



Sozio-ökonomische Bewertung von erneuerbaren Energien

Episode 2: Kosten und externe Kosten im Vergleich

Prof. Dr. Stefan Göbbling-Reisemann
Universität Bremen

 Universität Bremen*
*EXZELLENT.

ZMML
Zentrum für Multimedia
in der Lehre

gefördert durch



Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de





Übersicht der Lerneinheit

Episode 1: Methoden für Kosten-Nutzen-Analyse und externe Kosten

Episode 2: Kosten und externe Kosten im Vergleich

Episode 3: Interview mit dem Referenten



Lernziele dieser Episode

Lernziel 1:

Sie kennen die Stromgestehungskosten von erneuerbaren Energien und ihre Treiber.

Lernziel 2:

Sie können die zukünftige Entwicklung dieser Kosten abschätzen.

Lernziel 3:

Sie kennen die externen Kosten der erneuerbaren Energien im Vergleich zu fossilen Energien.



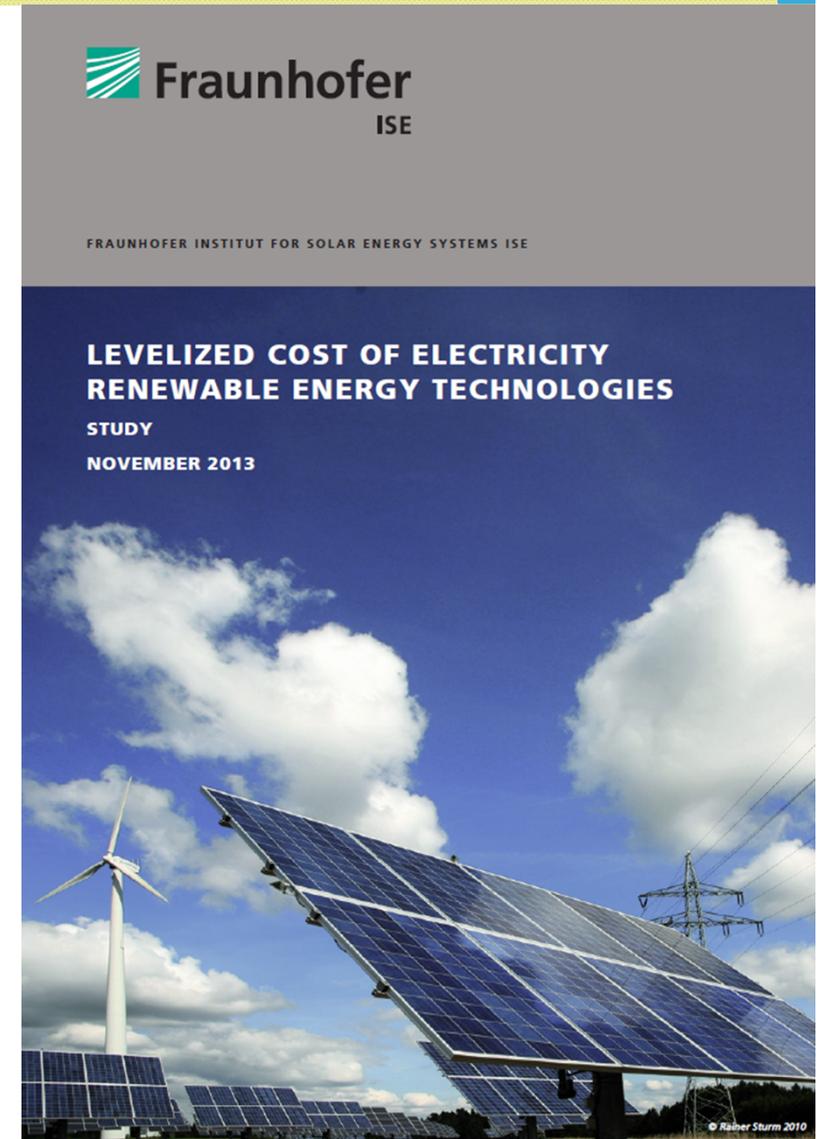
Kurze Wiederholung

- **Ausgangsfrage: „Was kostet eine Kilowattstunde Energie?“**
- Genauer gefragt:
 - Welche Kosten entstehen **beim Betreiber?**
 - Welche Kosten entstehen **in der Gesellschaft?**
 - Welche Kosten entstehen **in der Umwelt?**
- Methoden:
 - **Stromgestehungskosten**
 - **Externe Kosten**
 - **Kosten-Nutzen-Analyse**
- Fokus: **Strom**



Stromgestehungskosten (SGK/LCOE)

- Stromgestehungskosten (SGK, engl: LCOE) sind wichtiges Entscheidungskriterium für strategische Planungen
- Insbesondere interessant: Wie entwickeln sich die SGK in der Zukunft?



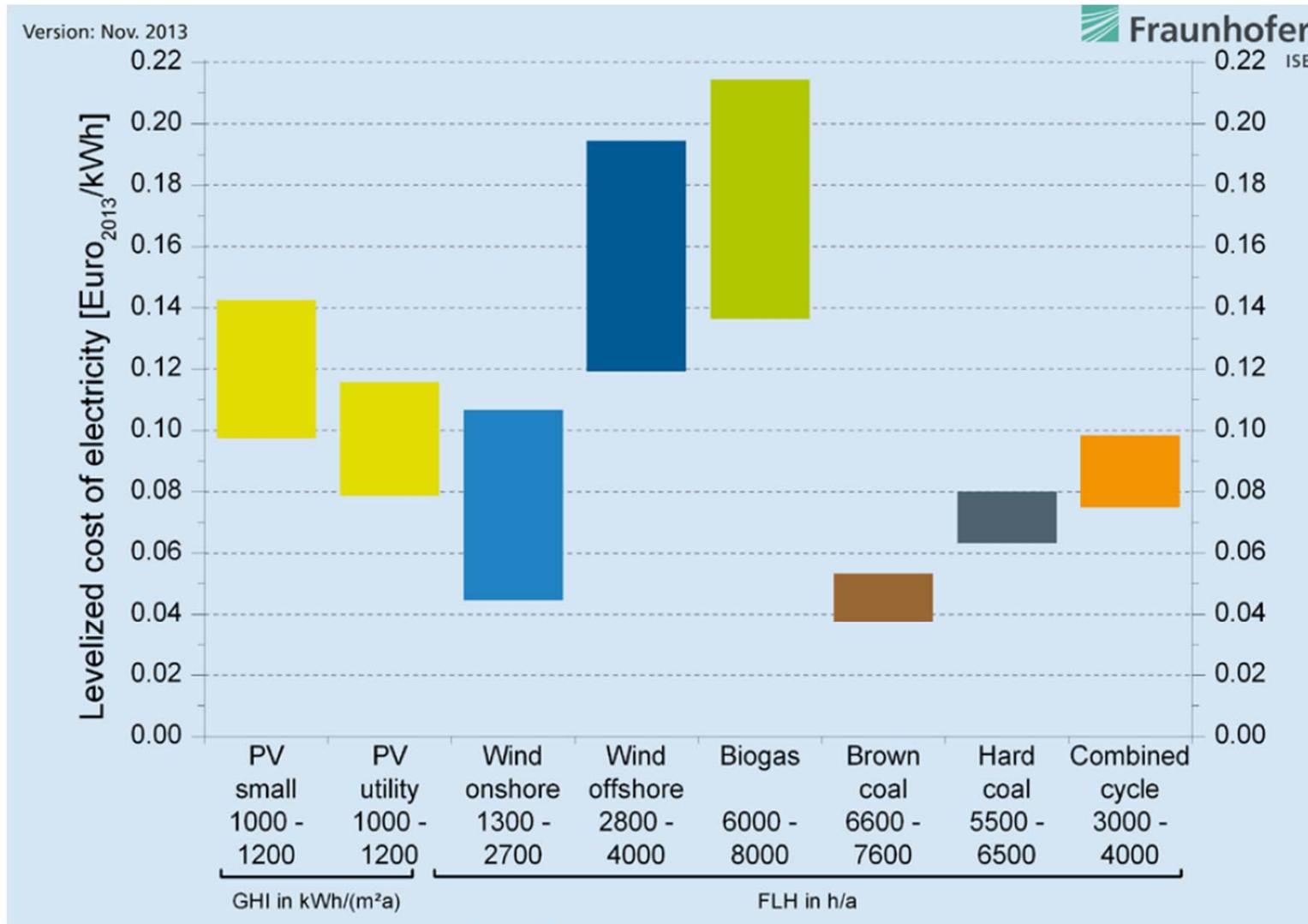


Status III/2013

- Ende 2013 sind die Stromgestehungskosten (SGK) Erneuerbarer Energien in Deutschland bereits nahe an den fossilen Erzeugungskosten
- Besonders günstig sind **Wind onshore** (4,5 – 10,7 c/kWh) und **große Solaranlagen** (7,8 – 14,2 c/kWh)
- Kostenspanne sehr groß wegen Standortabhängigkeit
- **Braunkohle** hat niedrigere SGK und diese sind nahezu unabhängig vom Standort
- **Wind offshore und Biogas** haben deutlich höhere SGK als alle anderen Alternativen (11,9 – 21,5c/kWh)
 - Wind offshore noch junge Technologie!
 - Haupttreiber bei Wind offshore sind Bau-, Wartungs- und Finanzierungskosten



Status III/2013



Quelle: Fraunhofer ISE 2013



Ausblick bis 2030

- Neuere Technologien (PV, Wind offshore, Wind onshore) haben Potenziale für **Kostendegression**
- Fossile Technologien können voraussichtlich **Steigerung bei den Brennstoffpreisen und Kosten für CO₂ Emissionen** nicht kompensieren
- Historische „Lernkurven“ für Technologien können zur Vorhersage der zukünftigen SGK verwendet werden
- Annahmen für PV: Fortschrittsrate von 85% (~15% Reduktion pro Verdoppelung der install. Leistung)
- Annahmen für Wind onshore: Fortschrittsrate 97% (~3% Reduktion pro Verdoppelung der install. Leistung)
- Annahme Wind offshore: Fortschrittsrate 97% (~3% Reduktion pro Verdoppelung der install. Leistung)



Ausblick bis 2030

- Relevant für fossile Energien: CO₂-Preise
- Annahmen dieser Studie (Fraunhofer ISE 2013):

CO ₂ allowance price [Euro ₂₀₁₃ /tCO ₂]	2013	2020	2030	2040	2050
lower value (own calculation)	5,3	17	28	35	40
upper value (Prognos)	5.3	21.7	42	50.7	55
medium value	5.3	19.3	35	42.9	47.5

- Weitere Parameter: Volllaststunden, Brennstoffpreise, Effizienz, Zins für Kredite



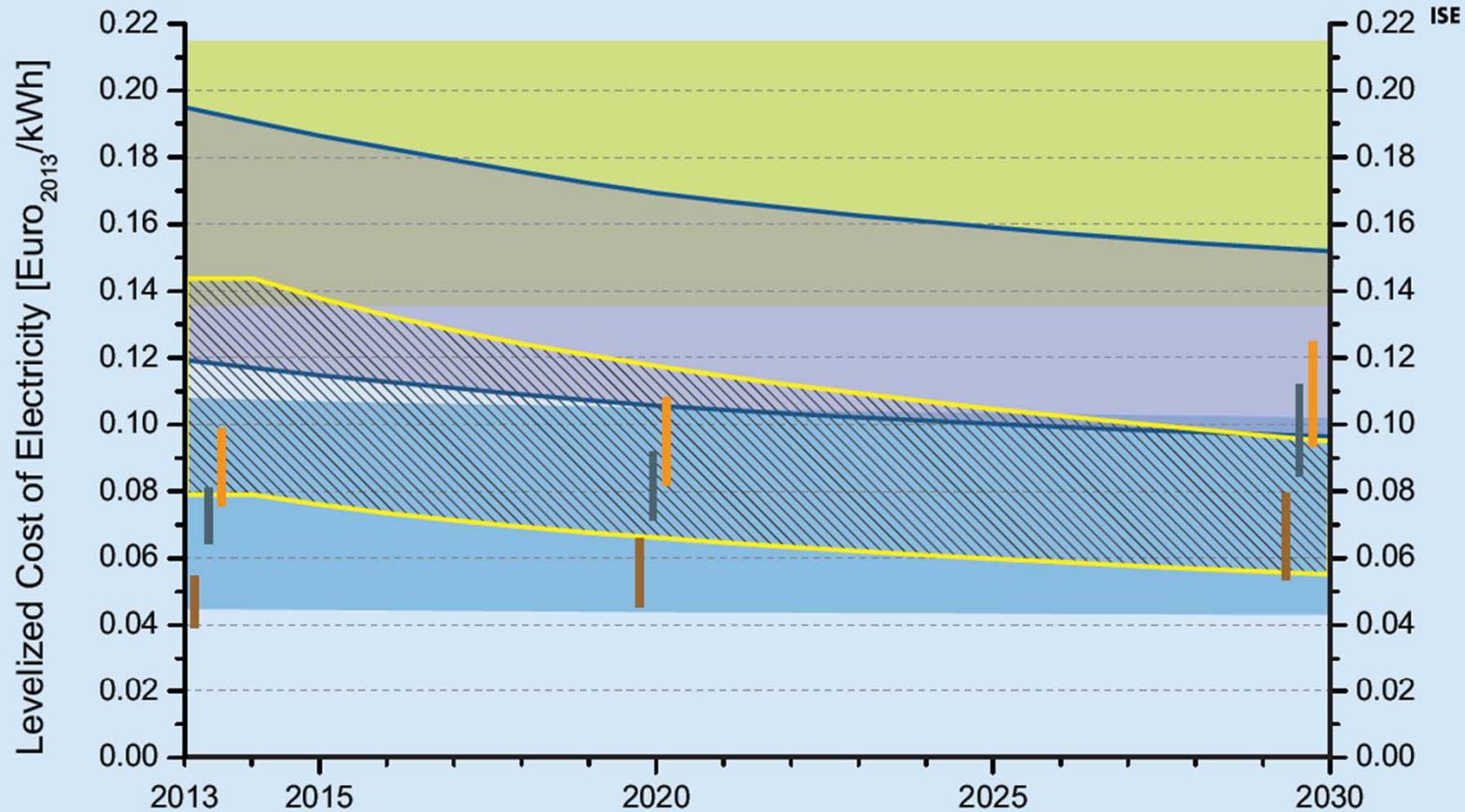
Ausblick bis 2030

- In 2030 liegen **Photovoltaik und Wind onshore** unter oder gleichauf mit den fossilen Erzeugungsarten
- **Wind offshore und Biogas** sind dann immer noch nicht günstiger als fossile Energien
- Für sonnenreiche Standorte werden neben konventionellen Photovoltaik-Anlagen **konzentrierende thermische Solaranlagen (CSP)** und **konzentrierende PV Anlagen (CPV)** zunehmend konkurrenzfähig (4,5 – 7 c/kWh)



Ausblick bis 2030 (Deutschland)

Version: Nov. 2013



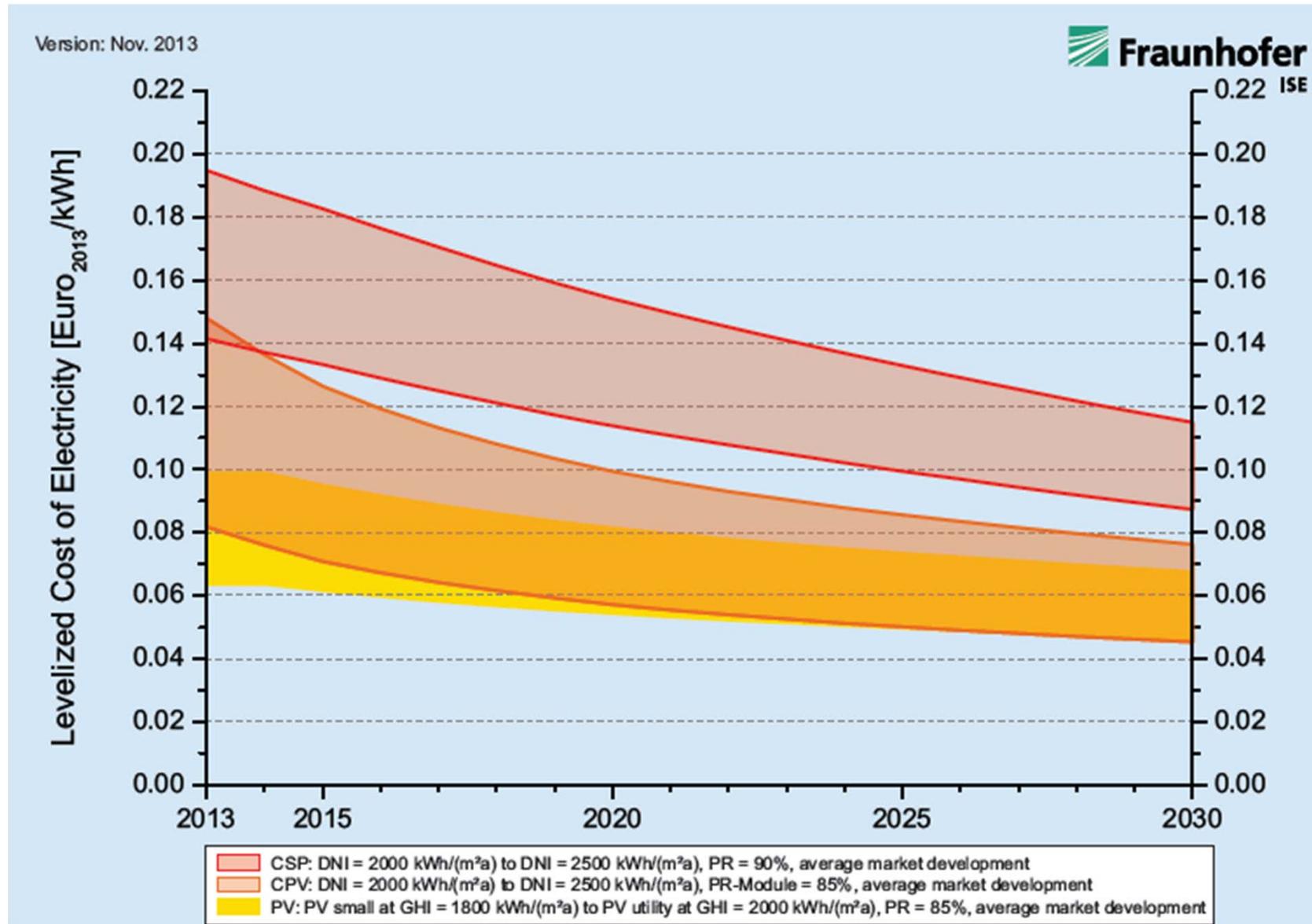
- Photovoltaics: PV small at GHI = 1000 kWh/(m²a) to PV utility at GHI = 1200 kWh/(m²a), PR = 85%, average market development
- Wind Offshore: FLH of 2800 to 4000 h/a, PR = 95%, average market development
- Wind Onshore: FLH of 1300 to 2700 h/a, PR = 97%, average market development
- Biogas: FLH of 6000 to 8000 h/a, PR = 100%
- Brown Coal: FLH, fuel costs, efficiencies, CO₂ allowance prices depending on year of operation, see table 4-7
- Hard Coal: FLH, fuel costs, efficiencies, CO₂ allowance prices depending on year of operation, see table 4-7
- CCGT: FLH, fuel costs, efficiencies, CO₂ allowance prices depending on year of operation, see table 4-7

Quelle: Fraunhofer ISE 2013





Ausblick bis 2030 (sonnenreiche Standorte)



Quelle: Fraunhofer ISE 2013





Frage

- Ist der Vergleich von Photovoltaik und Steinkohle eigentlich gerechtfertigt?





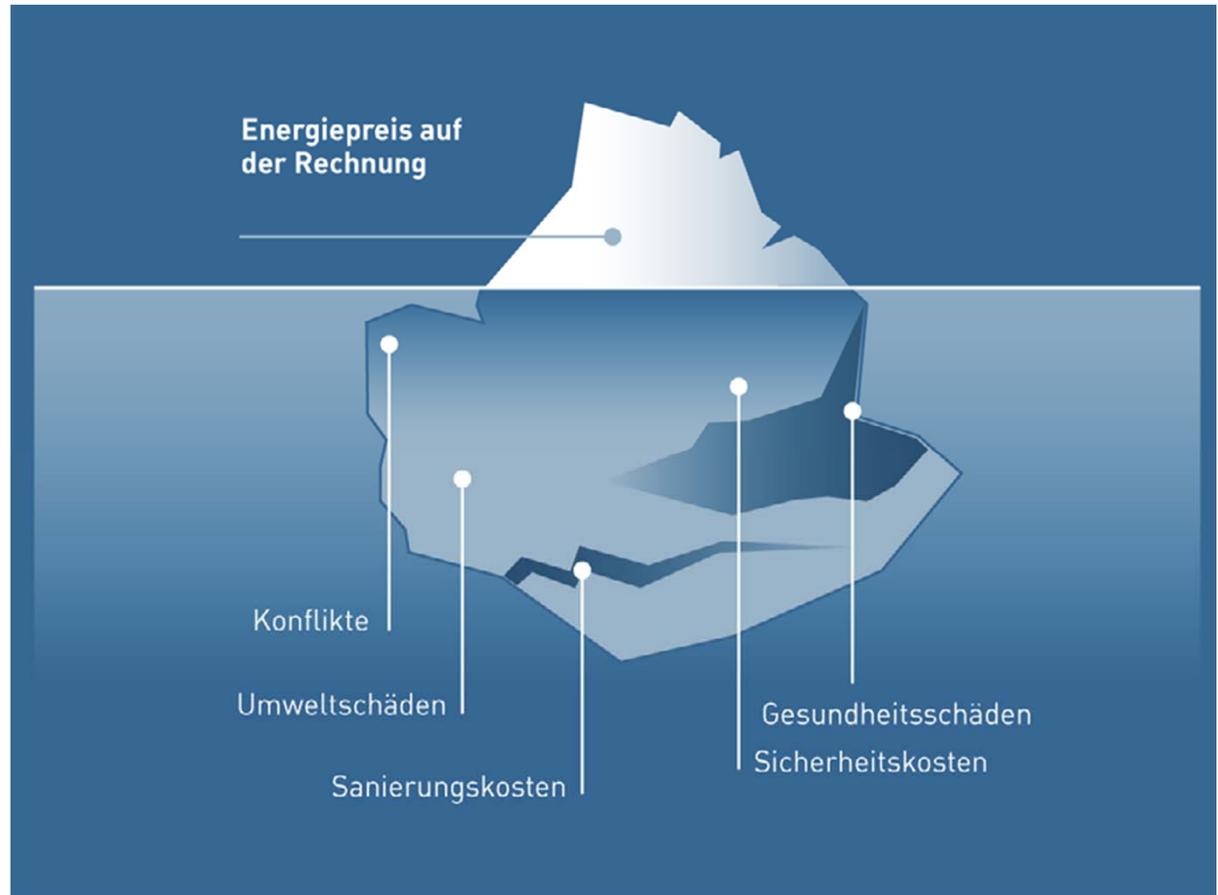
Zu beachten

- Photovoltaik, Wind und fossile Energien unterscheiden sich grundlegend in **räumlicher Verteilung und Regelbarkeit!**
- Je nach Ausbauszenario werden zusätzliche Kosten notwendig
- In den SGK sind keine Kosten für ggf. notwendigen **Netzausbau** enthalten
- Ebenso sind keine ggf. notwendigen **Speicher** und/oder **regelbare Kraftwerke** in der Kalkulation enthalten



Externe Kosten Erneuerbarer Energien

- Erinnerung: die Preise sagen nicht alles





Externe Kosten Erneuerbarer Energien

- Externe Kosten bei **fossilen Energien** sind hauptsächlich durch Emission von Treibhausgasen bedingt (14 – 300 €/t, hier angenommen: 80€/t)
- Externe Kosten von **Kernenergie** sind methodisch sehr schwer zu schätzen
 - Unklare Endlager
 - Schwer kalkulierbares Risiko von Unfällen
 - Ergebnisse daher mit Vorsicht verwenden!
 - Fukushima (Schätzung): etwa 80 Mrd € Gesamtkosten, EU schätzt sogar bis 187 Mrd. €



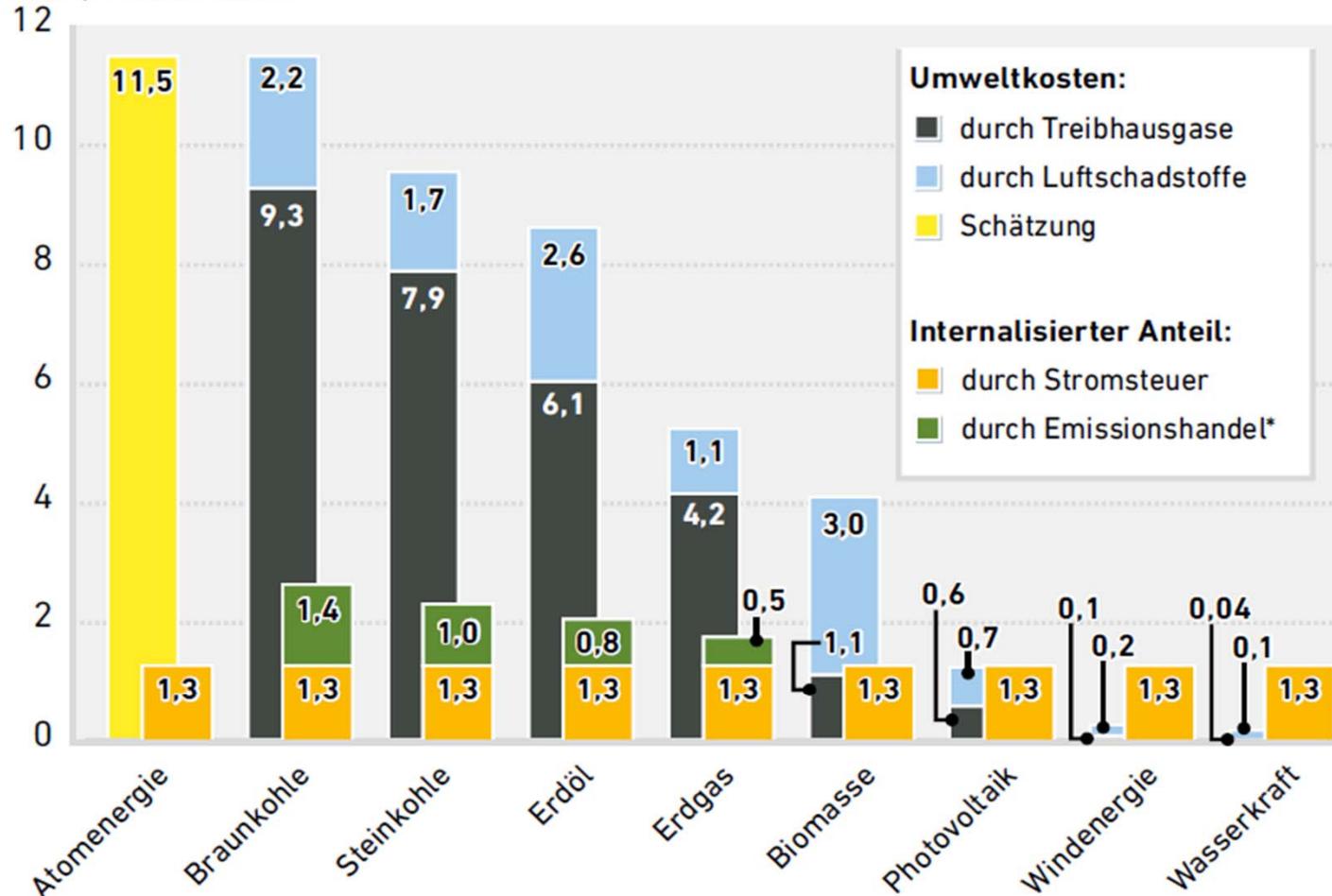
Externe Kosten Erneuerbarer Energien

- Bei den Erneuerbaren Energien hat hauptsächlich **Biogas** signifikante externe Kosten
 - Vor allem durch Luftschadstoffe wie NO_x und N_2O sowie durch Treibhausgase wie CH_4
 - Sehr stark abhängig von Produktionsmethode und Standort (0,3 – 7,7 c/kWh)
- Externe Kosten für **Photovoltaik und Wind** rühren hauptsächlich von Herstellungsphase her, die noch teilweise mit fossilen Energien betrieben wird
- Kosten für Treibhausgase sind teilweise schon **internalisiert** (CO_2 Zertifikate und Stromsteuer)



Externe Kosten Erneuerbarer Energien

in Cent pro Kilowattstunde



* Die Höhe der durch den Emissionshandel internalisierten Kosten bezieht sich auf Berechnungen von 2012. Da die Preise für CO₂-Emissionsrechte seitdem gesunken sind, ist die Differenz zwischen internalisierten Umweltkosten und verbleibenden externen Kosten noch größer.

Quelle: Agentur für Erneuerbare Energien 2014



Externe Kosten Erneuerbarer Energien

- Durch pauschale Internalisierung kommt es bei Wind- und Wasserkraft teilweise zur Überkompensation

	Atomenergie		Stein- kohle	Braun- kohle	Erdgas	Wind onshore	Wasser- kraft	Photo- voltaik
	min	max						
Externe Kosten gesamt in Ct/kWh (nach Fraunhofer ISI 2012 und FÖS 2012a)	10,7	34,3	8,9	10,7	4,9	0,3	0,2	1,2
<i>abzüglich Strompreis- erhöhung durch Emis- sionshandel Ct/kWh</i>	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
<i>abzüglich Sollauf- kommen Energiesteuer Ct/kWh</i>	-1,3	-1,3	-0,9	-1,0	-0,6	-0,03	-0,03	-0,03
nicht internalisierte externe Kosten Ct/kWh	9,0	32,5	7,5	9,2	3,8	-0,3	-0,4	0,6

Quelle: Forum ökologisch soziale Marktwirtschaft 2012



Externe Kosten Erneuerbarer Energien

- Auch auf **internationaler** Ebene sind die **externen Kosten von Erneuerbaren Energien** deutlich geringer als die von fossilen Energien
 - Siehe Studie des IPCC (in UNEP 2011)
- Weniger deutlich allerdings bei **Biomasse**



Externe Kosten Erneuerbarer Energien

Coal Fired Plants

- (A) Existing US Plants
- (B) Coal Comb.C $\eta=46\%$
- (B) Coal $\eta=43\%$
- (B) Lignite Comb.C $\eta=48\%$
- (B) Lignite $\eta=40\%$
- (C) Hard Coal 800 MW
- (C) Hard Coal Postcom. CCS
- (C) Lignite Oxyfuel CCS

Natural Gas Fired Plants

- (A) Existing US Plants
- (B) Natural Gas $\eta=58\%$
- (C) Natural Gas Comb.C
- (C) Natural Gas Postcom.CCS

Renewable Energy

- (B) Solar Thermal
- (B) Geothermal
- (B) Wind 2.5 MW Offshore
- (B) Wind 1.5 MW Onshore
- (C) Wind Offshore
- (B) Hydro 300 kW
- (B) PV (2030)
- (B) PV (2000)
- (C) PV Southern Europe
- (C) Biomass CHP 6 MWel
- (D) Biomass Grate Boiler ESP 5 and 10 MW Fuel

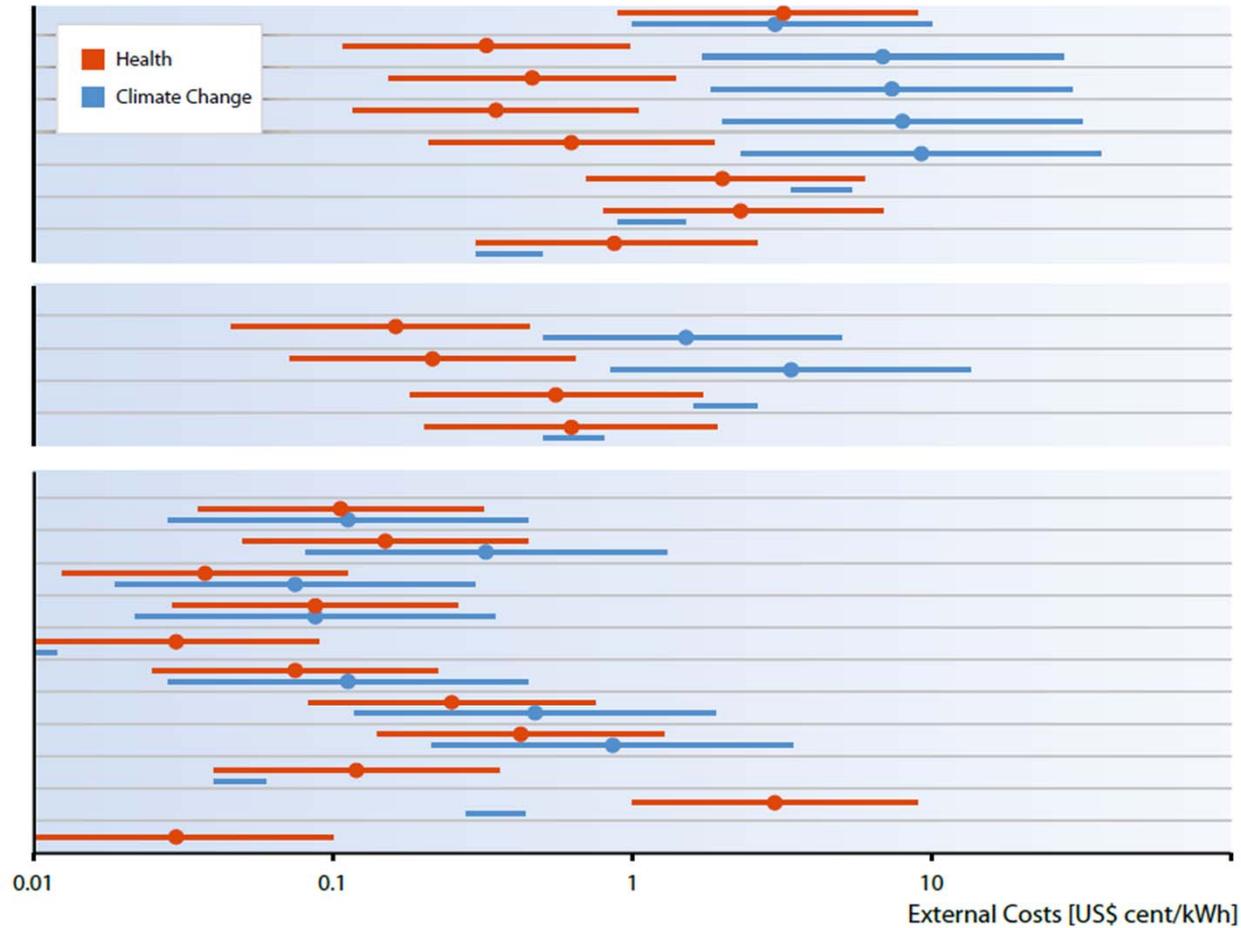


Figure 5: External costs of energy sources related to global health and climate change (logarithmic scale)

Source: IPCC (2011)

Quelle: UNEP 2011





Fazit

- Erneuerbare Energien haben derzeit noch höhere Stromgestehungskosten als fossile Energien.
- Spätestens ab 2030 sind Erneuerbare Energien den fossilen Energien bei diesem Aspekt ebenbürtig.
- Zusammen mit den externen Kosten sind Erneuerbare Energien schon heute günstiger als fossile oder nukleare Energien.



Aufgaben für das Selbststudium

1. Betrachten Sie die Einflussfaktoren für die Stromgestehungskosten von erneuerbaren Energien und bestimmen sie die sich daraus ergebenden optimalen Einsatzorte für die jeweiligen Energieformen.
2. Recherchieren Sie: Welche Komponenten fehlen in der Berechnung der Stromgestehungskosten und wie würden diese vermutlich die gezeigten Ergebnisse und die Rangfolge der Energietechnologien beeinflussen?
3. Wie erklären sie sich die großen Spannbreiten der externen Kosten, die sich durch Treibhausgase ergeben? Was schließen sie daraus für die Bewertung der fossilen Energien?



Literatur und weiterführende Quellen

- Fraunhofer ISE (2013): Levelized Cost of Electricity- Renewable Energy Technologies.
<http://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/veroeffentlichungen-pdf-dateien-en/studien-und-konzeptpapiere/study-levelized-cost-of-electricity-renewable-energies.pdf>
- Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft (2012): Was Strom wirklich kostet. Vergleich der staatlichen Förderungen und gesamtgesellschaftlichen Kosten konventioneller und erneuerbarer Energien.
- Agentur für Erneuerbare Energien (2014): RENEWS Spezial Nr. 73. Kosten und Preise für Strom
- UNEP (2011): Renewable Energy - Investing in energy and resource efficiency