

# **Die heimlichen (,externen‘) Kosten der Stromerzeugung - Umweltschäden in Euro und Cent**

**Wolfram Krewitt**

**Abteilung Systemanalyse und Technikbewertung  
Institut für Technische Thermodynamik, DLR  
Stuttgart**

**Studium Generale  
Universität Freiburg  
11. Juni 2008**





**= 50 €?**



**= 5 000 €?**



**= 5 000 000 €?**



## externe Kosten als Motivation für Politikmaßnahmen

- ‚der Umwelt einen Preis geben‘ ist ein weit verbreitetes Ziel energie- und umweltpolitischer Konzepte
- die Kosten von Umweltschäden sollen in Entscheidungsprozessen berücksichtigt werden
- **Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG):**
  - „Zweck dieses Gesetzes ist es, ...die volkswirtschaftlichen Kosten der Energieversorgung auch durch die Einbeziehung langfristiger externer Effekte zu verringern, ...“



## externe Kosten - Definition

Externe Effekte sind Auswirkungen der ökonomischen Aktivitäten eines Wirtschaftssubjekts auf die Produktions- oder Konsummöglichkeiten anderer Wirtschaftssubjekte, ohne dass eine adäquate Kompensation erfolgt.



## externe Kosten zu Zeiten von Arthur Pigou (1912)



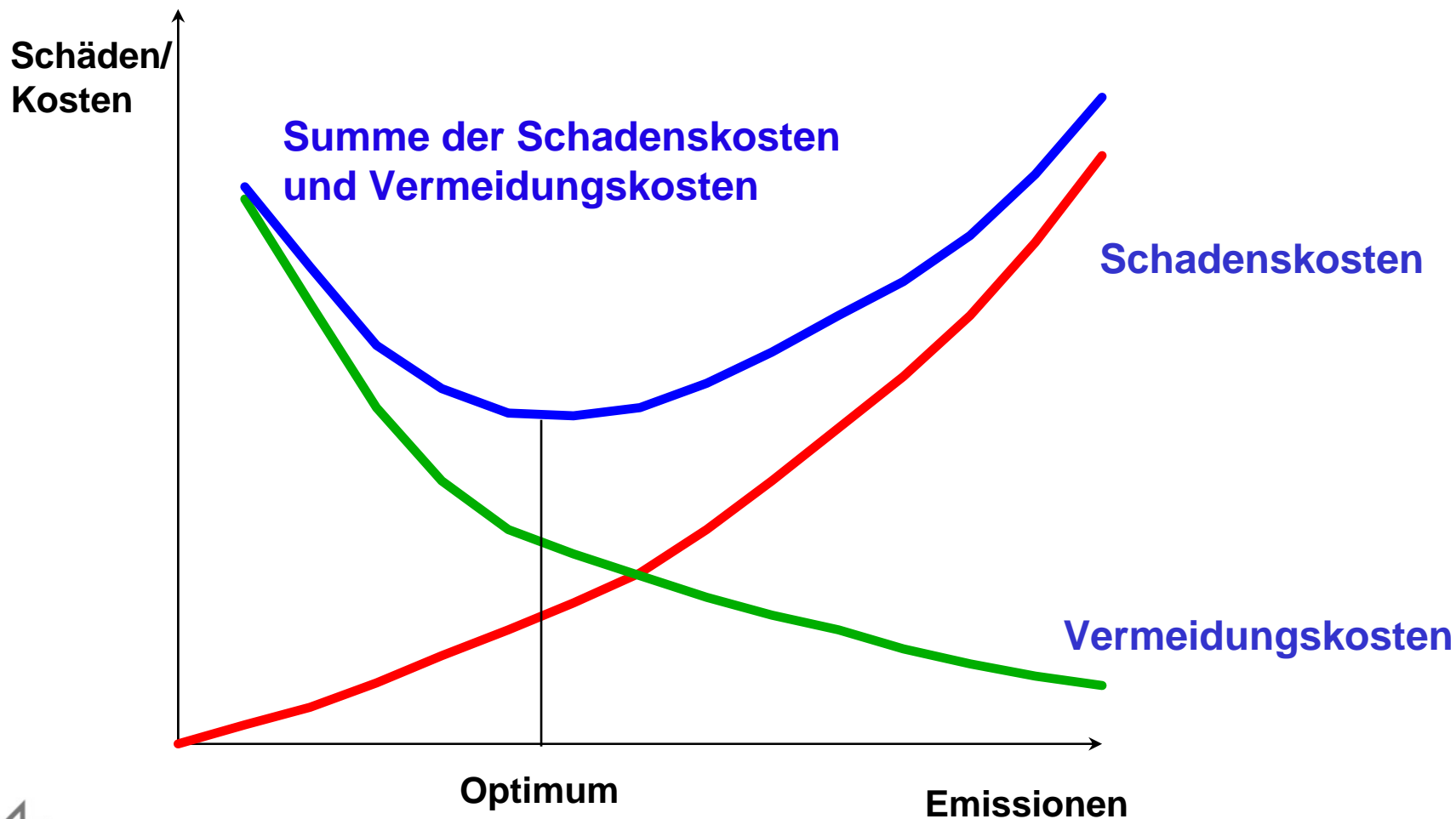
## externe Kosten zu Zeiten von Sir Nicholas Stern (2006)



Climate change presents a unique challenge for economics: it is the greatest and widest-ranging market failure ever seen.



# das ‚optimale Verschmutzungsniveau‘ in der neo-klassischen Wohlfahrtstheorie



## mögliche externe Effekte durch Stromerzeugung

- durch Luftverschmutzung: Schäden an Pflanzen- und Tierwelt, an Materialien, Gesundheitsschäden bei Menschen
- Klimaveränderung und deren Folgewirkungen durch Treibhausgasemissionen
- Schäden durch Gewässerverschmutzung, Bodenbelastung, Abfälle, Lärmbelastung, Landnutzung
- Versorgungssicherheit, Proliferation, ...





# Der „Wirkungspfad-Ansatz“

Emissionen

Ausbreitung & Umwandlung

Konzentration & Deposition

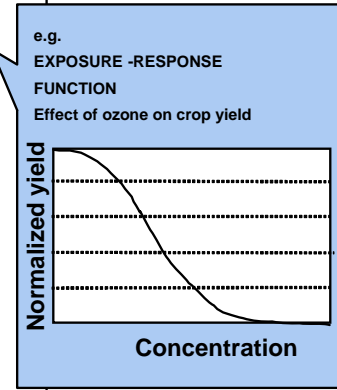
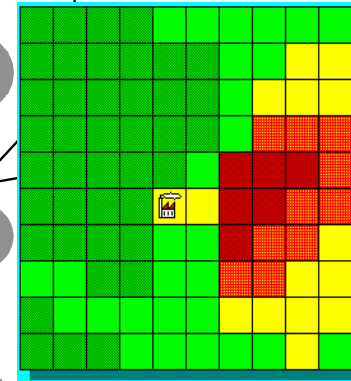
Wirkung auf Rezeptoren

physischer Schaden

Änderung des Nutzens

Wohlfahrtsverlust

Kosten



# Quantifizierung physischer Schäden

## Dosis-Wirkungsbeziehungen aus Experimenten, z.B.

### ➤ Ernteverluste (Gerste)

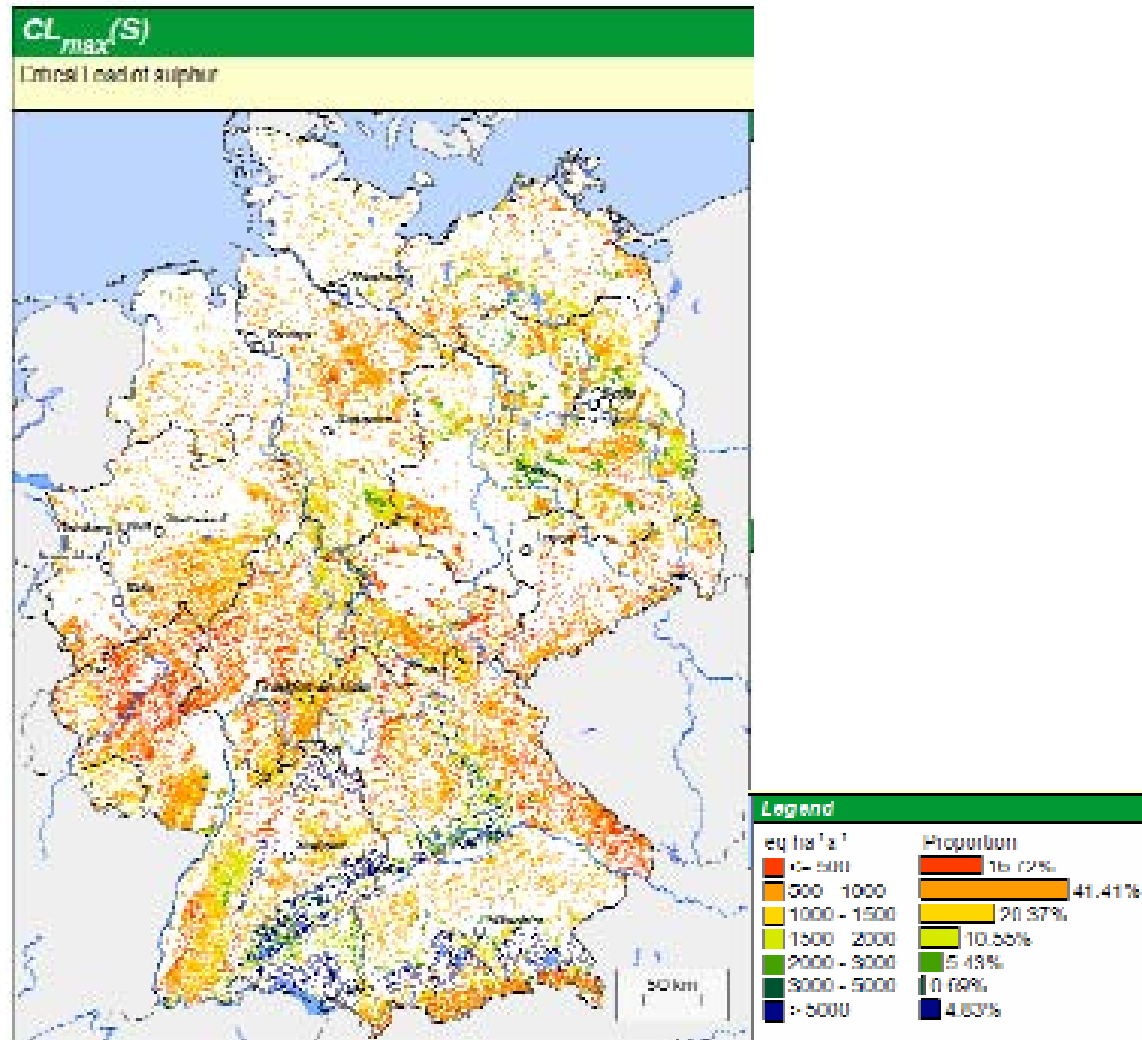
%Ertragsänderung =  $10.92 - 0.89 \cdot \text{Änderung der jährlichen SO}_2 \text{ Konzentration [ppb]}$

### ➤ Materialschäden, z.B. Naturstein

Materialabtrag [ $\mu\text{m}/\text{Jahr}$ ] =  $(1.56 \cdot \text{Benetzungsdauer} \cdot \text{Änderung der jährlichen SO}_2 \text{ Konzentration } [\mu\text{g}/\text{m}^3] + 0.12 \cdot \text{Änderung der jährlichen nassen sauren Deposition } [\text{meq}/\text{m}^2/\text{year}]) / \text{Natursteindichte } [\text{kg}/\text{dm}^3]$



# Wirkung von Luftschadstoffen auf Ökosysteme – Critical Loads



# Quantifizierung von Gesundheitsschäden

- epidemiologische Studien geben Hinweise auf Zusammenhänge zwischen Schadstoffbelastung und Gesundheitseffekten
- große Bandbreite verschiedener Effekte von ‚Tagen mit Atemwegsbeschwerden‘ bis zu erhöhtem Todesfallrisiko
- epidemiologische Studien aus den 1990er Jahren unterstreichen Gesundheitsgefährdung durch Feinstaubbelastung



# Monetarisierung von Umweltschäden

## ➤ für marktfähige Güter:

↳ Marktpreise

## ➤ für nicht marktfähige Güter:

- indirekte Methoden

↳ z.B. Häuserpreise

↳ .....

- direkte Methoden:

↳ Ermittlung der Zahlungsbereitschaft – ‚Willingness-to-pay‘ oder ‚Willingness-to-accept‘ bei einer Änderung der Umweltqualität



# Wert eines ‚statistischen Lebens‘

$$\text{Value of a Statistical Life (VSL)} = \frac{\text{Zahlungsbereitschaft für Risikoänderung}}{\text{Risikoänderung}}$$



## Wert eines ‚statistischen Lebens‘ - Beispiel

- Kostenaufschlag für Sicherheits-Extras beim Kauf eines Autos (Airbag, EPS, ...): 1000 €
  - Verminderung des Risikos eines tödlichen Unfalls: 1/1000
- ↪ Wert des statistischen Lebens:

$$\text{VSL} = \frac{1000 \text{ €}}{1/1000} = 1.000.000 \text{ €}$$



# monetäre Bewertung von Gesundheitsschäden (Beispiele)

|                                   |             |
|-----------------------------------|-------------|
| Wert eines statistischen Lebens   | 1.000.000 € |
| Chronische Bronchitis             | 190.000 €   |
| Atemwegssymptome bei Asthmatikern |             |
| - Erwachsene                      | 130 €       |
| - Kinder                          | 280 €       |
| Tag mit eingeschränkter Aktivität | 130 €       |
| Hustentag                         | 38 €        |





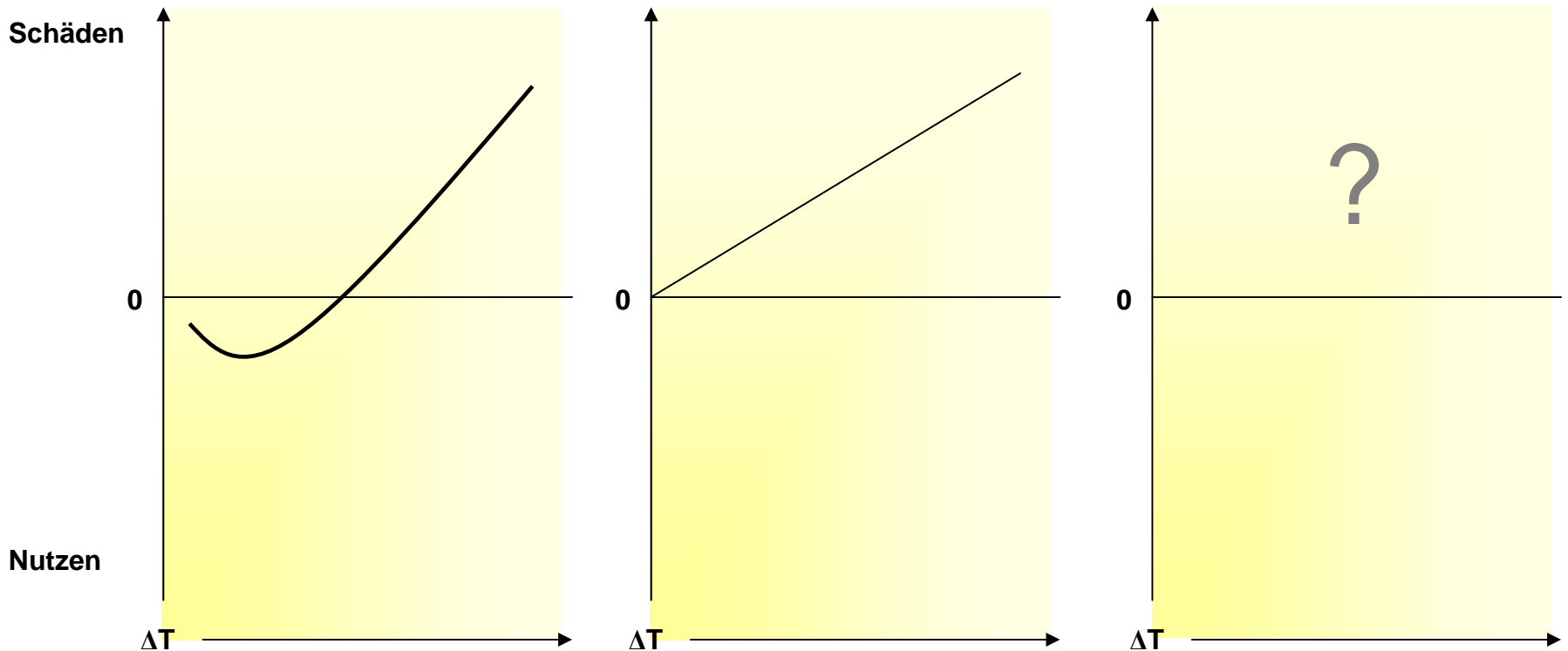
# Auswirkungen des globalen Klimawandels



- Anstieg des Meeresspiegels
- Nahrungsmittelproduktion und Landwirtschaft
- Wasserverfügbarkeit
- Gesundheitsschäden
- Ökosysteme und biologische Vielfalt
- extreme Wetterereignisse
- singuläre nicht lineare Ereignisse



# Auswirkungen des globalen Klimawandels



- Landwirtschaft
- Forstwirtschaft
- Produktivität terrestrischer Ökosysteme

- Küstenschutz
- Gesundheitsschäden
- Marine Ökosysteme
- Biodiversität

- Wasserversorgung
- Energieversorgung
- Aggregierte Schadenskosten



# Soziale Kosten der Klimawandels

## ➤ Problem:

- Aggregation von Schäden und Nutzen in verschiedenen Regionen mit unterschiedlichem Wohlstand zu einem Nettowert
- abnehmende Grenznutzen bei steigendem Einkommen (ein zusätzlicher Euro besitzt für eine arme Person einen größeren Wert als für eine reiche Person)

## ➤ Ansatz:

Berücksichtigung der Unterschiede im Wohlstand zwischen betroffenen Regionen durch ‚Equity Weighting‘



# Schadenskosten des Klimawandels (EU Projekt NEEDS)

ohne Equity Weighting: 7 €je Tonne CO<sub>2</sub>

mit Equity Weighting: 98 €je Tonne CO<sub>2</sub>

Quelle: NEEDS, Anthoff 2007  
<http://www.needs-project.org/>



## verschiedene Politikperspektiven auf ‚Equity Weighting‘

Empfehlungen aus dem EU-Projekt NEEDS (D. Anthoff, 2007):

- Ein regionaler Entscheidungsträger sollte *keine* Daten auf der Basis von ‚Equity Weighting‘ in einer Kosten-Nutzen Analyse verwenden.
- Kostenangaben mit Equity Weighting geben einen hilfreichen Hinweis auf das, was ein wohlwollender globaler Entscheidungsträger tun würde.



# externe Kosten der Stromerzeugung

in ct/kWh

|                              | PV(2030) | Wind<br>2,5 MW | Braunkohle<br>GuD 48% | Erdgas<br>GuD 57% |
|------------------------------|----------|----------------|-----------------------|-------------------|
| <b>Klimawandel</b>           | 0,38     | 0,06           | 6,1                   | 2,7               |
| <b>Gesundheit</b>            | 0,2      | 0,03           | 0,27                  | 0,17              |
| <b>Ökosysteme</b>            | ●        | ●              | ●                     | ●                 |
| <b>Materialschäden</b>       | 0,006    | 0,001          | 0,008                 | 0,005             |
| <b>Ernteverluste</b>         | 0,004    | 0,0004         | 0,005                 | 0,005             |
| <b>Große Risiken</b>         | ●        | ●              | ●                     | ●                 |
| <b>Proliferation</b>         | ●        | ●              | ●                     | ●                 |
| <b>Versorgungssicherheit</b> | ●        | ●              | ●                     | ●                 |
| <b>Geo-pol. Effekte</b>      | ●        | ●              | ●                     | ●                 |
|                              | ~ 0,58   | ~ 0,09         | > 6,4                 | > 2,9             |

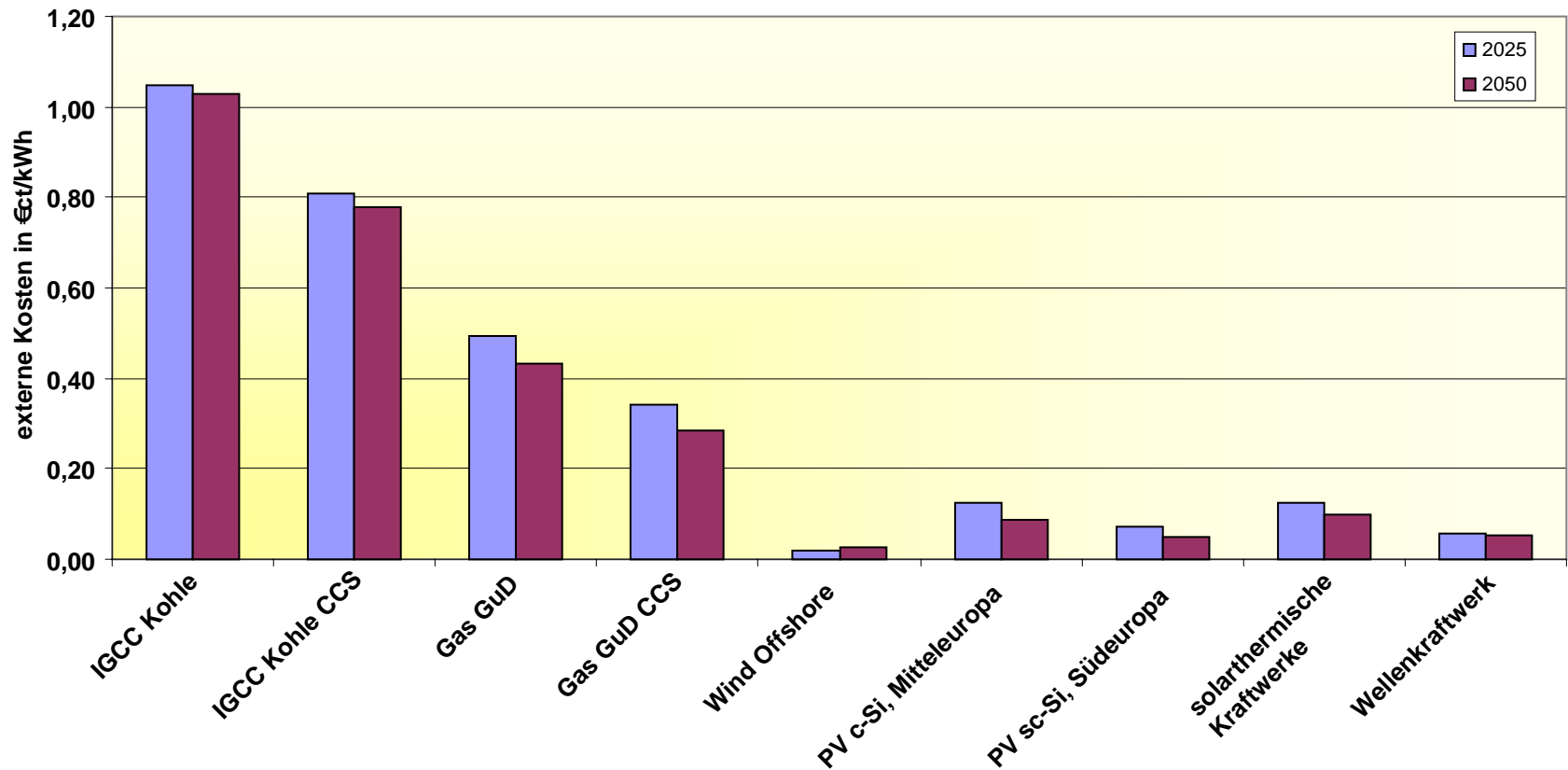
# externe Kosten der Stromerzeugung

in ct/kWh

|                              | PV(2030) | Wind<br>2,5 MW | Braunkohle<br>GuD 48% | Erdgas<br>GuD 57% | Kernenergie |
|------------------------------|----------|----------------|-----------------------|-------------------|-------------|
| <b>Klimawandel</b>           | 0,38     | 0,06           | 6,1                   | 2,7               | ...         |
| <b>Gesundheit</b>            | 0,2      | 0,03           | 0,27                  | 0,17              | ...         |
| <b>Ökosysteme</b>            | ●        | ●              | ●                     | ●                 | ...         |
| <b>Materialschäden</b>       | 0,006    | 0,001          | 0,008                 | 0,005             | ...         |
| <b>Ernteverluste</b>         | 0,004    | 0,0004         | 0,005                 | 0,005             | ...         |
| <b>Große Risiken</b>         | ●        | ●              | ●                     | ●                 | ●           |
| <b>Proliferation</b>         | ●        | ●              | ●                     | ●                 | ●           |
| <b>Versorgungssicherheit</b> | ●        | ●              | ●                     | ●                 | ●           |
| <b>Geo-pol. Effekte</b>      | ●        | ●              | ●                     | ●                 | ●           |
|                              | ~ 0,58   | ~ 0,09         | > 6,4                 | > 2,9             |             |

# quantifizierbare externe Kosten der Stromerzeugung

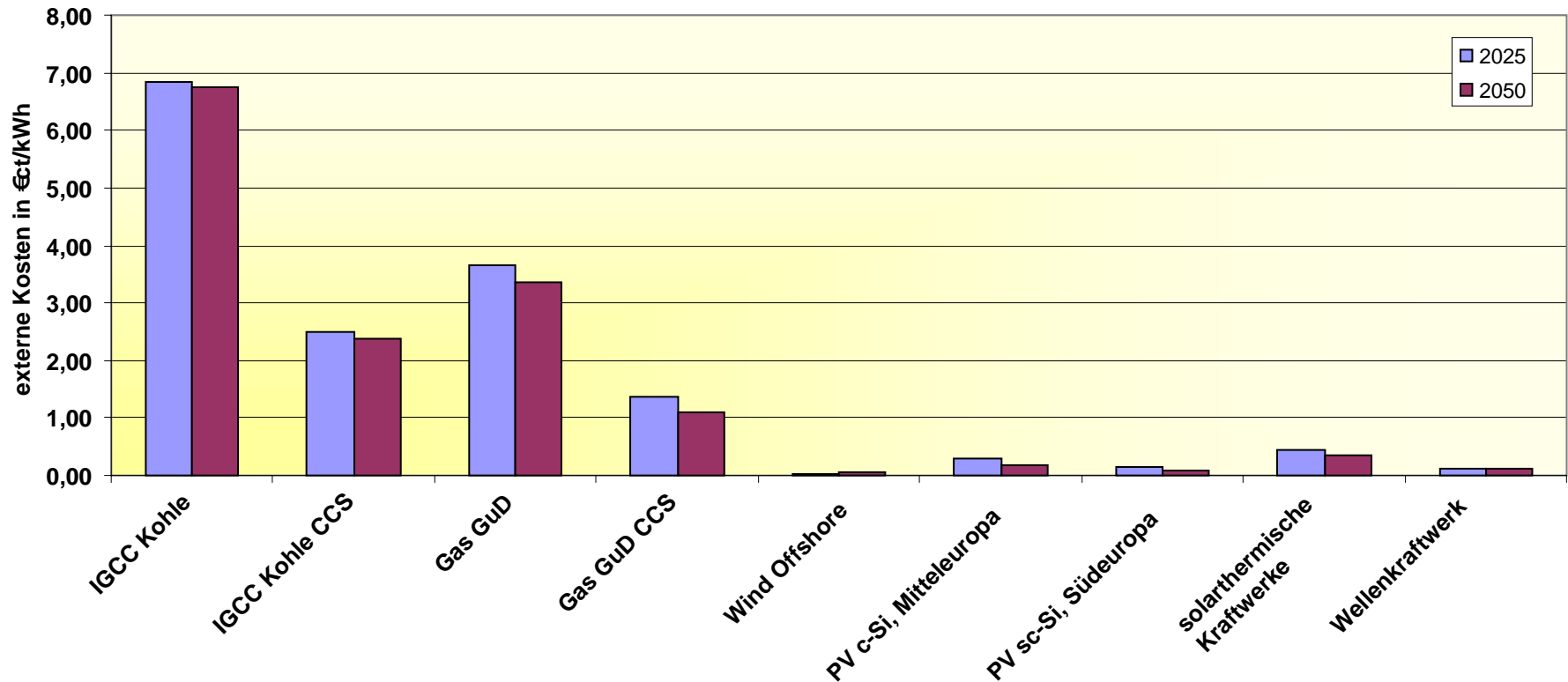
(unterer Schätzwert – CO<sub>2</sub> Schadenskosten ohne Equity Weighting)



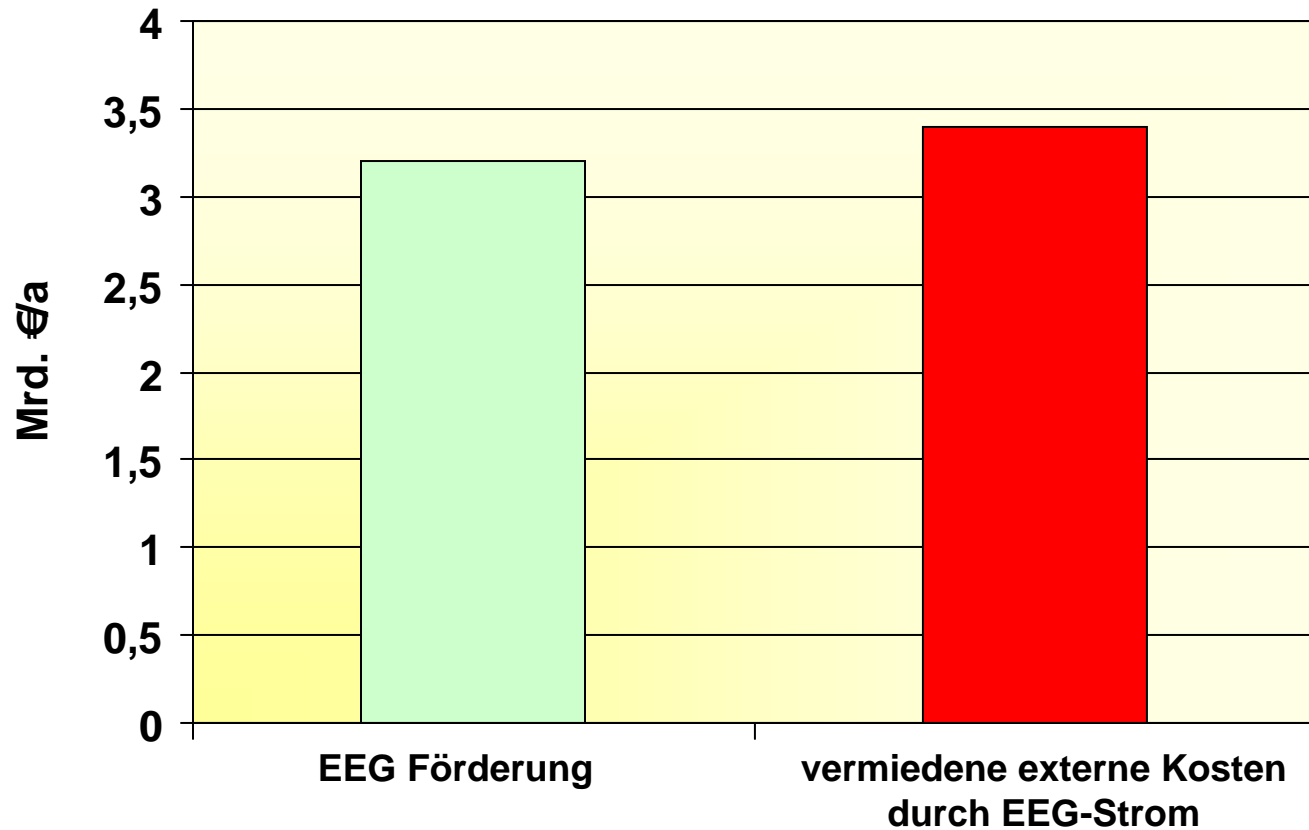


# quantifizierbare externe Kosten der Stromerzeugung

(oberer Schätzwert – CO<sub>2</sub> Schadenskosten mit Equity Weighting)



# vermiedene externe Kosten durch EEG-Strom (2006)



## Ausblick

- Die Quantifizierung externer Kosten ist mit großen Unsicherheiten verbunden.
- Die Politik benötigt einen Richtwert zur Bewertung energie- und umweltpolitischer Maßnahmen.
- Die externen Effekte durch Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien sind klein im Vergleich zu den externen Effekten fossiler Kraftwerke.
- Aufwendungen für EEG-Förderung sind kleiner als die durch EEG-Strom vermiedenen externen Effekte



# Auswirkungen des Klimawandels in einer Risiko-Matrix

Uncertainty in Valuation →

|                            | Market  | Non Market   | Socially Contingent                         |
|----------------------------|---|--|---|
| Projection                 | Coastal protection<br>Loss of dryland<br>Energy (heating/cooling)             | Heat stress<br>Loss of wetland   | Regional costs<br>Investment                |
| Bounded Risk               | Agriculture<br>Water<br>Variability (drought, flood, storms)                  | Ecosystem change<br>Biodiversity<br>Loss of life<br>Secondary social effects | Comparative advantage and market structures |
| System change and surprise | Above, plus<br>Significant loss of land and resources<br>Non-marginal effects | Higher order social effects<br>Regional collapse<br>Irreversible losses      | Regional collapse                           |

← Uncertainty in Predicting Climate Change