0,400			14,00
.1.6.	Splitt	[kg]			42,000		-	0,40 42,00
.2.	Hilfs- und Betriebsstoffe	[1,-1	0.000					1,12
	Mahlkörper Seife	[kg]	0,830		4.005.04			0,83
	Seite Formenöl	[kg]			4,00E-04 0,290			4,00E-0
1.2.5.	Palette neu	[kg] [Stück]			0,290		0,220	0,29 0,22
1.2.5. 1.2.6.	Palette alt	[Stück]					0,220	0,22
	Rostschutz	[Stuck]		0,921			0,110	0,11
1.2.9.	Imprägniermittel	[kg]		0,021			0,110	0,32
-								
1.3. 1.3.1.	Wasser Oberflächenweger	rıı						156,47
1.3.1.	Oberflächenwasser	[1]				_	-	156,47
2.	Energie							
2.1.	Elektroenergie							
2.1.1.	EE BRD	[kWh]	11,740	6,320	9,100	1,430	2,880	31,47
2.2.	Primärenergie	[MJ]	36,587			363,812	16,178	401,64
	Erdgas Heizwerk	[MJ]	16,093			160,512		176,60
	Heizöl EL Heizwerk	[MJ]	20,494			203,300		223,79
	Diesel	[km]				-,	1,242	1,24
	Energieäquivalenzwert	[MJ]	176,057	73,261	105,487	413,987	51,343	820,13
	gougonalonemon	[0]	170,007	. 0,201	.00,407	,	01,010	0=0,10
Outpu								
	Produkte							
3.1.	Kuppelprodukte	[kg]_						40,66
1.	Emissionen	1						
1.1.	Luftbelastungen	1	-					
~~~~~~~~	CO2	[g]	10975,644	4500,118	6479,600	27022,004	3374,890	52352,25
1.1.2.	CO	[g]	7,946	3,640		12,592	4,555	33,97
1.1.3.	Staub	[g]	1,073	0,519		1,206	0,989	4,53
	CH4	[g]	23,611	11,108	15,993	32,189	5,378	88,28
	NOx	[g]	11,688	5,290		19,694	18,315	62,60
	N2O	[g]	0,361	0,173		0,439	0,080	1,30
	SO2	[g]	8,586	3,224		26,492	2,287	45,23
	NMVOC	[g]	1,154	0,324	0,467	5,548	0,462	7,95
	Benzol	[g]					0,236	0,23
	Toluol	[g]		. :			0,010	0,01
1.1.19.	Nieselruß	[g]					0,010 0,277	0,01 0,27
1.1.20.	CH	[g] [g]					1,268	1,26
1.1.23.		[g]			43,000		1,200	43,00
	Wasserdampf	(g)			+5,000			118040,00
1.2.	Wasserbelastungen							
.4.	wasserbeiasiungen	-						
l.3.	feste Abfälle							
.3.1.	Recycling	[cm3]		1250,000				1250,00
	Enddeponie (Bauschutt)	[cm3]					1500,000	1500,00
1.3.5.	Sonderabfall	[cm3]	1.	210,000	1 1		1	210,00

Bezugsgr	öße: 1 m² Mauerwerk				
			YTONG-Baustein	YTONG-Baustein	YTONG-MBT
		Einheit	24er Wand	36,5er Wand	20er Wand
Input					
1.	Werkstoffe				
1.1.	Rohstoffe				
1.1.8.	Dünnbett-Mörtel	[kg]	3,84	5,84	
1.1.9.	Kalk-Zement-Putz	[kg]	. 8	8	
1.1.10.	Gipsputz	[kg]	10	10	
2.	Energie				
2.1.	Elektroenergie				
2.1.1.	EE BRD	[kWh]	2	3	
2.2.	Primärenergie	[MJ]			
	Energieäquivalenzwert	[MJ]	23,184	34,776	57,96
Output					
3.	Produkte			\ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \	
4.	Emissionen				*
4.1.	Luftbelastungen				
4.1.1.	CO2	[g]	1424,088	2136,132	3560,22
4.1.2.	CO	[g]	1,152	1,728	2,88
4.1.3.	Staub	[g]	0,164	0,246	0,41
4.1.4.	CH4	[g]	3,515	5,273	8,78
4.1.5.	NOx	[g]	1,674	2,511	4,18
4.1.6.	N2O	[g]	0,055	0,082	0,13
4.1.7.	SO2	[9]	1,020	1,530	2,55
4.1.8.	NMVOC	[9]	0,103	0,154	0,25
4.2.	Wasserbelastungen				
4.3.	feste Abfälle			:	
4.3.4.	Enddeponie (Bauschutt)	[cm3]	1250	1750	

Anhang	10: Ökokontenrahmen	Gebrauch	nsphase		
Dozumen	öße: 1 m² Mauerwerk				
bezugsgr	ose: 1 m- mauerwerk				
			YTONG-Baustein	YTONG-Baustein	YTONG-MBT
			24er Wand	36,5er Wand	20er Wand
Innut			246i VValiu	30,3et vvanu	20ei vvanu
Input					
1.	Werkstoffe				
1.1.	Rohstoffe				<del></del>
1.1.9.	Kalk-Zement-Putz	[kg]	8,000	8,000	
2.	Energie				
2.1.	Elektroenergie				
2.1.1.	EE BRD	[kWh]	59,418	46,954	42.05
			,		
2.2.	Primärenergie	[MJ]	11622,119	9184,235	2206,12
2.2.1.1	Erdgas Heizung	[MJ]	7450,991	5888,052	<del></del>
2.2.1.2	Erdgas Heizwerk	[MJ]			1456,33
2.2.2.1	Heizöl EL Heizung	[MJ]	3945,341	3117,757	<del></del>
2.2.2.2	Heizöl EL Heizwerk	[MJ]			595,99
2.2.6.1	Braunkohle Heizung Rhein.	[MJ]	47,534	37,563	
2.2.6.2	Braunkohle Feuerung Rhein	[MJ]			19,22
2.2.7.	Fernwärme (Steinkohle)	[MJ]	178,253	140,862	134,57
	Energieäquivalenzwert	[MJ]	13259,911	10478,479	2797,12
Output					
3.	Produkte				
4.	Emissionen				
4.1.	Luftbelastungen				
4.1.1.	CO2	[g]	815229,448	644224,885	172698,11
4.1.2.	co	[g]	743,333	587,410	97,64
4.1.3.	Staub	[g]	32,811	25,928	7,98
4.1.4.	CH4	[g]	2420,792	1913,001	334,39
4.1.5.	NOx	[g]	724,891	572,836	137,17
4.1.6.	N2O	[9]	15,186	12,001	4,10
4.1.7.	SO2	[g]	558,736	441,534	107,75
4.1.8.	NMVOC	[g]	152,910	120,835	21,43
4.1.9.	HCI	[9]	,		0,05
4.1.10.	HF	[9]			0,00
4.2.	Wasserbelastungen				
4.3.	feste Abfälle				
4.3.4.	Enddeponie (Bauschutt)	[cm3]	8000	8000	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·

Anhang 1	1: Ökokontenrahmen Ent	sorgung			
D	0 1 1 2 2				
Bezugsgroi	ße: 1 m² Baumaterial				
			YTONG-Baustein	YTONG-Baustein	YTONG-MBT
			24er Wand	36,5er Wand	20er Wand
Input					
1.	Werkstoffe				
2.	Energie				
2.1.	Elektroenergie				
2.2.	Primärenergie	[MJ]			
	Energieäquivalenzwert	[MJ]			
Output					
3.	Produkte				
3.1.	Ytong-MBT	[cm³]			66600,000
4.	Emissionen				
4.1.	Luftbelastungen				
4.2.	Wasserbelastungen				
4.3.	feste Abfälle				
4.3.1.	Recycling	[cm3]	118000,000	169800,000	66600,000
4.3.4.	Enddeponie (Bauschutt)	[cm3]	118000,000	169800,000	66600,000

inang	12: Umrechungsfaktoren 24er YTC	NG-Wand						
	Produktlebenswegstufe	Produkt- Anteil	Bezugsgrößen- Faktor	Zurechnungs- Faktor 1	Zurechnungs- Faktor 2	Dichte- Faktor	Gesamt- Faktor 1	Gesamt- Faktor 2
	Rohstoffe / Herstellung			· .				
1.	Sand	60,400	96,000	1,007	1,123	1,000	58,361	65,116
2.	Kalk	14,700	96,000	1,007	1,123	1,000	14,204	15,848
3.	Zement	13,300	96,000	1,007	1,123	1,000	12,851	14,338
.4.	Anhydrit	2,400	96,000	1,007	1,123	1,000	2,319	2,587
.5.	Alu-Pulver	0,090	96,000	1,007	1,123	1,000	0,087	0,097
6.	Stahl	0,000	96,000	1,007	1,123	1,000	0,000	0,000
.7.	Bruch	4,200	96,000	1,007	1,123	1,000	4,058	4,528
.8.	PE-Folie	0,710	0,240	1,005	1,010	1,000	0,171	····
9.	Dünnbett-Mörtel	3,840	1,000	1,000		1,000	3,840	
.10.	Kalk-Zement-Putz	16,000	1,000	1,000		1,000	16,000	
.11.	Gipsputz	10,000	1,000	1,000		1,000	10,000	
	Rohstofftransport						·	
.1.	Sand	60,400	0,096	1,007	1,123	1,000	0,058	
2.	Kalk	14,700	0,096	1,007	1,123	1,000	0,014	
.3.	Zement	13,300	0,096	1,007	1,123	1,000	0,013	······································
.4.	Anhydrit	2,400	0,096	1,007	1,123	1,000	0,002	
5.	Stahl	0,000	0,096	1,007	1,123	1,000	0,000	
	Produktion							
1.	Sandaufbereitung		0,240	1,007	1,123	0,875	0,211	
2.	Dosieren		0,240	1,007	1,123	0,875	0,211	
.3.	Härten		0,240	1,007	1,123	0,875	0,211	
4.	Verpacken/ Beladen		0,240	1,007	1,123	0,875	0,211	
•	Produkttransport		0,240	1,005	1,010	1,000	0,241	
	Montage		1,000	1,005	1,010	1,000	1,005	
•	Gebrauchsphase		1,000	1,000		1,000	1,000	
•	Entsorgungstransport		0,130	1,000		1,000	0,130	
•	Entsorgung		1,000	1,000		1,000	1,000	

Anhang	13: Umrechnungsfaktoren 36,5er	/TONG-Wa	nd					
	Produktlebenswegstufe	Produkt- Anteil	Bezugsgrößen- Faktor	Zurechnungs- Faktor 1	Zurechnungs- Faktor 2	Dichte- Faktor	Gesamt- Faktor 1	Gesamt- Faktor 2
1.	Rohstoffe / Herstellung		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·					
1.1.	Sand	60,400	146,000	1,007	1,123	1,000	88,757	99,031
1.2.	Kalk	14,700	146,000	1,007	1,123	1,000	21,602	24,102
1.3.	Zement	13,300	146,000	1,007	1,123	1,000	19,544	21,806
1.4.	Anhydrit	2,400	146,000	1,007	1,123	1,000	3,527	3,935
1.5.	Alu-Pulver	0,090	146,000	1,007	1,123	1,000	0,132	0,148
1.6.	Stahl	0,000	146,000	1,007	1,123	1,000	0,000	0,000
1.7.	Bruch	4,200	146,000	1,007	1,123	1,000	6,172	6,886
1.8.	LDPE-Folie	0,710	0,365	1,005	1,010	1,000	0,260	
1.9.	Dünnbett-Mörtel	5,760	1,000	1,000		1,000	5,760	
1.10.	Kalk-Zement-Putz	16,000	1,000	1,000		1,000	16,000	
1.11.	Gipsputz	10,000	1,000	1,000		1,000	10,000	
2.	Rohstofftransport							
2.1.	Sand	60,400	0,146	1,007	1,123	1,000	0,089	
2.2.	Kalk	14,700	0,146	1,007	1,123	1,000	0,022	
2.3.	Zement	13,300	0,146	1,007	1,123	1,000	0,020	
2.4.	Anhydrit	2,400	0,146	1,007	1,123	1,000	0,004	
2.5.	Stahl	0,000	0,146	1,007	1,123	1,000	0,000	<del></del>
3.	Produktion							
3.1.	Sandaufbereitung		0,365	1,007	1,123	0,875	0,321	
3.2.	Dosieren		0,365	1,007	1,123	0,875	0,321	~
3.3.	Härten		0,365	1,007	1,123	0,875	0,321	
3.4.	Verpacken/ Beladen		0,365	1,007	1,123	0,875	0,321	
4.	Produkttransport		0,365	1,005	1,010	1,000	0,367	
5.	Montage		1,000	1,005	1,010	1,000	1,005	
6.	Gebrauchsphase		1,000	1,000		1,000	1,000	
7.	Entsorgungstransport		0,178	1,000		1,000	0,178	
8.	Entsorgung		1,000	1,000		1,000	1,000	

		ONO MOT		1	·		T ·	1
Anhang 1	4: Umrechnungsfaktoren 20er YT	ONG-MB1						
	Produktlebenswegstufe	Produkt- Anteil	Bezugsgrößen- Faktor	Zurechnungs- Faktor 1	Zurechnungs- Faktor 2	Dichte- Faktor	Gesamt- Faktor 1	Gesamt- Faktor 2
	Rohstoffe / Herstellung							
.1.	Sand	50,300	100,000	1,001	1,178	1,000	50,350	59,253
.2.	Kalk	15,100	100,000	1,001	1,178	1,000	15,115	17,788
.3.	Zement	14,100	100,000	1,001	1,178	1,000	14,114	16,610
.4.	Anhydrit	2,600	100,000	1,001	1,178	1,000	2,603	3,063
.5.	Alu-Pulver	0,070	100,000	1,001	1,178	1,000	0,070	0,082
.6.	Stahl	4,900	100,000	1,001	1,178	1,000	4,905	5,772
.7.	Bruch	7,600	100,000	1,001	1,178	1,000	7,608	8,953
.8.	PE-Folie	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	ļ
.9.	Dünnbett-Mörtel	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	
.10.	Kalk-Zement-Putz	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	
.11.	Gipsputz	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	
)	Rohstofftransport				,	,	, , , , , , , , , , , , , , , , , , , ,	
.1.	Sand	50,300	0,100	1,001	1,178	1,000	0,101	
.2.	Kalk	15,100	0,100	1,001	1,178	1,000	0,030	
.3.	Zement	14,100	0,100	1,001	1,178	1,000	0,028	
.4.	Anhydrit	2,600	0,100	1,001	1,178	1,000	0,005	
.5.	Stahl	4,900	0,100	1,001	1,178	1,000	0,010	
	Produktion							
.1.	Sandaufbereitung		0,200	1,001	1,178	0,911	0,182	
3.2.	Dosieren		0,200	1,001	1,178	0,911	0,182	
.3.	Härten		0,200	1,001	1,178	0,911	0,182	
.4.	Verpacken/ Beladen		0,200	1,001	1,178	0,911	0,182	
/•	Produkttransport		0,200	1,000	1,001	1,000	0,200	
) <u>.</u>	Montage		1,000	1,000	1,001	1,000	1,000	
) <u>.</u>	Gebrauchsphase		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	
	Entsorgungstransport		0,100	1,000	1,000	1,000	0,100	
	Entsorgung		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	<del></del>

# Publikationen des Instituts für ökologische Wirtschaftsforschung

Das IÖW veröffentlicht die Ergebnisse seiner Forschungstätigkeit in einer Schriftenreihe, in Diskussionspapieren sowie in Broschüren und Büchern. Des Weiteren ist das IÖW Mitherausgeber der Fachzeitschrift "Ökologisches Wirtschaften", die allvierteljährlich im oekom-Verlag erscheint, und veröffentlicht den IÖW-Newsletter, der regelmäßig per Email über Neuigkeiten aus dem Institut informiert.

### Schriftenreihe/Diskussionspapiere



Seit 1985, als das IÖW mit seiner ersten Schriftenreihe "Auswege aus dem industriellen Wachstumsdilemma" suchte, veröffentlicht das Institut im Eigenverlag seine Forschungstätigkeit in Schriftenreihen. Sie sind direkt beim IÖW zu bestellen und auch online als PDF-Dateien verfügbar. Neben den Schriftenreihen veröffentlicht das IÖW seine Forschungsergebnisse in Diskussionspapieren – 1990 wurde im ersten Papier "Die volkswirtschaftliche Theorie der Firma" diskutiert. Auch die Diskussionspapiere können direkt über das IÖW bezogen werden. Informationen unter www.ioew.de/schriftenreihe diskussionspapiere.

## Fachzeitschrift "Ökologisches Wirtschaften"



Ausgabe 2/2010

Das lÖW gibt gemeinsam mit der Vereinigung für ökologische Wirtschaftsforschung (VÖW) das Journal "Ökologisches Wirtschaften" heraus, das in vier Ausgaben pro Jahr im oekom-Verlag erscheint. Das interdisziplinäre Magazin stellt neue Forschungsansätze in Beziehung zu praktischen Erfahrungen aus Politik und Wirtschaft. Im Spannungsfeld von Ökonomie, Ökologie und Gesellschaft stellt die Zeitschrift neue Ideen für ein zukunftsfähiges, nachhaltiges Wirtschaften vor. Zusätzlich bietet "Ökologisches Wirtschaften online" als Open Access Portal Zugang zu allen Fachartikeln seit der Gründung der Zeitschrift 1986. In diesem reichen Wissensfundus können Sie über 1.000 Artikeln durchsuchen und herunterladen. Die Ausgaben der letzten zwei Jahre stehen exklusiv für Abonnent/innen zur Verfügung. Abonnement unter: <a href="https://www.oekom.de">www.oekom.de</a>.

#### **IÖW-Newsletter**

Der lÖW-Newsletter informiert rund vier Mal im Jahr über Neuigkeiten aus dem Institut. Stets über Projektergebnisse und Veröffentlichungen informiert sowie die aktuellen Termine im Blick – Abonnement des Newsletters unter <a href="https://www.ioew.de/service/newsletter">www.ioew.de/service/newsletter</a>.

_____

Weitere Informationen erhalten Sie unter www.ioew.de oder Sie kontaktieren die

IÖW-Geschäftsstelle Berlin Potsdamer Straße 105 10785 Berlin

Telefon: +49 30-884 594-0 Fax: +49 30-882 54 39 Email: *vertrieb(at)ioew.de* 



ÖKOLOGISCHE WIRTSCHAFTSFORSCHUNG

#### GESCHÄFTSTELLE BERLIN

MAIN OFFICE

Potsdamer Straße 105

10785 Berlin

Telefon: +49 - 30 - 884594-0Fax: +49 - 30 - 8825439

#### **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