



Ganzheitliche Bewertung energiewirtschaftlicher Handlungsoptionen

M. Sc. Christopher Koch

17.05.2019

Workshop: Nachhaltigkeit in der Nutzung stofflicher und energetischer Ressourcen



Agenda

(1) Gesamtkonzept

(2) Kennzahlenmodell

(3) Ziele

Nachhaltigkeit durch Ganzheitlichkeit

Nachhaltigkeit:

- Handlungsprinzip zur Ressourcennutzung, bei dem **dauerhafte Bedürfnisbefriedigung** durch die **Bewahrung der natürlichen Regenerationsfähigkeit** der beteiligten Systeme gewährleistet werden soll

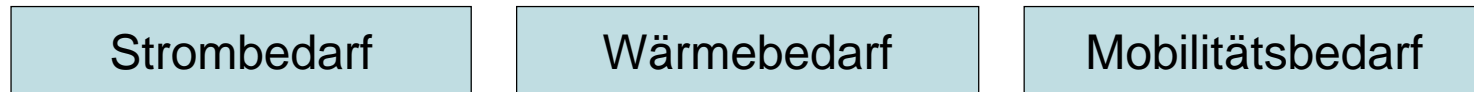
Energiesystem:

- *Bedürfnisbefriedigung*: kostengünstige, dauerhafte Deckung des Bedarfs an Strom, Wärme und Mobilität
- *Bewahrung der natürlichen Regenerationsfähigkeit*: Schadstoffemissionen und Ressourcenverwendung

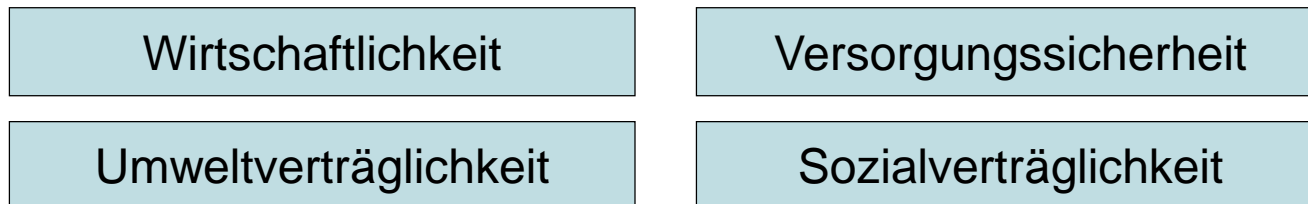
→ **Ganzheitliche Betrachtung des Energiesystems**

Ganzheitlichkeit auf drei Ebenen

1. Gesamtes Energiesystem → Energiesystemmodell



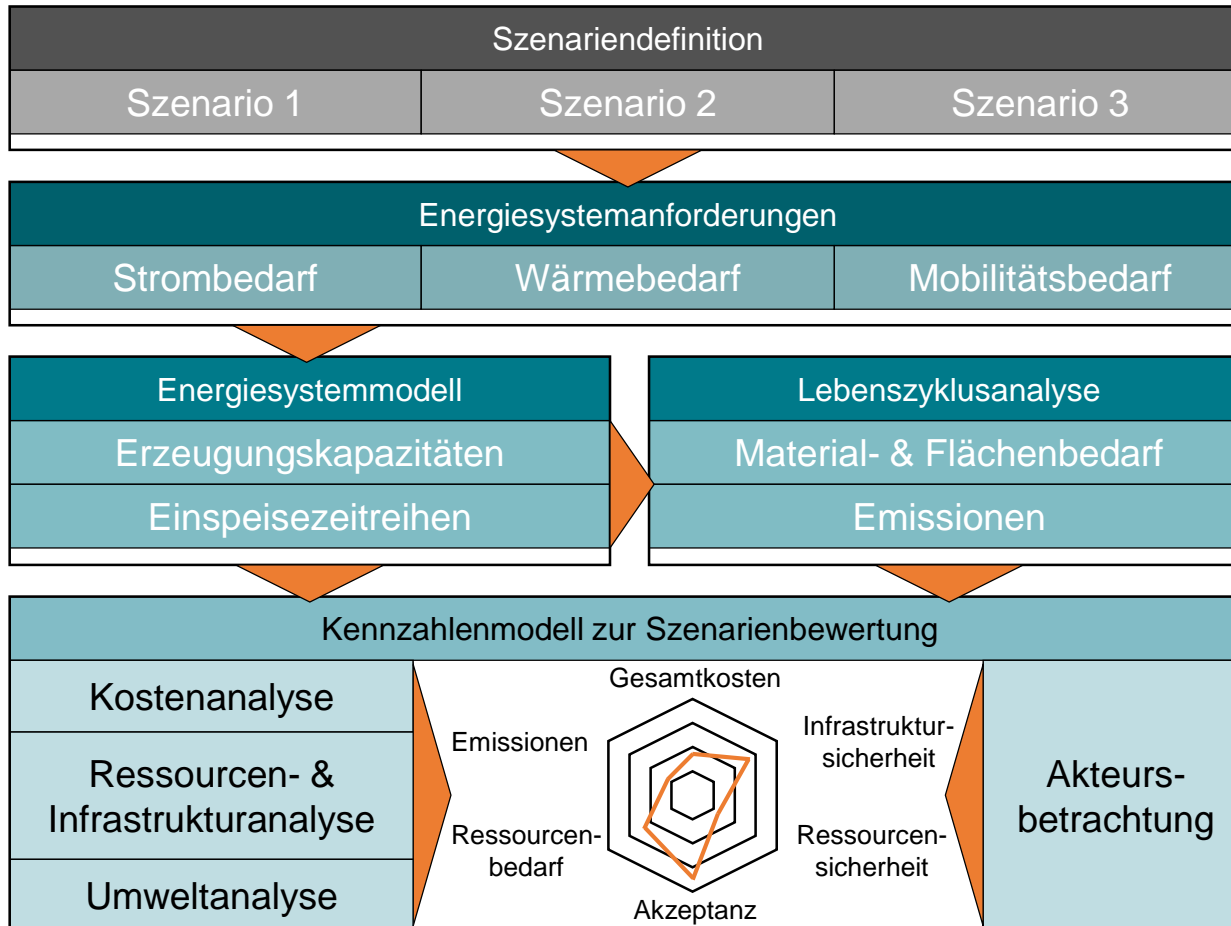
2. Alle Ziele der Energieversorgung → Kennzahlenmodell



3. Berücksichtigung aller Emissionen und Ressourcenbedarf → LCA-Modell



Von der Szenariendefinition zur Bewertung



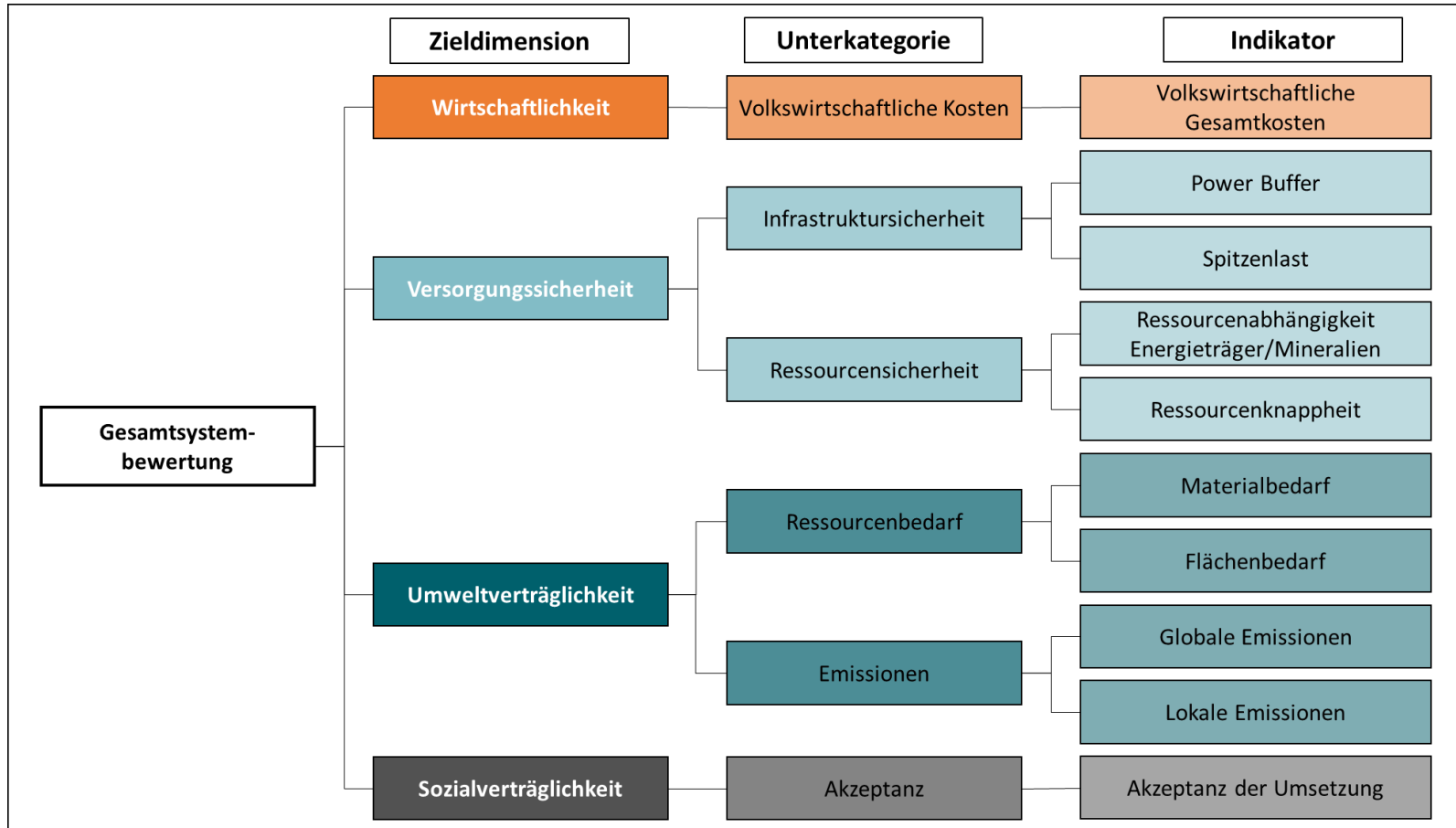
Agenda

(1) Gesamtkonzept

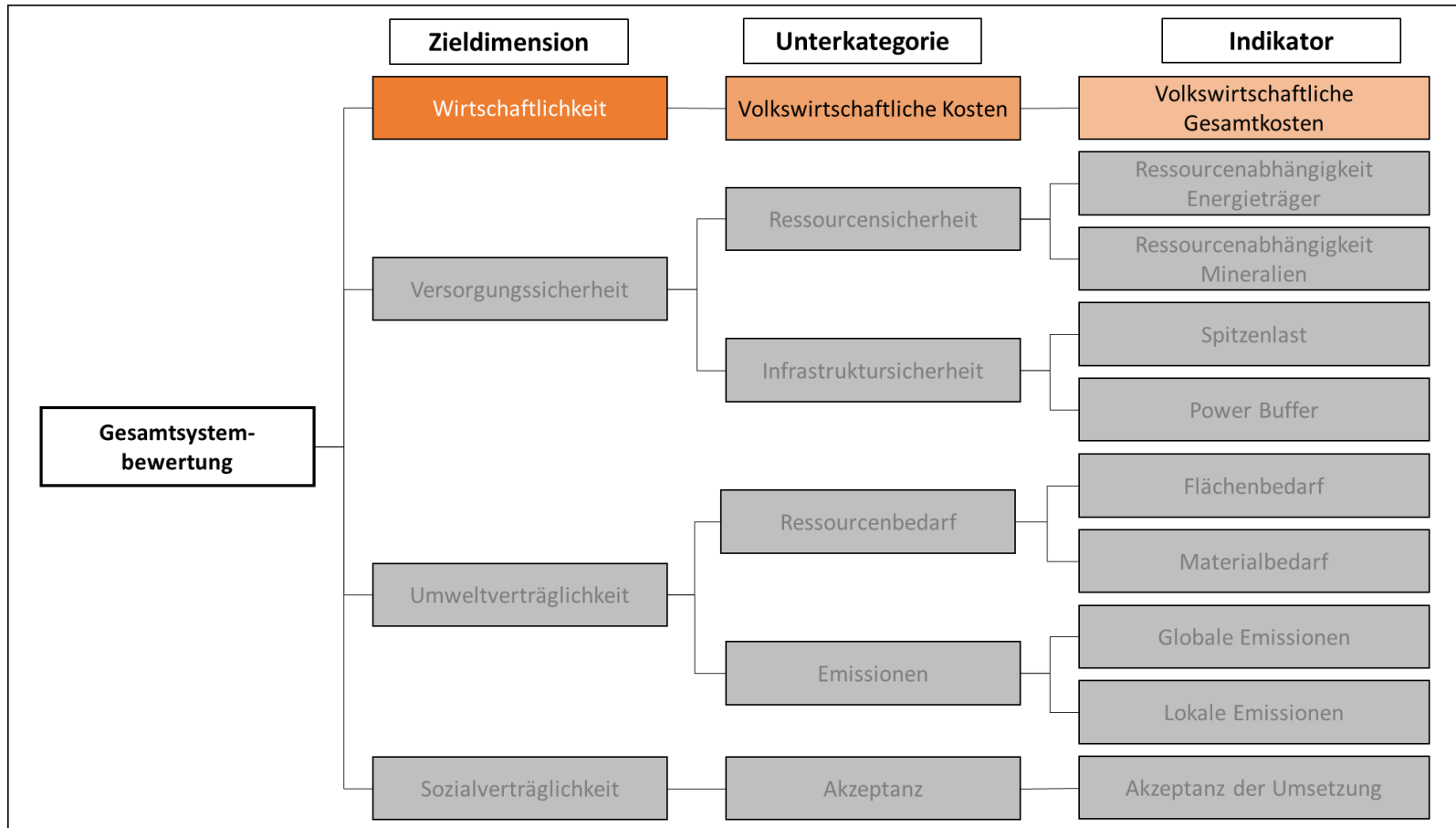
(2) Kennzahlenmodell

(3) Ziele

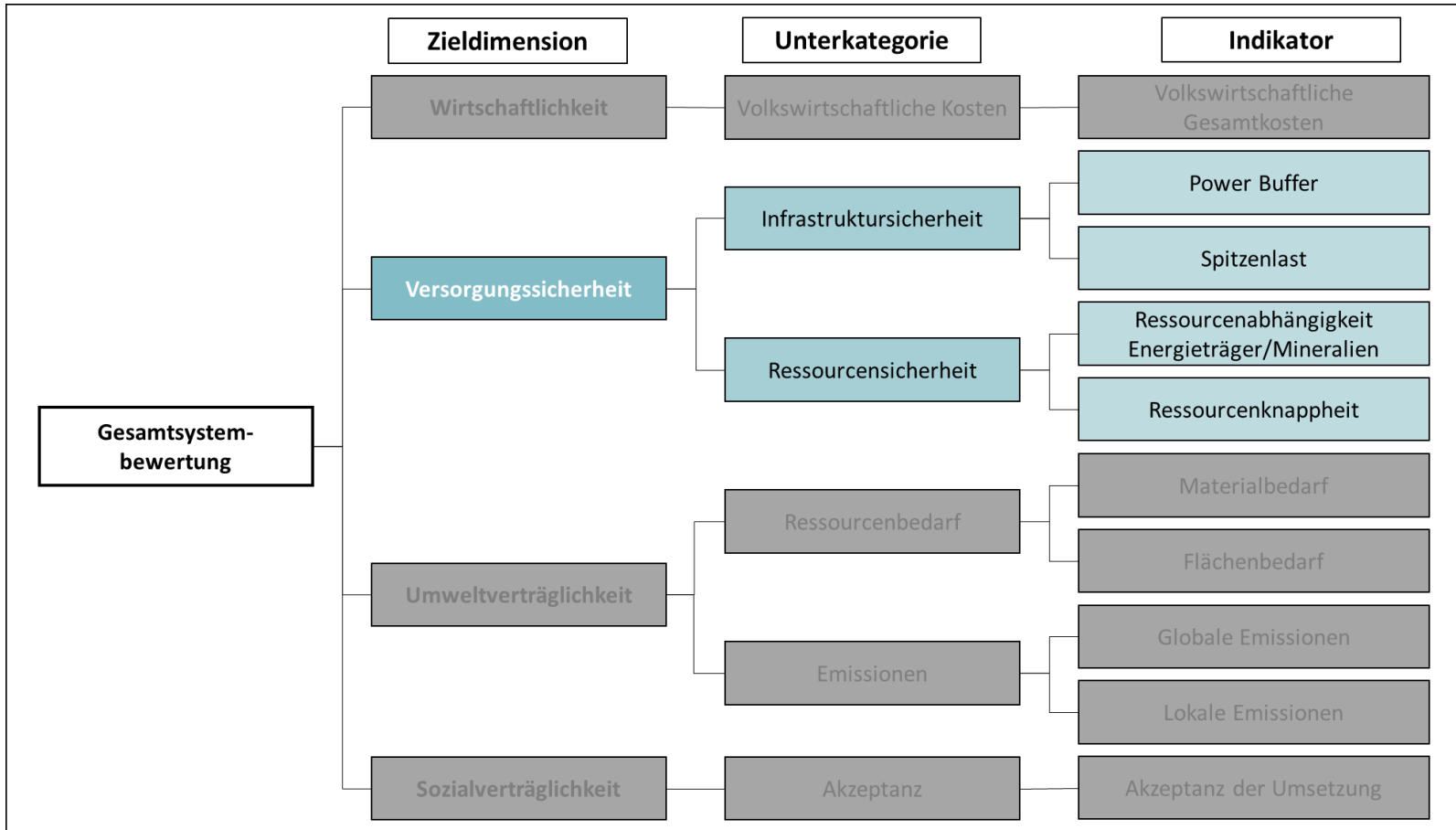
Abbildung der Systemwirkungen



Wirtschaftlichkeit



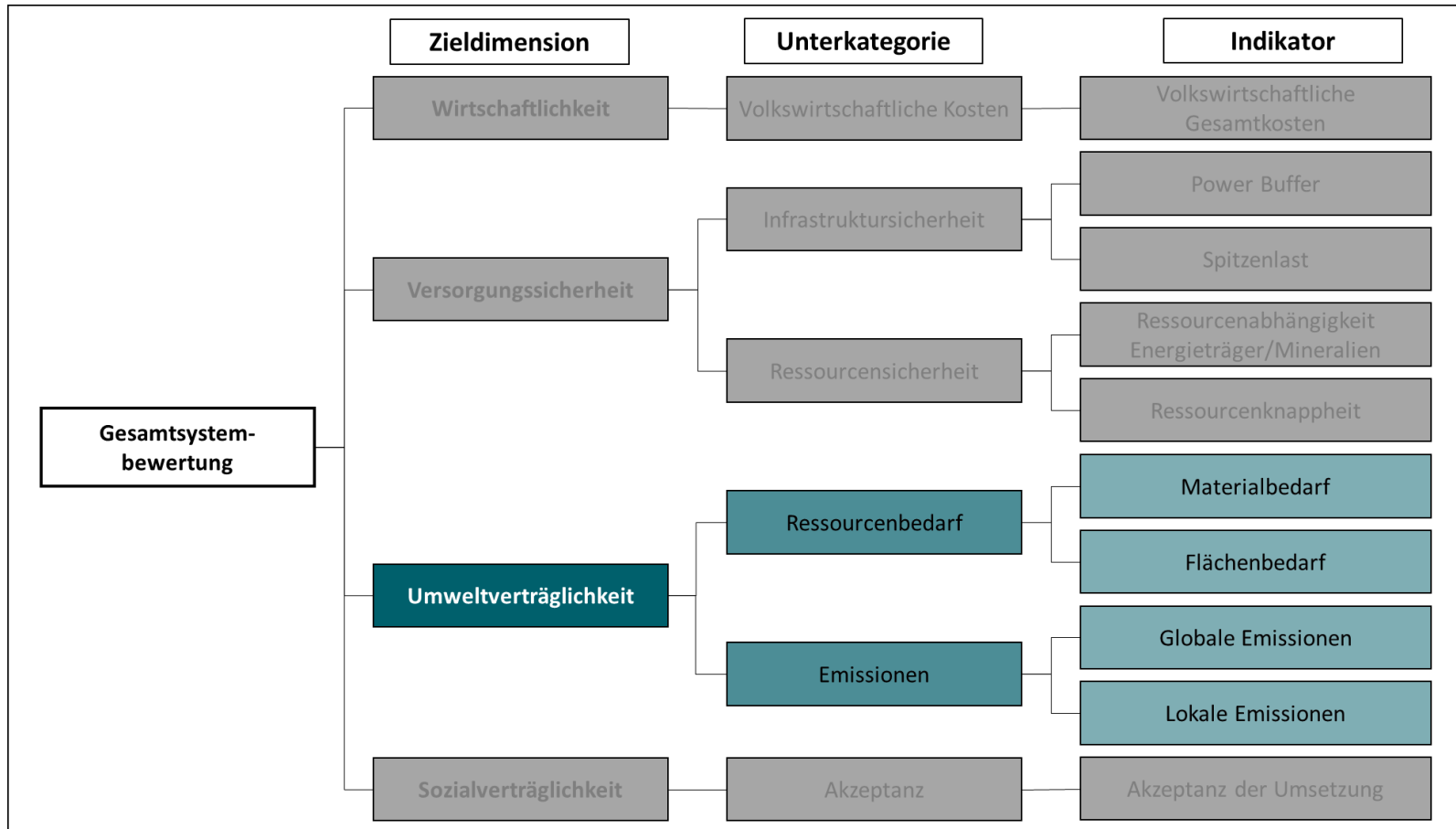
Versorgungssicherheit



Versorgungssicherheit

	Indikator	Interpretation
Infrastruktur	Power Buffer Verbleibende Leistung Dunkelflaute	Strukturelle Fähigkeit des Systems zur jederzeitigen Lastdeckung
	Delta Spitzenlast Strom Spitzennachfrage Elektrizität	Hilfsindikator Anforderung Netze > Transportfähigkeit
Ressourcen	Abhängigkeit Importabhängigkeit * Bedeutung je Energieträger/ Mineralischer Rohstoff	Risiko durch eine mögliche Beschränkung des Zugangs zu Rohstoffen
	Knappheit Abiotischer Ressourcenbedarf (Mineralien)	Verknappung der Ressourcen (Ergebnis LCA-Modell)

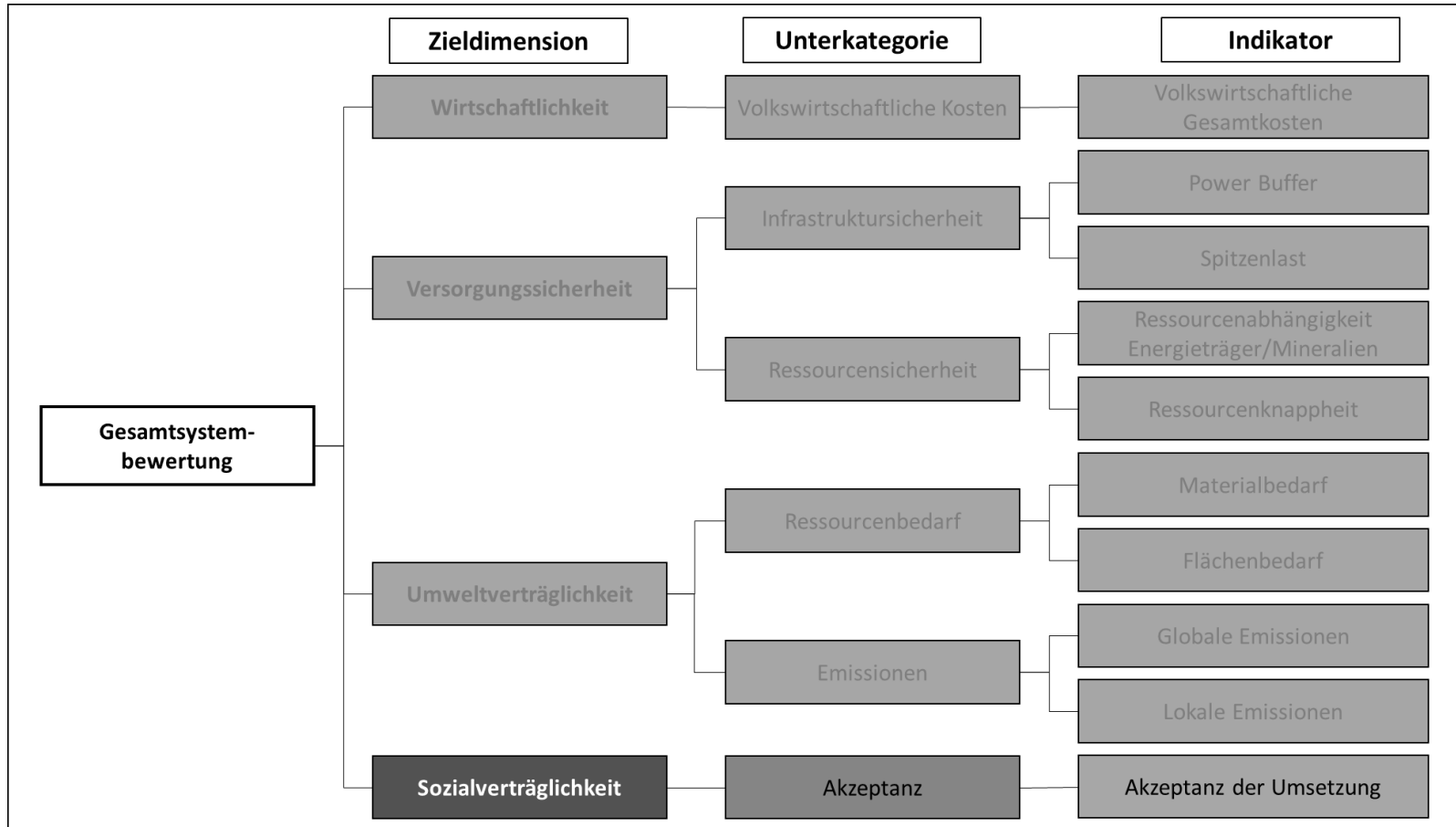
Umweltverträglichkeit



Umweltverträglichkeit

	Indikator	Interpretation
Emissionen	Globale Emissionen Treibhauspotential	Messung des Treibhauseffektes
	Lokale Emissionen Ozonabbau, bodennahe Ozonbildung, Versauerung, Eutrophierung, Strahlung, Feinstaub	Messung der Auswirkungen lokal wirkender Emissionen
Ressourcen	Materialbedarf Abiotischer Ressourcenbedarf (Mineralien)	Verknappung der Ressourcen
	Flächenbedarf Flächennutzung	Verknappung der nutzbaren Fläche

Sozialverträglichkeit



Sozialverträglichkeit

	Indikator	Interpretation
Akzeptanz	Akzeptanz der Umsetzung Befragung relevanter Akteure	Risikoindikator zur Bewertung der Umsetzbarkeit eines Szenarios

Agenda

(1) Gesamtkonzept

(2) Kennzahlenmodell

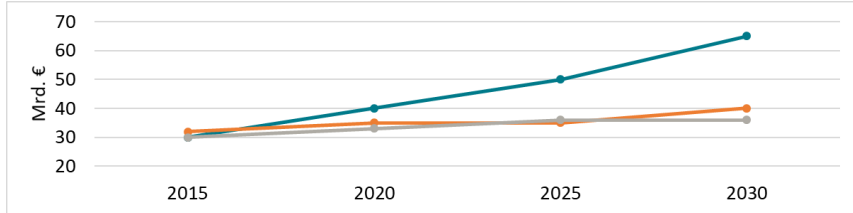



(3) Ziele

Ableitung politischer Handlungsempfehlungen

1. Charakterisierung der Szenarien

- Investitionen
- Sektorkopplung
- Energetische Effizienz

Überblick über Systemstruktur nach Sektoren

	Strom	Wärme	Verkehr																				
Investition	 <table border="1"> <caption>Investition (Mrd. €)</caption> <thead> <tr> <th>Jahr</th> <th>Strom</th> <th>Wärme</th> <th>Verkehr</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2015</td> <td>30</td> <td>30</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>2020</td> <td>40</td> <td>35</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>2025</td> <td>50</td> <td>38</td> <td>38</td> </tr> <tr> <td>2030</td> <td>65</td> <td>40</td> <td>38</td> </tr> </tbody> </table>			Jahr	Strom	Wärme	Verkehr	2015	30	30	30	2020	40	35	35	2025	50	38	38	2030	65	40	38
Jahr	Strom	Wärme	Verkehr																				
2015	30	30	30																				
2020	40	35	35																				
2025	50	38	38																				
2030	65	40	38																				
Sektorkopplung	 <p>Verwendung nach Sektoren</p> <p>■ Strom ■ Wärme ■ Verkehr</p>	 <p>Strom im Wärmesektor</p> <p>■ Fossil ■ Strom</p>	 <p>Strom im Verkehrssektor</p> <p>■ Fossil ■ Strom</p>																				
Energetische Effizienz	$\frac{\text{Nutzenergiebedarf}}{\text{Primärenergiebedarf}}$																						

Ableitung politischer Handlungsempfehlungen

1. Charakterisierung der Szenarien
 - Investitionen
 - Sektorkopplung
 - Energetische Effizienz
2. Bewertung der Systemwirkungen verschiedener Szenarien
 - Wirtschaftlichkeit, Versorgungssicherheit, Umweltverträglichkeit
 - Zeithorizont 2030
3. Evaluierung des Anpassungsbedarfs
 - Akzeptanz der Umsetzung
 - Betriebswirtschaftliche Perspektive, Nutzerverhalten
4. Abgleich mit energiepolitischen Zielen
 - Treibhausgasemissionen
 - Anteil Erneuerbarer Energien in den Sektoren
 - Reduktion Energieverbrauch in den Sektoren

Überblick Energiepolitische Zielhierarchie

Politische Ziele	Treibhausgasemissionsreduktion																	
	-40%						-55%						-80%					
Kernziele	EE-Anteil am Endenergieverbrauch									Reduktion Primärenergieverbrauch								
	18%			30%			60%			-20%			-			-50%		
Steuerungsziele	EE-Anteil Strom			EE-Anteil Wärme			EE-Anteil Verkehr			Bruttostromverbrauch			Wärmebedarf Gebäude			Endenergie Verkehr		
	35%	65%	80%	14%	-	-	-	-	-	-10%	-	-25%	-20%			-10%		-40%

2020	2030	2050
------	------	------

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

M. Sc. Christopher Koch

Fachgebiet Energiesysteme

Einsteinufer 25 (TA8)

10587 Berlin

Tel: +49 (0)30 314 28634

E-Mail: christopher.koch@tu-berlin.de

Ganzheitliches Energiesystem- und LCA-Modell

Energiesystemmodell:

- Kostenoptimierung bis 2050 (Nebenbedingung: CO₂-Restriktion), Brownfield-Ansatz
- Abbildung der Sektoren Strom, Wärme und Mobilität
- Kapazitätsoptimierung mittels Stützjahre über gesamten Zeitraum (Typwochen), Einsatzplanung für gesamtes Jahr
- Typscharfe Berücksichtigung der Technologien (Flottenbetrachtung)

LCA-Modell:

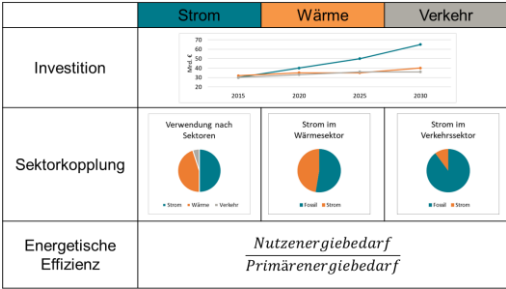
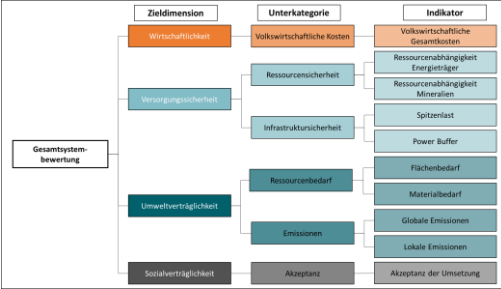
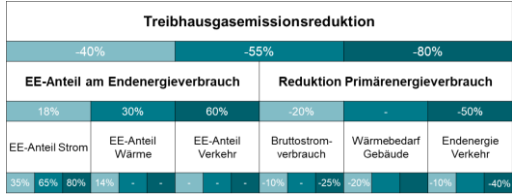
- Abbildung der Ressourcenverbräuche und Emissionen über gesamten Produktlebenszyklus (Cradle-to-Operation)
- Basis: Ecoinvent 3.4
- Update wichtiger Technologien (Elektroauto, Windkraft, PV, Wärmepumpe)

Wirtschaftlichkeit

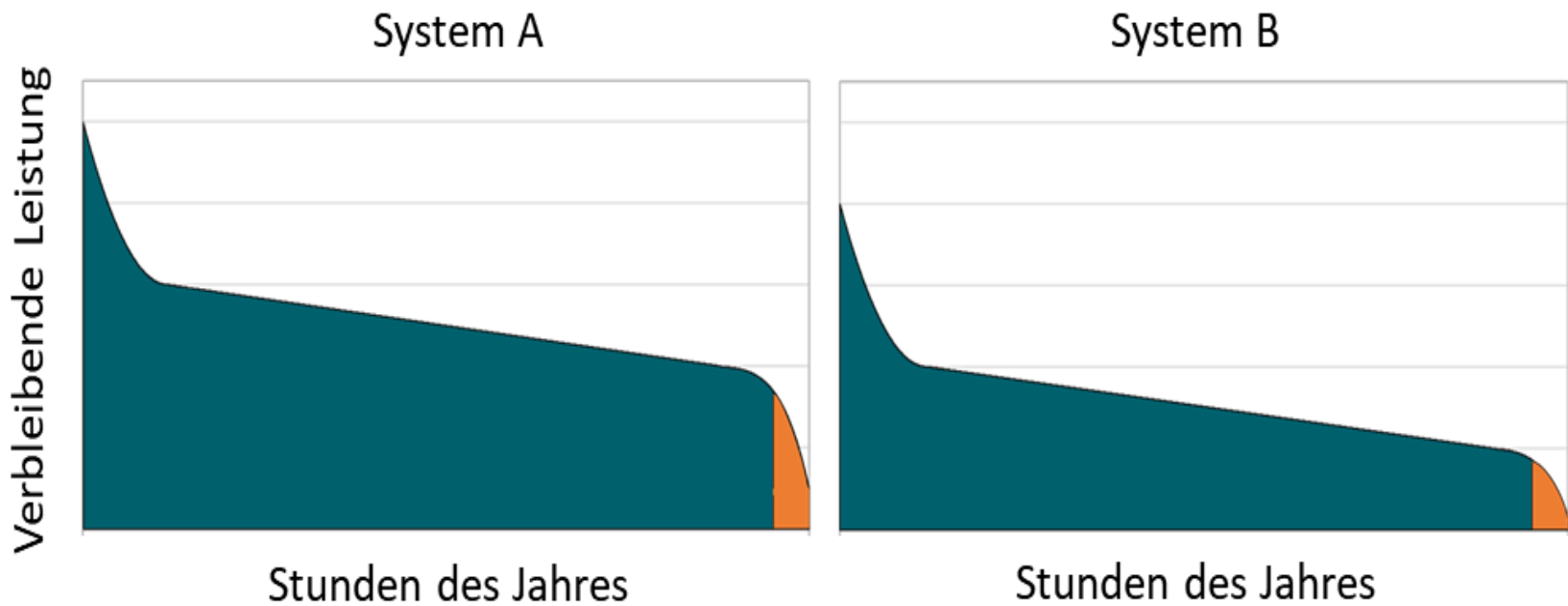
Berechnung der volkswirtschaftlichen Gesamtkosten

- Investitions- und Betriebskosten
- Keine Abbildung von Steuern, Abgaben, Umlagen
- (Pauschale) Berücksichtigung der Infrastruktur nur im Stromsektor
- Keine Berücksichtigung des infrastrukturellen Anpassungsbedarfs unterschiedlicher Ausbaupfade (insbesondere im Strom- und Verkehrssektor)
- Abbildung Elektroautos vs. Verbrennungsmotor nur über Differenzkosten

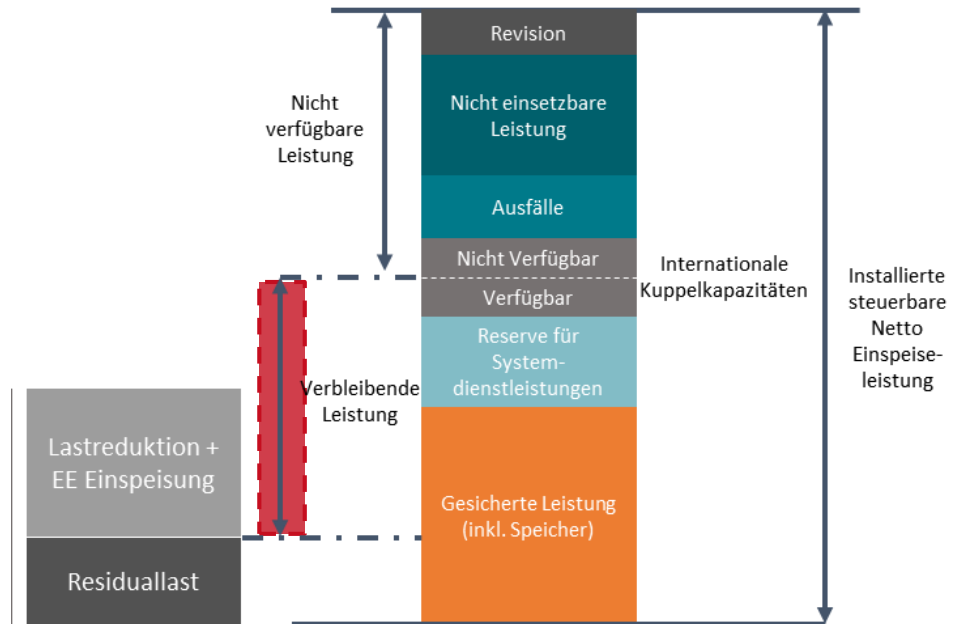
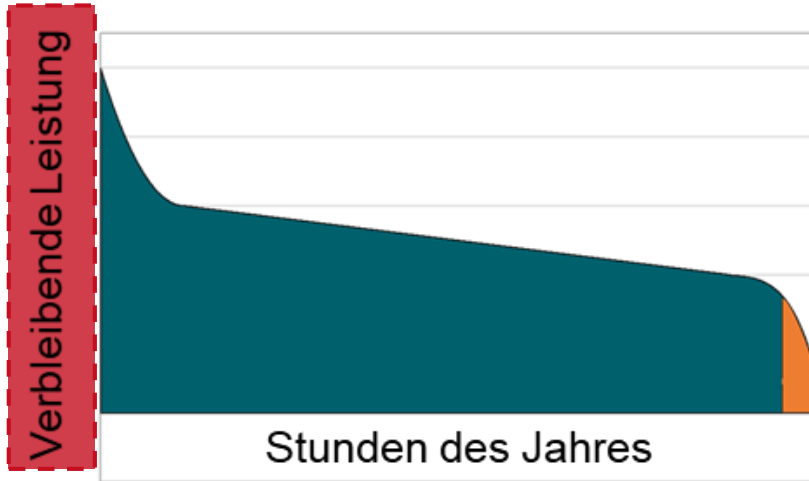
Vermessung des Systems in 3 Schritten

Fingerabdruck	Fußabdruck	Politische Ziele																																																						
 <p>Investition</p> <p>Sektorkopplung</p> <p>Energetische Effizienz</p> <p><i>Nutzenergiebedarf</i> <i>Primärenergiebedarf</i></p>	 <p>Gesamtsystembewertung</p> <ul style="list-style-type: none"> Zieldimension: Wirtschaftlichkeit Unterkategorie: Volkswirtschaftliche Kosten Indikator: Volkswirtschaftliche Gesamtkosten Wirtschaftlichkeit: Ressourcensicherheit, Infrastruktursicherheit, Ressourcenbedarf, Emissionen, Sozialeverträglichkeit Indikator: Ressourcenabhängigkeit Energieträger, Ressourcenabhängigkeit Mineralien, Spitzenlast, Power Buffer, Flächenbedarf, Materialbedarf, Globale Emissionen, Lokale Emissionen, Akzeptanz der Umsetzung 	 <p>Treibhausgasemissionsreduktion</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">-40%</th> <th colspan="2">-55%</th> <th colspan="2">-80%</th> </tr> <tr> <th colspan="3">EE-Anteil am Endenergieverbrauch</th> <th colspan="3">Reduktion Primärenergieverbrauch</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>18%</td> <td>30%</td> <td>60%</td> <td>-20%</td> <td>-</td> <td>-50%</td> </tr> <tr> <td>EE-Anteil Strom</td> <td>EE-Anteil Wärme</td> <td>EE-Anteil Verkehr</td> <td>Bruttostromverbrauch</td> <td>Wärmebedarf Gebäude</td> <td>Endenergie Verkehr</td> </tr> <tr> <td>33%</td> <td>65%</td> <td>80%</td> <td>14%</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>10%</td> <td>-25%</td> <td>-20%</td> </tr> <tr> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-10%</td> </tr> <tr> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-40%</td> </tr> </tbody> </table>	-40%		-55%		-80%		EE-Anteil am Endenergieverbrauch			Reduktion Primärenergieverbrauch			18%	30%	60%	-20%	-	-50%	EE-Anteil Strom	EE-Anteil Wärme	EE-Anteil Verkehr	Bruttostromverbrauch	Wärmebedarf Gebäude	Endenergie Verkehr	33%	65%	80%	14%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10%	-25%	-20%	-	-	-	-	-	-10%	-	-	-	-	-	-40%
-40%		-55%		-80%																																																				
EE-Anteil am Endenergieverbrauch			Reduktion Primärenergieverbrauch																																																					
18%	30%	60%	-20%	-	-50%																																																			
EE-Anteil Strom	EE-Anteil Wärme	EE-Anteil Verkehr	Bruttostromverbrauch	Wärmebedarf Gebäude	Endenergie Verkehr																																																			
33%	65%	80%	14%	-	-																																																			
-	-	-	-	-	-																																																			
-	-	-	10%	-25%	-20%																																																			
-	-	-	-	-	-10%																																																			
-	-	-	-	-	-40%																																																			
<p>Erfassung der Systemstruktur</p>	<p>Erfassung der Systemwirkung</p>	<p>Messung der energiepolitischen Zielerreichung</p>																																																						

Versorgungssicherheit – Infrastruktursicherheit > Power Buffer



Versorgungssicherheit – Infrastruktursicherheit > Power Buffer



Versorgungssicherheit – Ressourcensicherheit

Kategorie	Ressourcenabhängigkeit	
Beschreibung	Abbildung der kurzfristigen Importabhängigkeit von energetischen und mineralischen Rohstoffen	
Kennzahl	<i>Kennzahl Energieträger_i</i> $= \sum_j (s_{ij}^2) * a_i * b_i$	<i>Kennzahl Mineral_i</i> $= \sum_j (s_{ij}^2) * a_i * c_i$
	<p>$\sum_j (s_{ij}^2)$ – HHI der Nicht-Binnenmarkt-Importe</p> <p>a_i – Importanteil am Gesamtverbrauch</p> <p>b_i – Anteil Energieträger am Primärenergieverbrauch</p> <p>c_i – Anteil Sekundärenergie mit Technologien, die Rohstoff i nutzen, an der gesamten Sekundärenergie</p>	

Umweltverträglichkeit – lokale Emissionen

$$\text{Kennzahl Lokale Emissionen} = \Delta_{\text{Versauerung}} \cdot \Delta_{\text{Feinstaub}} \cdot \Delta_{\text{Ozonbildung}} \cdot \Delta_{\text{Ozonabbau}} \cdot \Delta_{\text{Eutrophierung, Trinkwasser}} \cdot \Delta_{\text{Eutrophierung, Meere}} \cdot \Delta_{\text{Strahlung}}$$

- $\Delta_{\text{Versauerung}}$ SO₂-Äquivalente
- $\Delta_{\text{Feinstaub}}$ PM_{2.5}-Äquivalente
- $\Delta_{\text{Ozonbildung}}$ NO_x-Äquivalente
- $\Delta_{\text{Ozonabbau}}$ CFC11-Äquivalente
- $\Delta_{\text{Eutrophierung, Trinkwasser}}$ P-Äquivalente
- $\Delta_{\text{Eutrophierung, Meere}}$ N-Äquivalente
- $\Delta_{\text{Strahlung}}$ Co-60-Äquivalente