

Kosten und Nutzen von Anpassung an Extremwetter: Ein regionales, räumliches Allgemeines Gleichgewichtsmodell

Abschlussworkshop econCCadapt
17.03.2015

*Malte Jahn*¹

¹Hamburgisches WeltWirtschaftsinstitut

Überblick

1. Einleitung

2. Modellierung von Extremwetter

3. Modellierung von Anpassungsmaßnahmen

4. Anwendung: Kosten und Nutzen Hochwasserschutz Hamburg

Das Projekt EMPACCA

Evaluating **M**asures on climate **P**rotection and **A**daptation to **C**limate **C**hange in **A**gglomerations

- Projekt im Rahmen des BMBF-Förderschwerpunkts
"Ökonomie des Klimawandels"

Das Projekt EMPACCA

Evaluating **M**asures on climate **P**rotection and **A**daptation to **C**limate **C**hange in **A**gglomerations

- Projekt im Rahmen des BMBF-Förderschwerpunkts "Ökonomie des Klimawandels"
- Projektpartner: HWWI und TU Dresden

Das Projekt EMPACCA

Evaluating **M**asures on climate **P**rotection and **A**daptation to **C**limate **C**hange in **A**gglomerations

- Projekt im Rahmen des BMBF-Förderschwerpunkts "Ökonomie des Klimawandels"
- Projektpartner: HWWI und TU Dresden
- 1. Teil: Bewertung von Maßnahmen im Bereich Klimaschutz (Geschwindigkeitsbegrenzung im städtischen Verkehr, City-Maut, Subventionierung von Elektromobilität, Regulierung/Subventionierung der Energieeffizienz von Gebäuden)

Das Projekt EMPACCA

Evaluating **M**asures on climate **P**rotection and **A**daptation to Climate **C**hange in **A**gglomerations

- Projekt im Rahmen des BMBF-Förderschwerpunkts "Ökonomie des Klimawandels"
- Projektpartner: HWWI und TU Dresden
- 1. Teil: Bewertung von Maßnahmen im Bereich Klimaschutz (Geschwindigkeitsbegrenzung im städtischen Verkehr, City-Maut, Subventionierung von Elektromobilität, Regulierung/Subventionierung der Energieeffizienz von Gebäuden)
- 2. Teil: Bewertung von Maßnahmen zur **Anpassung** an den Klimawandel, insbesondere an eine Zunahme von **Extremwetterereignissen**

Forschungsfragen

Folgende Fragen sollen mit Hilfe eines Gleichgewichtsmodells beantwortet werden:

- Wie lässt sich die ökonomische Wirkung (einer Zunahme) von Extremwetterereignissen abbilden?

Forschungsfragen

Folgende Fragen sollen mit Hilfe eines Gleichgewichtsmodells beantwortet werden:

- Wie lässt sich die ökonomische Wirkung (einer Zunahme) von Extremwetterereignissen abbilden?
- Wie lassen sich Anpassungsmaßnahmen abbilden?

Forschungsfragen

Folgende Fragen sollen mit Hilfe eines Gleichgewichtsmodells beantwortet werden:

- Wie lässt sich die ökonomische Wirkung (einer Zunahme) von Extremwetterereignissen abbilden?
- Wie lassen sich Anpassungsmaßnahmen abbilden?
- Wie kann eine volkswirtschaftliche Kosten-Nutzen-Analyse aussehen?

Überblick

1. Einleitung

2. Modellierung von Extremwetter

3. Modellierung von Anpassungsmaßnahmen

4. Anwendung: Kosten und Nutzen Hochwasserschutz
Hamburg

Grundsätzliche Modelleigenschaften

- CGE-Modell einer regionalen Ökonomie
- Mehrere Zonen innerhalb des Modells

Grundsätzliche Modelleigenschaften

- CGE-Modell einer regionalen Ökonomie
- Mehrere Zonen innerhalb des Modells

Haushalte treffen u.a. Entscheidungen über:

- Wohnzone und Arbeitszone

Grundsätzliche Modelleigenschaften

- CGE-Modell einer regionalen Ökonomie
- Mehrere Zonen innerhalb des Modells

Haushalte treffen u.a. Entscheidungen über:

- Wohnzone und Arbeitszone
- Ausgaben für Konsum und Miete

Grundsätzliche Modelleigenschaften

- CGE-Modell einer regionalen Ökonomie
- Mehrere Zonen innerhalb des Modells

Haushalte treffen u.a. Entscheidungen über:

- Wohnzone und Arbeitszone
- Ausgaben für Konsum und Miete

Grundsätzliche Modelleigenschaften

- CGE-Modell einer regionalen Ökonomie
- Mehrere Zonen innerhalb des Modells

Haushalte treffen u.a. Entscheidungen über:

- Wohnzone und Arbeitszone
- Ausgaben für Konsum und Miete

Unternehmen treffen Entscheidungen über:

- Einsatz von Produktionsfaktoren (z.B. Arbeit, Land) in den verschiedenen Zonen

Grundsätzliche Modelleigenschaften

- CGE-Modell einer regionalen Ökonomie
- Mehrere Zonen innerhalb des Modells

Haushalte treffen u.a. Entscheidungen über:

- Wohnzone und Arbeitszone
- Ausgaben für Konsum und Miete

Unternehmen treffen Entscheidungen über:

- Einsatz von Produktionsfaktoren (z.B. Arbeit, Land) in den verschiedenen Zonen
- Preise (z.B. für Arbeit, Land) bestimmen sich durch ein Gleichgewicht zwischen Angebot und Nachfrage (\leadsto Lohnniveau, Mietniveau)

Grundsätzliche Modelleigenschaften

- CGE-Modell einer regionalen Ökonomie
- Mehrere Zonen innerhalb des Modells

Haushalte treffen u.a. Entscheidungen über:

- Wohnzone und Arbeitszone
- Ausgaben für Konsum und Miete

Unternehmen treffen Entscheidungen über:

- Einsatz von Produktionsfaktoren (z.B. Arbeit, Land) in den verschiedenen Zonen
- Preise (z.B. für Arbeit, Land) bestimmen sich durch ein Gleichgewicht zwischen Angebot und Nachfrage (\leadsto Lohnniveau, Mietniveau)
- Zufällige Streuung der Präferenzen (sprich: der Nachfrage) der Haushalte sorgt für eine räumliche Verteilung von Bevölkerung und wirtschaftlicher Aktivität

Extremwetter im Modell

Fokus im Projekt EMPACCA: Flutereignisse

Extremwetter im Modell

Fokus im Projekt EMPACCA: Flutereignisse

Wirkungskanal: *Flutrisiko* beeinflusst Landproduktivität (\leadsto
Mietniveau)

Extremwetter im Modell

Fokus im Projekt EMPACCA: Flutereignisse

Wirkungskanal: *Flutrisiko* beeinflusst Landproduktivität (\leadsto Mietniveau)

- Zusammenhang Flutrisiko und Immobilienpreise empirisch bestätigt (z.B. Dobes et al. 2013)

Extremwetter im Modell

Fokus im Projekt EMPACCA: Flutereignisse

Wirkungskanal: *Flutrisiko* beeinflusst Landproduktivität (\leadsto Mietniveau)

- Zusammenhang Flutrisiko und Immobilienpreise empirisch bestätigt (z.B. Dobes et al. 2013)
- (Faktor-)Preise im Modell werden durch (Faktor-)Produktivitäten bestimmt

Extremwetter im Modell

Fokus im Projekt EMPACCA: Flutereignisse

Wirkungskanal: *Flutrisiko* beeinflusst Landproduktivität (\rightsquigarrow Mietniveau)

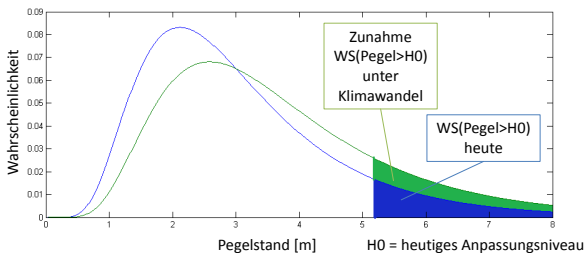
- Zusammenhang Flutrisiko und Immobilienpreise empirisch bestätigt (z.B. Dobes et al. 2013)
- (Faktor-)Preise im Modell werden durch (Faktor-)Produktivitäten bestimmt
- Aus Sicht der Haushalte: Interpretation der Landproduktivität als Attraktivität eines Grundstücks

Produktivitätsverlust - graphisch

Landproduktivität abhängig von der Änderung der Eintrittswahrscheinlichkeit einer "extremen" Flut:

Produktivitätsverlust - graphisch

Landproduktivität abhängig von der Änderung der Eintrittswahrscheinlichkeit einer "extremen" Flut:



Zunahme Risiko = grüne Fläche = $F_1(H^0) - F_2(H^0)$

F_1 und F_2 Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktionen heute bzw. unter Klimawandel

Überblick

1. Einleitung

2. Modellierung von Extremwetter

3. Modellierung von Anpassungsmaßnahmen

4. Anwendung: Kosten und Nutzen Hochwasserschutz
Hamburg

Anpassungsmaßnahmen im Modell - graphisch

Vorweg: Inhärente Anpassung im CGE-Modell durch Preise!

Anpassungsmaßnahmen im Modell - graphisch

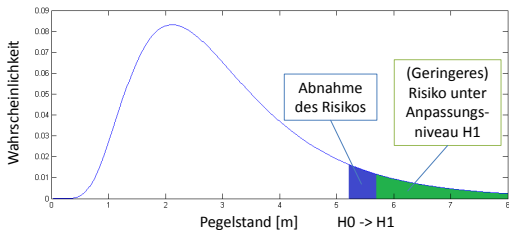
Vorweg: Inhärente Anpassung im CGE-Modell durch Preise!

Annahme: Flutanpassungsmaßnahmen erhöhen kritische Fluthöhe:

Anpassungsmaßnahmen im Modell - graphisch

Vorweg: Inhärente Anpassung im CGE-Modell durch Preise!

Annahme: Flutanpassungsmaßnahmen erhöhen kritische Fluthöhe:



Abnahme Risiko = blaue Fläche = $F_1(H^0) - F_1(H^1)$

F_1 WS-Verteilungsfunktion; H^0 , H^1 ursprüngliches bzw. neues Anpassungsniveau

Übertragung auf andere Ereignisse

Methode ist übertragbar auf andere Extremwetterereignisse:

- **Hitze:** z.B. Steigendes Risiko (Wahrscheinlichkeit) von Hitzewellen wirkt auf Arbeitsproduktivität (und ggf. Freizeitnutzen)

Übertragung auf andere Ereignisse

Methode ist übertragbar auf andere Extremwetterereignisse:

- **Hitze:** z.B. Steigendes Risiko (Wahrscheinlichkeit) von Hitzewellen wirkt auf Arbeitsproduktivität (und ggf. Freizeitnutzen)
- **Kälte:** analog zu Hitze

Übertragung auf andere Ereignisse

Methode ist übertragbar auf andere Extremwetterereignisse:

- **Hitze:** z.B. Steigendes Risiko (Wahrscheinlichkeit) von Hitzewellen wirkt auf Arbeitsproduktivität (und ggf. Freizeitnutzen)
- **Kälte:** analog zu Hitze
- **Stürme:** Steigendes Risiko von Stürmen wirkt auf Infrastruktur/Gebäude

Überblick

1. Einleitung

2. Modellierung von Extremwetter

3. Modellierung von Anpassungsmaßnahmen

**4. Anwendung: Kosten und Nutzen Hochwasserschutz
Hamburg**

Kalibrierung des Modells auf Hamburg

Grundsätzliches:

- Arbeitsangebot, Anzahl Haushalte, Wertschöpfung, Anteil Miete am Einkommen, Landnutzung, Wirtschaftsstruktur aus Modellbasisjahr 2010

Kalibrierung des Modells auf Hamburg

Grundsätzliches:

- Arbeitsangebot, Anzahl Haushalte, Wertschöpfung, Anteil Miete am Einkommen, Landnutzung, Wirtschaftsstruktur aus Modellbasisjahr 2010

Verlustfunktion und Anpassung:

- Jahreshöchststände Pegel St. Pauli 1964-2013 \rightsquigarrow Extremwertverteilung F_t

Kalibrierung des Modells auf Hamburg

Grundsätzliches:

- Arbeitsangebot, Anzahl Haushalte, Wertschöpfung, Anteil Miete am Einkommen, Landnutzung, Wirtschaftsstruktur aus Modellbasisjahr 2010

Verlustfunktion und Anpassung:

- Jahreshöchststände Pegel St. Pauli 1964-2013 \rightsquigarrow Extremwertverteilung F_t
- Exposition der Bezirke nach Anteil Fläche mit Flutrisiko

Kalibrierung des Modells auf Hamburg

Grundsätzliches:

- Arbeitsangebot, Anzahl Haushalte, Wertschöpfung, Anteil Miete am Einkommen, Landnutzung, Wirtschaftsstruktur aus Modellbasisjahr 2010

Verlustfunktion und Anpassung:

- Jahreshöchststände Pegel St. Pauli 1964-2013 \rightsquigarrow Extremwertverteilung F_t
- Exposition der Bezirke nach Anteil Fläche mit Flutrisiko
- Klimawandel : Meeresspiegelanstieg 20-60 cm bis 2055 \rightsquigarrow Lokationsparameter der Verteilung

Kalibrierung des Modells auf Hamburg

Grundsätzliches:

- Arbeitsangebot, Anzahl Haushalte, Wertschöpfung, Anteil Miete am Einkommen, Landnutzung, Wirtschaftsstruktur aus Modellbasisjahr 2010

Verlustfunktion und Anpassung:

- Jahreshöchststände Pegel St. Pauli 1964-2013 \rightsquigarrow Extremwertverteilung F_t
- Exposition der Bezirke nach Anteil Fläche mit Flutrisiko
- Klimawandel : Meeresspiegelanstieg 20-60 cm bis 2055 \rightsquigarrow Lokationsparameter der Verteilung
- Anpassung: "Bauprogramm Hochwasserschutz": Bemessungswasserstand von 7.3m auf 8.1m (St. Pauli)

Kalibrierung des Modells auf Hamburg

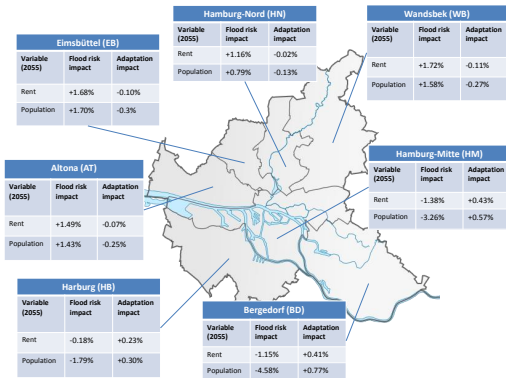
Grundsätzliches:

- Arbeitsangebot, Anzahl Haushalte, Wertschöpfung, Anteil Miete am Einkommen, Landnutzung, Wirtschaftsstruktur aus Modellbasisjahr 2010

Verlustfunktion und Anpassung:

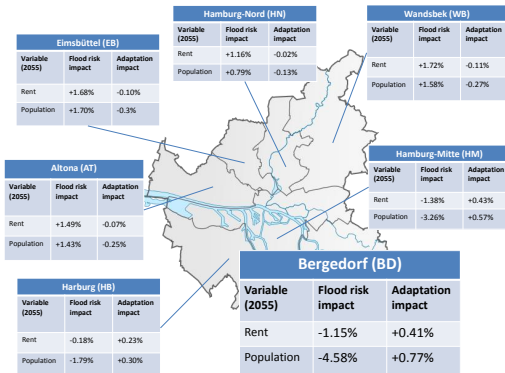
- Jahreshöchststände Pegel St. Pauli 1964-2013 \rightsquigarrow Extremwertverteilung F_t
- Exposition der Bezirke nach Anteil Fläche mit Flutrisiko
- Klimawandel : Meeresspiegelanstieg 20-60 cm bis 2055 \rightsquigarrow Lokationsparameter der Verteilung
- Anpassung: "Bauprogramm Hochwasserschutz": Bemessungswasserstand von 7.3m auf 8.1m (St. Pauli)
- Kosten ca. 700 Millionen 2010-€

Räumliche Effekte



- Migration aus gefährdeteren Gebieten (BD, HB, HM)
- Mietniveau sinkt dort leicht
- Anpassungsmaßnahme kehrt die Effekte um

Räumliche Effekte



- Migration aus gefährdeteren Gebieten (BD, HB, HM)
- Mietniveau sinkt dort leicht
- Anpassungsmaßnahme kehrt die Effekte um

Wohlfahrtswirkung verschiedener Szenarien

- Verschiedene Szenarien hinsichtlich Flexibilität der Ökonomie, Meeresspiegelanstieg und Sensitivität ggü. Flutrisikoänderungen

Wohlfahrtsunterschiede zum Referenzszenario [Mio. 2010-€]

Flexibilität	Meeresspiegel	Sensitivität	Verlust Flutrisikoanstieg	Nutzen Anpassung	Verbl. Verlust
hoch	hoch	hoch	17534	26834	-9300
hoch	hoch	niedrig	8494	11615	-3121
hoch	niedrig	niedrig	3737	8560	-4823
niedrig	hoch	niedrig	7719	13567	-5938
niedrig	niedrig	niedrig	2632	7318	-4686
niedrig	niedrig	hoch	4641	19976	-15335
hoch	niedrig	niedrig	5853	17481	-11628
niedrig	hoch	hoch	15452	26443	-10991

- Verbleibender Verlust negativ \leadsto No-regret Maßnahme
- Variation des Meeresspiegelanstiegs und der Sensitivität ggü. Flutrisikoänderungen wesentliche Einflussfaktoren

Zusammenfassung

Wie lässt sich die ökonomische Wirkung (einer Zunahme) von Extremwetterereignissen abbilden?

Zusammenfassung

Wie lässt sich die ökonomische Wirkung (einer Zunahme) von Extremwetterereignissen abbilden?

- Flutereignisse: Verminderte Produktivität von Land
- Produktivitätsverlust abhängig von der Eintrittswahrscheinlichkeit eines "extremen" Ereignisses

Zusammenfassung

Wie lässt sich die ökonomische Wirkung (einer Zunahme) von Extremwetterereignissen abbilden?

- Flutereignisse: Verminderte Produktivität von Land
- Produktivitätsverlust abhängig von der Eintrittswahrscheinlichkeit eines "extremen" Ereignisses

Wie lassen sich Anpassungsmaßnahmen abbilden?

Zusammenfassung

Wie lässt sich die ökonomische Wirkung (einer Zunahme) von Extremwetterereignissen abbilden?

- Flutereignisse: Verminderte Produktivität von Land
- Produktivitätsverlust abhängig von der Eintrittswahrscheinlichkeit eines "extremen" Ereignisses

Wie lassen sich Anpassungsmaßnahmen abbilden?

- Erhöhung des Anpassungsniveaus \rightsquigarrow Senkung der Eintrittswahrscheinlichkeit eines "extremen" Ereignisses

Zusammenfassung

Wie lässt sich die ökonomische Wirkung (einer Zunahme) von Extremwetterereignissen abbilden?

- Flutereignisse: Verminderte Produktivität von Land
- Produktivitätsverlust abhängig von der Eintrittswahrscheinlichkeit eines "extremen" Ereignisses

Wie lassen sich Anpassungsmaßnahmen abbilden?

- Erhöhung des Anpassungsniveaus \leadsto Senkung der Eintrittswahrscheinlichkeit eines "extremen" Ereignisses

Wie kann eine Kosten-Nutzen-Analyse aussehen?

Zusammenfassung

Wie lässt sich die ökonomische Wirkung (einer Zunahme) von Extremwetterereignissen abbilden?

- Flutereignisse: Verminderte Produktivität von Land
- Produktivitätsverlust abhängig von der Eintrittswahrscheinlichkeit eines "extremen" Ereignisses

Wie lassen sich Anpassungsmaßnahmen abbilden?

- Erhöhung des Anpassungsniveaus \leadsto Senkung der Eintrittswahrscheinlichkeit eines "extremen" Ereignisses

Wie kann eine Kosten-Nutzen-Analyse aussehen?

- Änderung des Extremwetterrisikos und Anpassung werden simultan betrachtet
- Eine Wohlfahrtsfunktion erlaubt die monetäre Bewertung der gesamtwirtschaftlichen Effekte

Kosten und Nutzen von Anpassung an Extremwetter: Ein regionales, räumliches Allgemeines Gleichgewichtsmodell

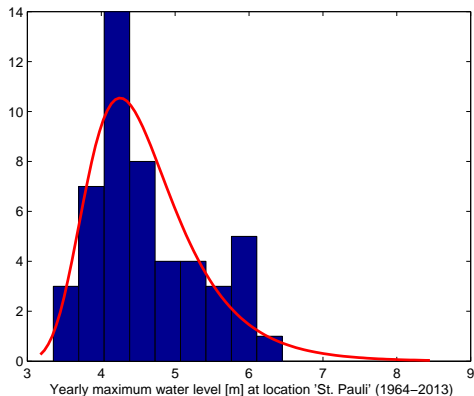
Abschlussworkshop econCCadapt
17.03.2015

*Malte Jahn*¹

¹Hamburgisches WeltWirtschaftsinstitut

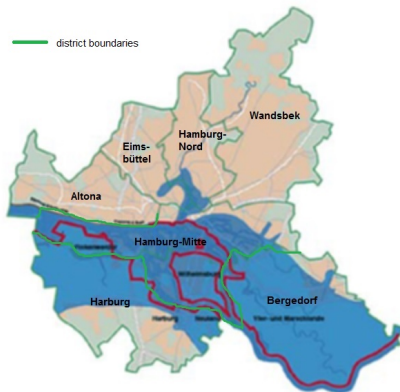
Anhang

Figure: Geschätzte Extremwertverteilung Pegel St. Pauli



Anhang

Figure: Flutrisiko nach Bezirken



Anhang

Verlustfunktion:

$$D_{it} = \omega_i^1 [F_1(H^0)^{\omega_2} - F_t(H^0)^{\omega_2}]$$

Anhang

Verlustfunktion:

$$D_{it} = \omega_i^1 [F_1(H^0)^{\omega_2} - F_t(H^0)^{\omega_2}]$$

- $F_t(x)$ WS-Verteilung der maximalen Fluthöhe in Periode t

Anhang

Verlustfunktion:

$$D_{it} = \omega_i^1 [F_1(H^0)^{\omega_2} - F_t(H^0)^{\omega_2}]$$

- $F_t(x)$ WS-Verteilung der maximalen Fluthöhe in Periode t
- ω_i^1 Zonen-spezifischer Expositionsfaktor ($0 \leq \omega_i^1 \leq 1$)

Anhang

Verlustfunktion:

$$D_{it} = \omega_i^1 [F_1(H^0)^{\omega_2} - F_t(H^0)^{\omega_2}]$$

- $F_t(x)$ WS-Verteilung der maximalen Fluthöhe in Periode t
- ω_i^1 Zonen-spezifischer Expositionsfaktor ($0 \leq \omega_i^1 \leq 1$)
- ω_2 Exponent für Nichtlinearität ($\omega_2 > 1$)

Anhang

Verlustfunktion:

$$D_{it} = \omega_i^1 [F_1(H^0)^{\omega_2} - F_t(H^0)^{\omega_2}]$$

- $F_t(x)$ WS-Verteilung der maximalen Fluthöhe in Periode t
- ω_i^1 Zonen-spezifischer Expositionsfaktor ($0 \leq \omega_i^1 \leq 1$)
- ω_2 Exponent für Nichtlinearität ($\omega_2 > 1$)
- H^0 Kritische Fluthöhe, heutiges Anpassungsniveau

Anhang

Verlustfunktion:

$$D_{it} = \omega_i^1 [F_1(H^0)^{\omega_2} - F_t(H^0)^{\omega_2}]$$

- $F_t(x)$ WS-Verteilung der maximalen Fluthöhe in Periode t
- ω_i^1 Zonen-spezifischer Expositionsfaktor ($0 \leq \omega_i^1 \leq 1$)
- ω_2 Exponent für Nichtlinearität ($\omega_2 > 1$)
- H^0 Kritische Fluthöhe, heutiges Anpassungsniveau
- Interpretation: Verlust von Produktivität in Periode t wenn Wahrscheinlichkeit der Überschreitung von H^0 in Periode t größer als in Periode 1

Anhang

Flutanpassungsmaßnahmen erhöhen kritische Fluthöhe:

$\hookrightarrow H^0 \rightsquigarrow H_t^1$ und somit

Anhang

Flutanpassungsmaßnahmen erhöhen kritische Fluthöhe:

$\hookrightarrow H^0 \rightsquigarrow H_t^1$ und somit

$$D_{it}^{ad} = \omega_i^1 [F_1(H^0)^{\omega_2} - F_t(H_t^1)^{\omega_2}]$$

Anhang

Flutanpassungsmaßnahmen erhöhen kritische Fluthöhe:

$\hookrightarrow H^0 \rightsquigarrow H_t^1$ und somit

$$D_{it}^{ad} = \omega_i^1 [F_1(H^0)^{\omega_2} - F_t(H_t^1)^{\omega_2}]$$

Zusätzliche Anpassungskosten:

$$ADCOST_t = \xi (H_{t+h}^1 - H^0)^\pi$$

Anhang

Flutanpassungsmaßnahmen erhöhen kritische Fluthöhe:

$\hookrightarrow H^0 \rightsquigarrow H_t^1$ und somit

$$D_{it}^{ad} = \omega_i^1 [F_1(H^0)^{\omega_2} - F_t(H_t^1)^{\omega_2}]$$

Zusätzliche Anpassungskosten:

$$ADCOST_t = \xi (H_{t+h}^1 - H^0)^\pi$$

- $\xi > 0$, $\pi > 1$ Parameter (nichtlineare Kosten)
- h Dauer der Implementierung
- Finanzierung über Steuern