



Virtuelle Akademie **Nachhaltigkeit**

Verwundbarkeit und Resilienz von Energiesystemen

Episode 2: Resilienz von Energiesystemen

Prof. Dr. Stefan Gößling-Reisemann
Universität Bremen

Veranstaltung: Technik, Energie und Nachhaltigkeit *erstellt und gefördert durch*

 Universität Bremen*
*EXZELLENT.

ZMML
Zentrum für Multimedia
in der Lehre

gefördert durch



Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de





Übersicht der Lerneinheit

Episode 1: Verwundbarkeit von Energiesystemen

Episode 2: Resilienz von Energiesystemen

Episode 3: Interview mit dem Referenten



Lernziele dieser Episode

Lernziel 1:

Sie verstehen die wachsende Komplexität, grundlegenden Herausforderungen und Unsicherheiten für die Entwicklung des Energiesystems.

Lernziel 2:

Sie lernen Resilienz als Leitorientierung für die Gestaltung des Energiesystems unter Unsicherheit kennen.

Lernziel 3:

Sie kennen Systemstrukturen und –komponenten für resiliente Energiesysteme.



[Technik, Energie und Nachhaltigkeit]

Verwundbarkeit und Resilienz von Energiesystemen • Episode 2 • Prof. Dr. Stefan Göbbling-Reisemann

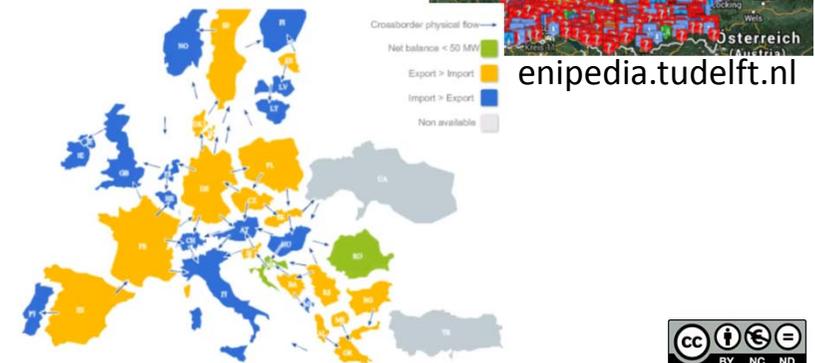
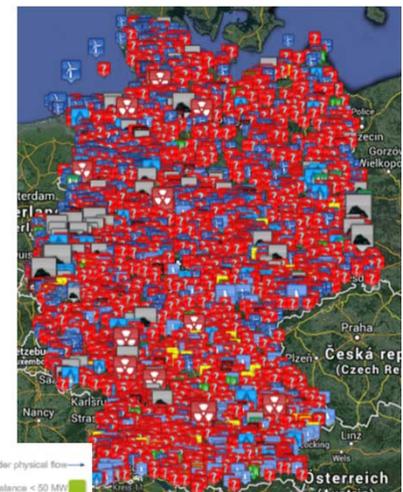
Wiederholung I : Komplexität

Auf allen Ebenen: Komplexität des Energiesystems steigend



Wiederholung I : Komplexität

- Maße für Komplexität (S. Lloyd)
 - Wie aufwändig ist das System zu beschreiben?
 - Wie aufwändig ist es, das System zu erzeugen?
 - Was ist das Niveau der Organisation?
 - Wie weit sind Ursache und Wirkung dissoziiert (räumlich / zeitlich)
- Beispiele
 - Anzahl der Elemente E
 - Anzahl der Verbindungen C
 - Anzahl der Anweisungen um das System zu erzeugen N_S
 - Anzahl der Anweisungen um das System zu kontrollieren N_C
 - Rechenzeit für die Optimierung T_C
 - Informationsbedarf zur Vorhersage des nächsten Ereignisses I
 - Aggregierte Maße C/E , N_S/E , ...

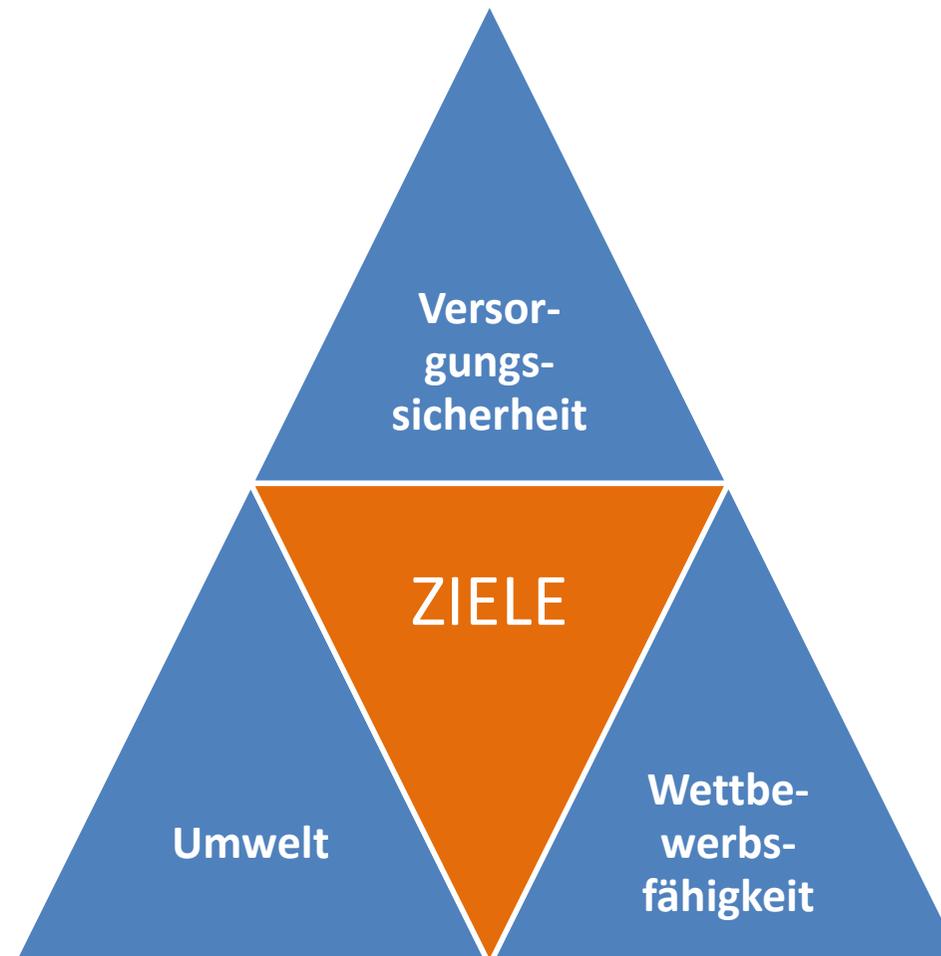


Thorsten Zoerner (Youtube). Data from ENTSO-E. .
http://www.youtube.com/watch?v=edVR-lk_-pc



Wiederholung II: Steigende Ansprüche

- Traditionell: Zieldreieck der Energiewirtschaft

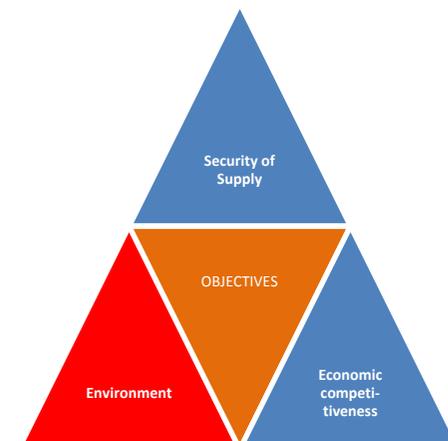




Ansprüche an System wachsen

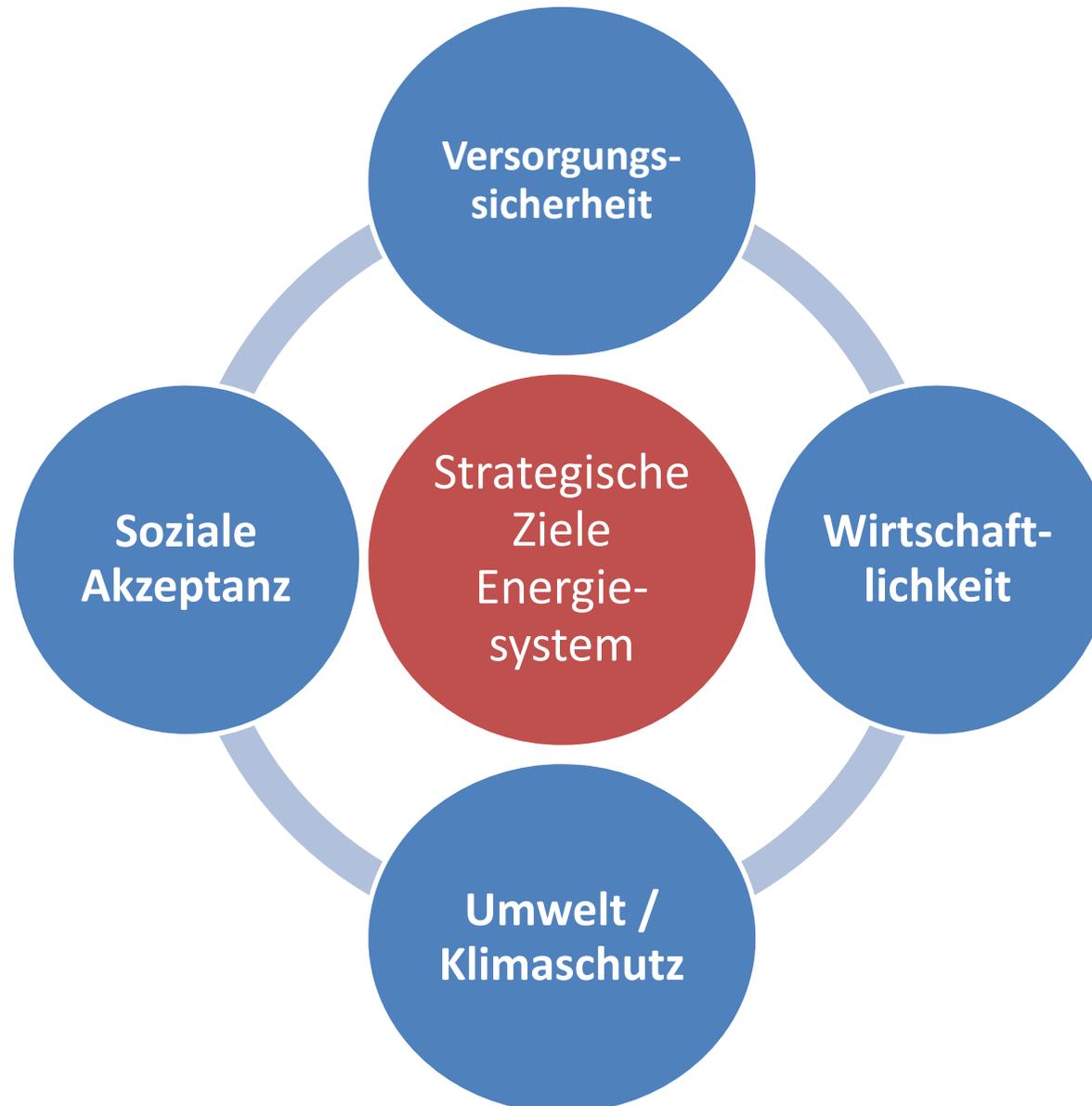
- **Umweltansprüche** wachsen an Wichtigkeit
 - 70er und 80er: Versauerung und Eutrophierung
 - 90er Klimaschutz
- **Neue Ansprüche** wachsen (außerhalb des Dreiecks):
 - Soziale Akzeptanz von großskaligen Infrastrukturen
 - Partizipative Entscheidungsfindung
 - Soziale Gerechtigkeit: Energiearmut

→ Die Balance im Dreieck ist gefährdet





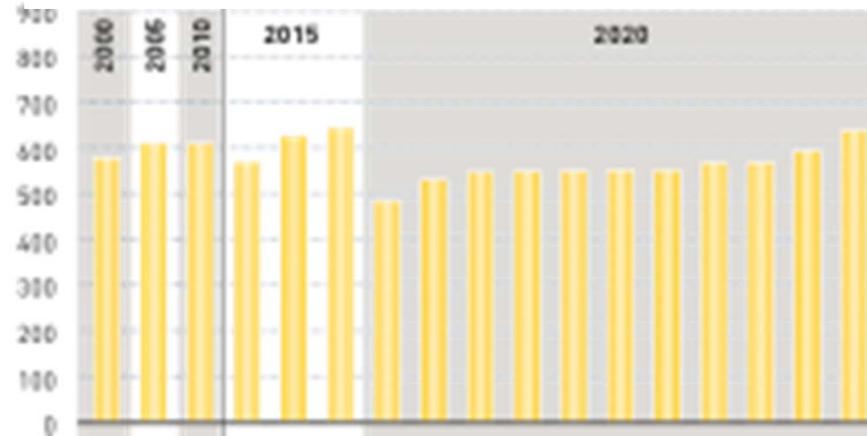
Zielviereck?





Wiederh. III: Energieplanung + „tiefe“ Unsicherheiten

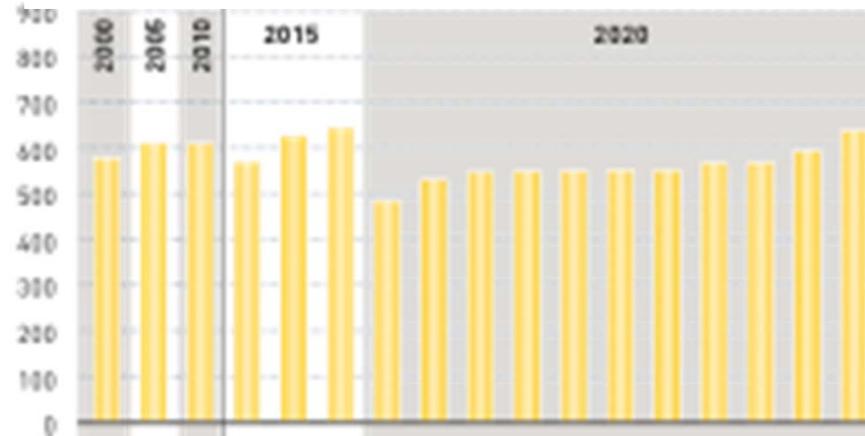
1 Sozio-ökonomisch, z.B. Energiebedarf





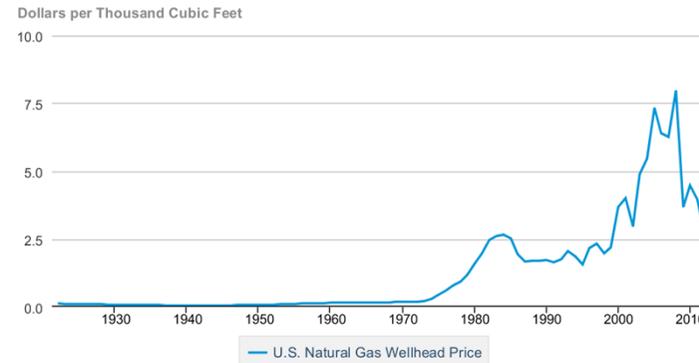
Wiederh. III: Energieplanung + „tiefe“ Unsicherheiten

1 Sozio-ökonomisch, z.B. Energiebedarf



Ökonomisch, z.B. Gaspreise

U.S. Natural Gas Wellhead Price





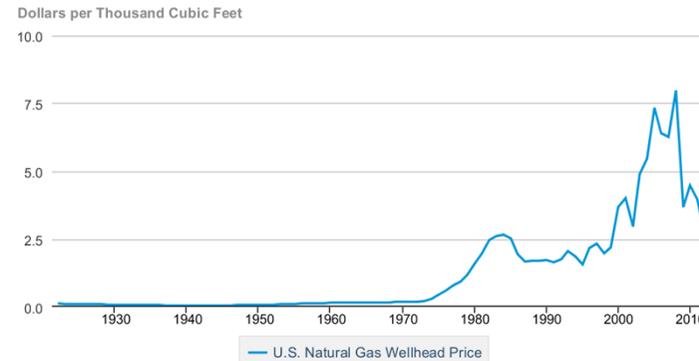
Wiederh. III: Energieplanung + „tiefe“ Unsicherheiten

1 Sozio-ökonomisch, z.B. Energiebedarf

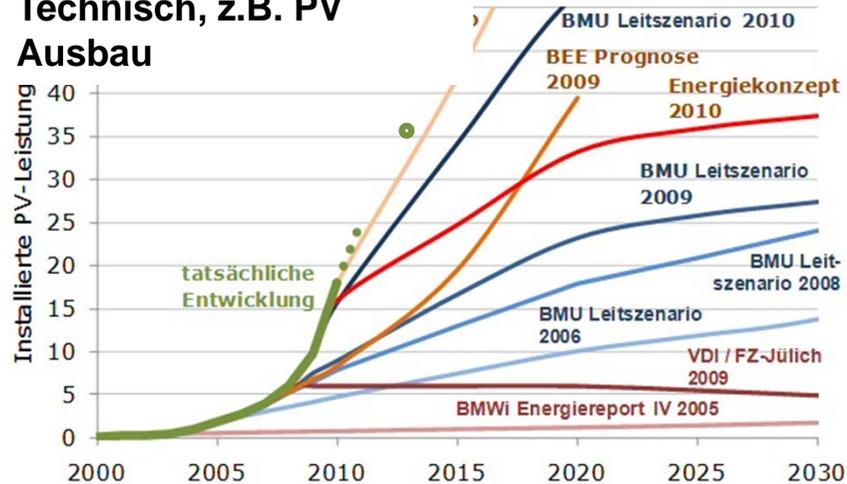


Ökonomisch, z.B. Gaspreise

U.S. Natural Gas Wellhead Price



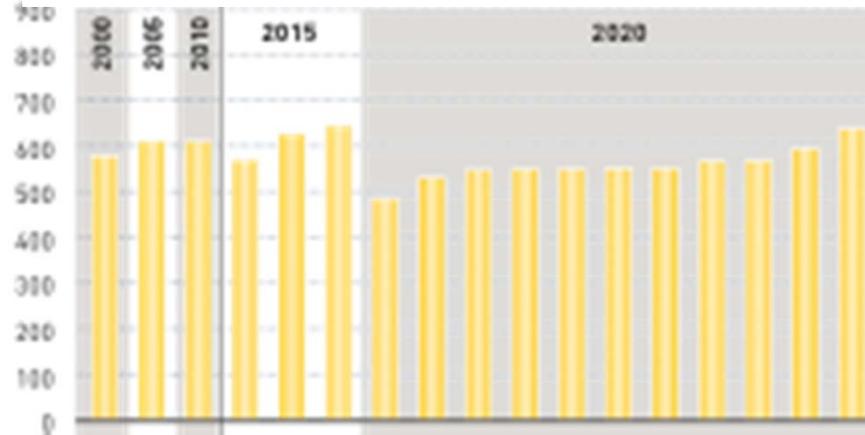
Technisch, z.B. PV Ausbau





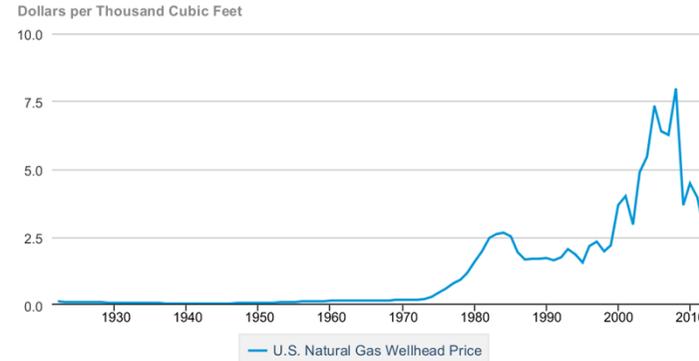
Wiederh. III: Energieplanung + „tiefe“ Unsicherheiten

1 Sozio-ökonomisch, z.B. Energiebedarf

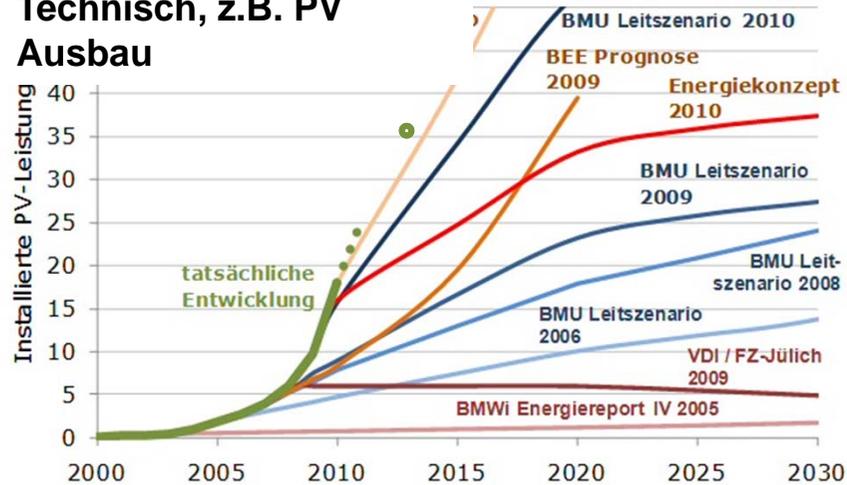


Ökonomisch, z.B. Gaspreise

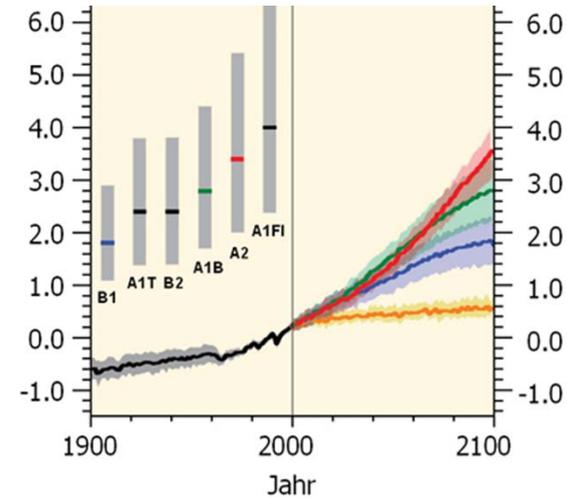
U.S. Natural Gas Wellhead Price



Technisch, z.B. PV Ausbau



Ökologisch, z.B. Klimawandel

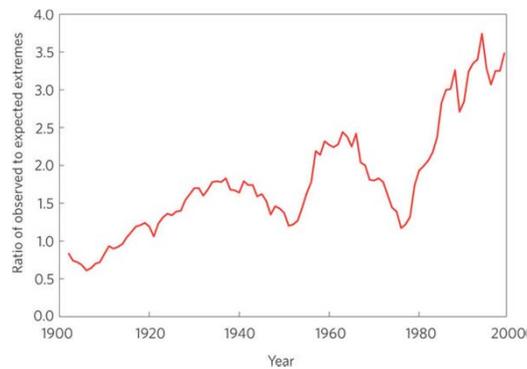


Quellen: www.energie-studien.de; EIA, V. Quaschnig, Sonne Wind & Wärme 03/2011; IPCC 2007

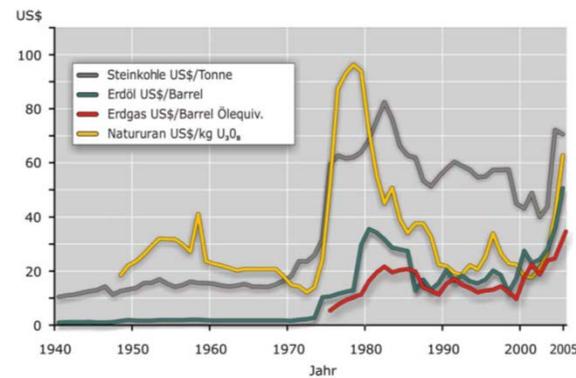


Energieplanung und tiefe Unsicherheiten

- **Weitere Unsicherheiten** mit zunehmender Tendenz
 - Verfügbarkeit von kritischen Rohstoffen
 - Weitere fossile Rohstoffpreise
 - Geo-politische Verwerfungen
 - Extremwetterereignisse



Rahmstorff 2014

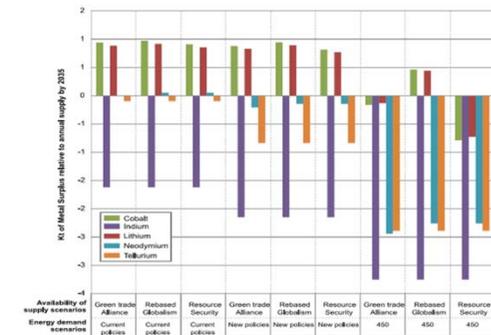


BGR 2007



Wikipedia 2014

Dawkins et al 2012





Umgang mit Unsicherheiten

- Erinnern Sie sich an die **Stressoren und Schwachstellen** aus der Vulnerabilitätsanalyse!
- Viele der Stressoren sind nicht mit Eintrittswahrscheinlichkeiten zu beschreiben.
- Für viele Stressoren ist das Ausmaß nicht bekannt.

→ „tiefe“ Unsicherheit

- Unsicherheiten über Ausmaß + Wahrscheinlichkeiten irreduzierbar → Risikoanalyse unmöglich!
- Gefragt: Umgang mit „**Schwarzen Schwänen**“?



[Technik, Energie und Nachhaltigkeit]

Verwundbarkeit und Resilienz von Energiesystemen • Episode 2 • Prof. Dr. Stefan Gößling-Reisemann

Umgang mit Unsicherheiten

Welche Prinzipien für Systemgestaltung unter tiefen Unsicherheiten?



Energiewende als Chance oder Risiko?

- Energieinfrastruktur befindet sich in tiefgreifendem Wandel
- **Chancen z.B.**
 - Integration EE durch Kopplung Gas/Wärme/Stromnetze
 - IKT zur Steuerung und Lastmanagement erhöht Effizienz
 - Neue Eigentumsmodelle (E-Mobilität/Batterien, Bürgerenergie, ...)
 - Erhöhte Transparenz und Schaffung gezielter Effizienzreize
- **Risiken z.B.**
 - Kopplung IKT/Strom öffnet neue „Einfallstore“ für Gefahren
 - Ungerechte Verteilung der Lasten
 - Ökonomische Gefährdung sensibler Branchen/Unternehmen
 - Reboundeffekte



Zielgrößen nachhaltiger Energiesysteme

- Gesteigerte Anforderungen an das Energiesystem der Zukunft beinhalten Versorgungssicherheit unter tiefen Unsicherheiten → erweiterte Versorgungssicherheit.
- **Zentrale Anforderungen** an ein nachhaltiges zukünftiges Energiesystem sind daher:
 - Klima-/Umweltverträglichkeit → **Erneuerbar**
 - Bezahlbarkeit → **Effizienz**
 - erweiterte Versorgungssicherheit → **Resilienz**
- Ggf. weitere Anforderungen: soziale Gerechtigkeit und Partizipation



Definition von Resilienz für sozio-technische Systeme

Resilienz beschreibt die Fähigkeit eines Systems, seine Dienstleistungen auch unter Stress und in turbulenten Umgebungen aufrecht erhalten zu können.

Besondere Herausforderung: Entwicklung ohne die Anpassungsfähigkeit zu verlieren → vermeiden von Pfadabhängigkeiten und „Lock-Ins“



Gestaltungsprinzipien eines resilienten Systems

- Resilienz heißt:
 - Vorbereitet sein auf erwartbare und unerwartete Herausforderungen
 - Vorbereitet sein auf schleichende und abrupte Veränderungen

Herausforderungen	Bekannt	unbekannt
langsam/ schleichend	Anpassungs- fähigkeit	Innovations- fähigkeit
schnell/abrupt	Widerstands- fähigkeit	Improvisations- fähigkeit

Quelle: Gößling-Reisemann et al 2013

- Resilienz als Gestaltungsleitbild zur
 - **Ableitung von Systemarchitektur**
 - **Reduktion von Wissensanforderungen**



Gestaltungsprinzipien eines resilienten Systems

- Dafür nötige Systemstrukturen

Vielfalt / Diversität

Räumliche Verteilung

Modularität / Redundanz

Rückkopplungsmechanismen

Flexible / optionale Kopplungen

Puffer und Speicher

(Unverplanter) Ressourcenzugriff

...



Frage

Welches ist ihrer Meinung nach die „einfachste“ Maßnahme zur Resilienzsteigerung?





[Technik, Energie und Nachhaltigkeit]

Verwundbarkeit und Resilienz von Energiesystemen • Episode 2 • Prof. Dr. Stefan Gößling-Reisemann

Resilienzstrategie I

„Einfachste“ resiliente Lösung:

Verbrauch senken!



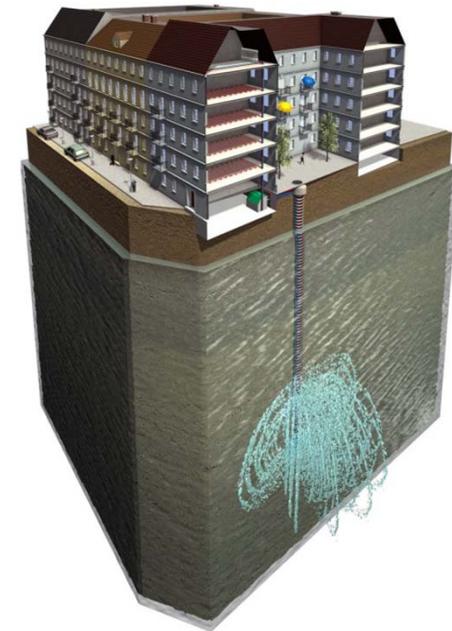
Resilienzstrategie II : Optionen (Auswahl)

- **Ausbau Erneuerbare Energien und Diversifizierung**
 - Stadt-Umland: Wind, Biomasse
 - Photovoltaikpotenziale fördern
 - Abfall- und Reststoffe sowie Umweltenergie stärker nutzen
- **Ausbau dezentrale KWK, Nahwärme, Fernwärme**
 - Flexible Konzepte auf Quartiersebene
 - Berücksichtigung der Flexibilitätsoptionen Wärmepumpen, Power-to-Heat, (Power-to-Gas)
 - Nutzung von Abwärme/Fernwärme für Kühlung
- **Einbindung Speicher** auf unterschiedlichen Skalen
 - Batteriespeicher in Haushalten, Ortsnetzebene
 - Gasnetz, Fernwärmenetz, geothermische Speicher
 - Kavernenspeicher für Power-to-Gas
- **Vernetzte zelluläre Strukturen** auf Ortsnetzebene
 - Intelligenter Ausgleich von heterogenen Erzeugern und Verbrauchern
 - Kooperationen EVU (Dienstleistung, Netz) und „Bürgerenergie“
 - Subsidiaritätsprinzip verwirklichen



Beispiele für resiliente Infrastrukturen

- **Alternative Kühl- und Heizkonzepte**
 - Bsp: geothermal Kühlung eines Rechenzentrums in einem Wohngebiet
→ Wärmespeicherung im Erdreich → Nutzung im Nahwärmenetz
- **Selbstversorgung und Speicher auf Ortsnetzebene**
 - Bsp: Versorgung auf Quartiersebene - Gemeinsame Nutzung von PV, Wärme/Kälte- und Stromspeichern auf Ebene Straßenzüge/ Blöcken



Geo En 2014



Bilfinger Mauell GmbH



Zielkonflikte bei der Entwicklung von Resilienz

- Kritische **Probleme**
 - Notwendige Menge und Kombinationen von resilienten Strukturelementen noch unklar
 - Zusätzliche Kosten müssen begründbar sein (ökonomisch und wissenschaftlich)
 - Teils nicht auflösbare **Widersprüche**
 - Resilienz verlangt z.B. ein Mindestmaß an
Redundanz + (technologische) Diversität + Dezentralität
 - was (ökonomische) Effizienz verringert
- Mindestanforderungen (Leitplanken) für Zielgrößen festlegen und Synergien identifizieren



Fazit

- Energiesysteme stehen unter enormen **Veränderungsdruck**.
- **Unsicherheit und Komplexität** steigen zusätzlich.
- „Predict and control“ Strategien müssen ersetzt werden durch **flexible und anpassungsfähige** Lösungen.
- Infrastrukturen müssen **offen und veränderbar** sein, möglichst **geringe Pfadabhängigkeiten** erzeugen und gleichzeitig **robust** sein.
- Zu bevorzugen sind: **dezentrale, modulare Lösungen** die flexible Kopplungen zulassen und auf **vorhandenen Strukturen** und natürlichen Gegebenheiten aufbauen.



Aufgaben für das Selbststudium

1. Versuchen Sie die Resilienzprinzipien auf die Wärme- und/oder Gasversorgung anzuwenden. Welche Maßnahmen zur Resilienzsteigerung fallen Ihnen ein?
2. Sammeln Sie Systemkomponenten, die ein Energiesystem robust gegenüber Extremwetterereignissen machen!
3. Welche organisatorischen und sozialen Komponenten machen ein Energiesystem resilient? Wie kommt insbesondere Innovationsfähigkeit und Improvisationsfähigkeit zustande?



Literatur und weiterführende Quellen

- Gößling-Reisemann, S.; Gleich, A. von; Stührmann, S.; Wachsmuth, J. (2013a): Climate change and structural vulnerability of a metropolitan energy supply system – the case of Bremen-Oldenburg in Northwest Germany. *Journal of Industrial Ecology* (DOI: 10.1111/jiec.12061).
- Gößling-Reisemann, S., Stührmann, S., Wachsmuth, J., & Gleich, A. von (2013b). Vulnerabilität und Resilienz von Energiesystemen. In J. Radtke & B. Hennig (Eds.), *Energiewende - Beiträge der Wissenschaft*. Metropolis-Verlag.
- Maruyama, H., Legaspi, R., Minami, K., & Yamagata, Y. (2014, March). General resilience: Taxonomy and strategies. In *Green Energy for Sustainable Development (ICUE), 2014 International Conference and Utility Exhibition on*(pp. 1-8). IEEE.
- M. Chaudry, P. Ekins, K. Ramachandran, A. Shakoor, J. Skea, G. Strbac, X. Wang, J. Whitaker (2011): Building a Resilient UK Energy System
- K. Thoma (Hg) (2014): „Resilience-by-Design“: Strategie für die technologischen Zukunftsthemen. acatech Studie