



Klimawandel und Vulnerabilität der Energieversorgungssysteme im Nordwesten Deutschlands – Systematische Analyse unter Unsicherheit

S. Gößling-Reisemann, A. von Gleich, S. Stürmann, P. Woizeschke,
J. Wachsmuth

Universität Bremen

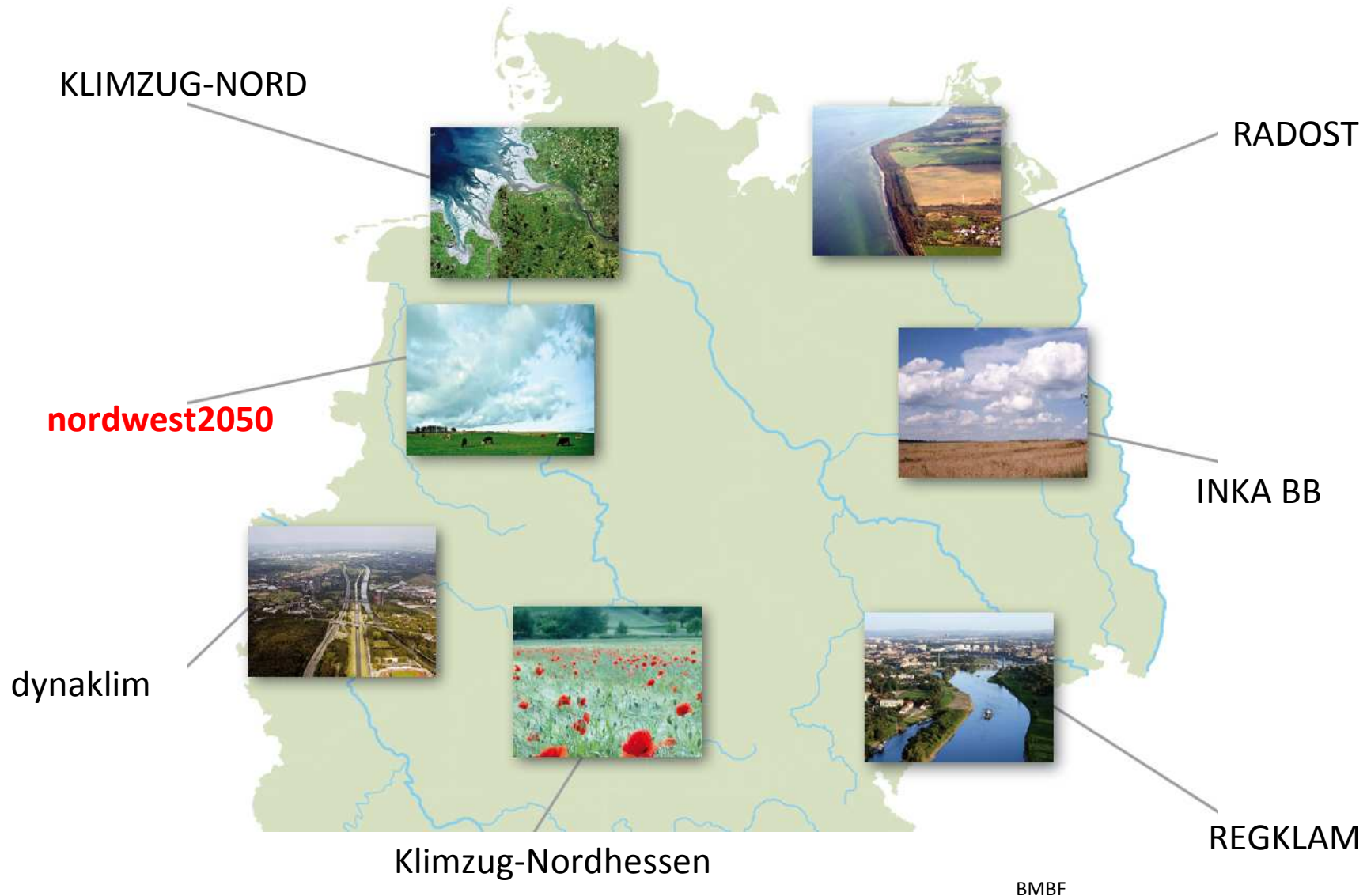
FB Produktionstechnik & artec | Forschungszentrum Nachhaltigkeit

SPONSORED BY THE



7 KLIMZUG Projekte (BMBF)

Klimawandel zukunftsfähig gestalten

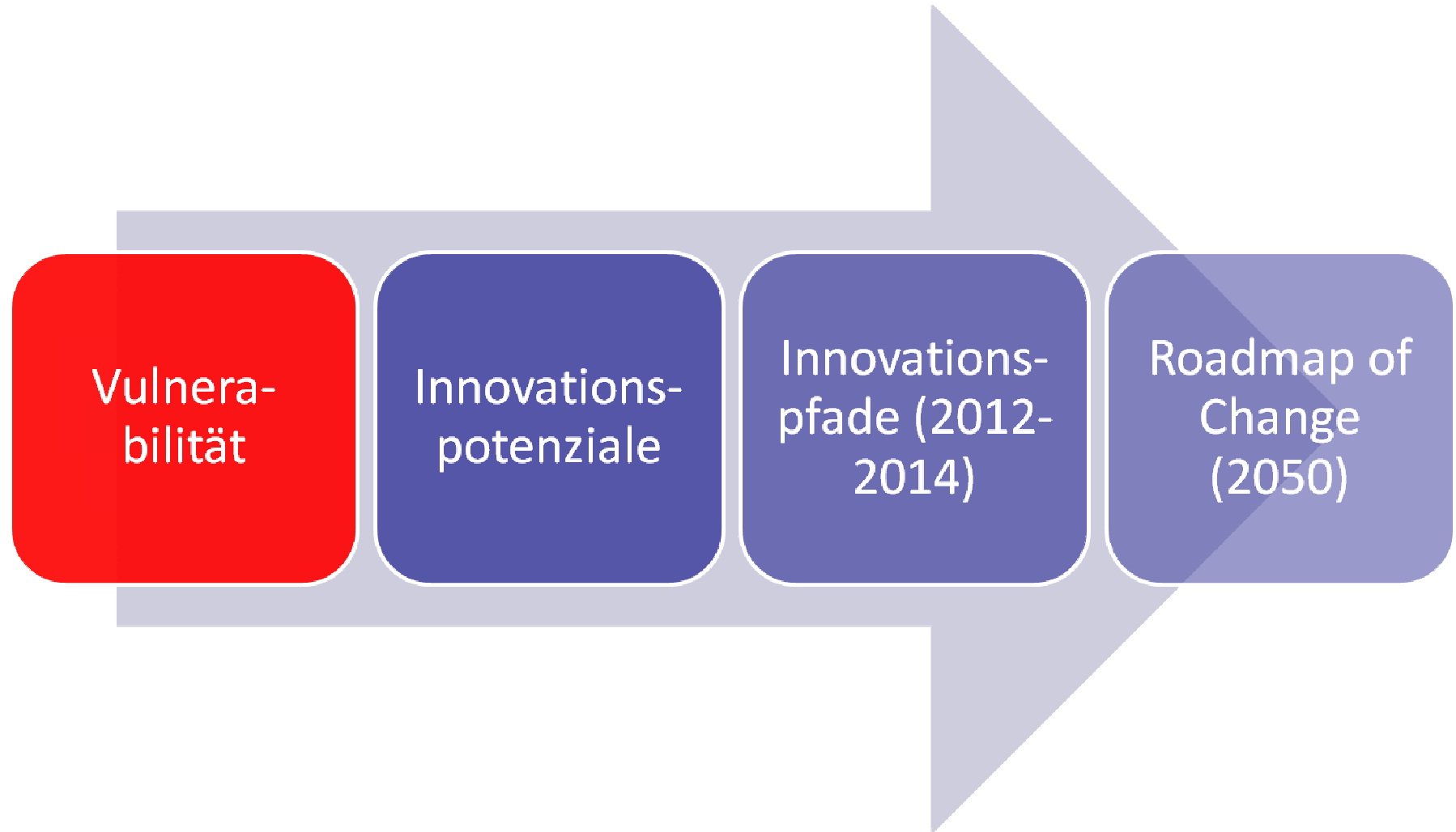


Die vier Hauptphasen in nordwest2050



Für vier Cluster: Energie, Hafen und Logistik, Ernährung und Landwirtschaft, Region

Die vier Hauptphasen des Projekts



- Ursprüngliche Frage: “Wo und wie ist das Energieversorgungssystem durch den Klimawandel verletzlich?”
- Frühe Erkenntnis:
 - Energieversorgung in starkem Wandel begriffen
 - Signifikante politische und regulative Unsicherheiten
 - Mangelnde Wahrnehmung Klimafolgen und Notwendigkeit von Klimaanpassung in Unternehmen
 - Historische Erfahrungen der EVU mit Unsicherheiten: Markt, Verbraucher, Wetter, Großereignisse, etc.

Quellen der Unsicherheit für die Analyse

- Für die Energieversorgung allgemein:
 - Globaler Wandel und geopolitische Veränderungen
 - Wahrnehmung und Bewertung von Klimafolgen heute/morgen
 - Politische Rahmenbedingungen
 - Offene Regulierungsfragen
 - Ökonomische Entwicklung
 - Technologische Entwicklung
 - ...
- Für die Klimafolgenforschung:
 - Emissionsszenarien
 - Modellunterschiede (Dynamisch vs. Statistisch, Gitter, Parameter, ...)
 - Modellunsicherheiten
 - Begrenzte Anzahl an Läufen (z.B. unterschiedliche Startbedingungen)
 - Randbedingungen, Initialisierung, Nicht-Linearitäten
 - Insbesondere Lücken bei Extremereignissen
 - Tipping points, „Überraschungen“
 - Unsicherheiten der Wirkmodelle (verstärkend?)
 - ...

Reformulierung der Vulnerabilitäts-Frage!

- Ursprünglich: „Wie und wo ist die Energieversorgung in 2050 vom Klimawandel betroffen?“

zu

- „Wie wäre die Energieversorgung betroffen, wenn der Klimawandel heute käme?“

zu

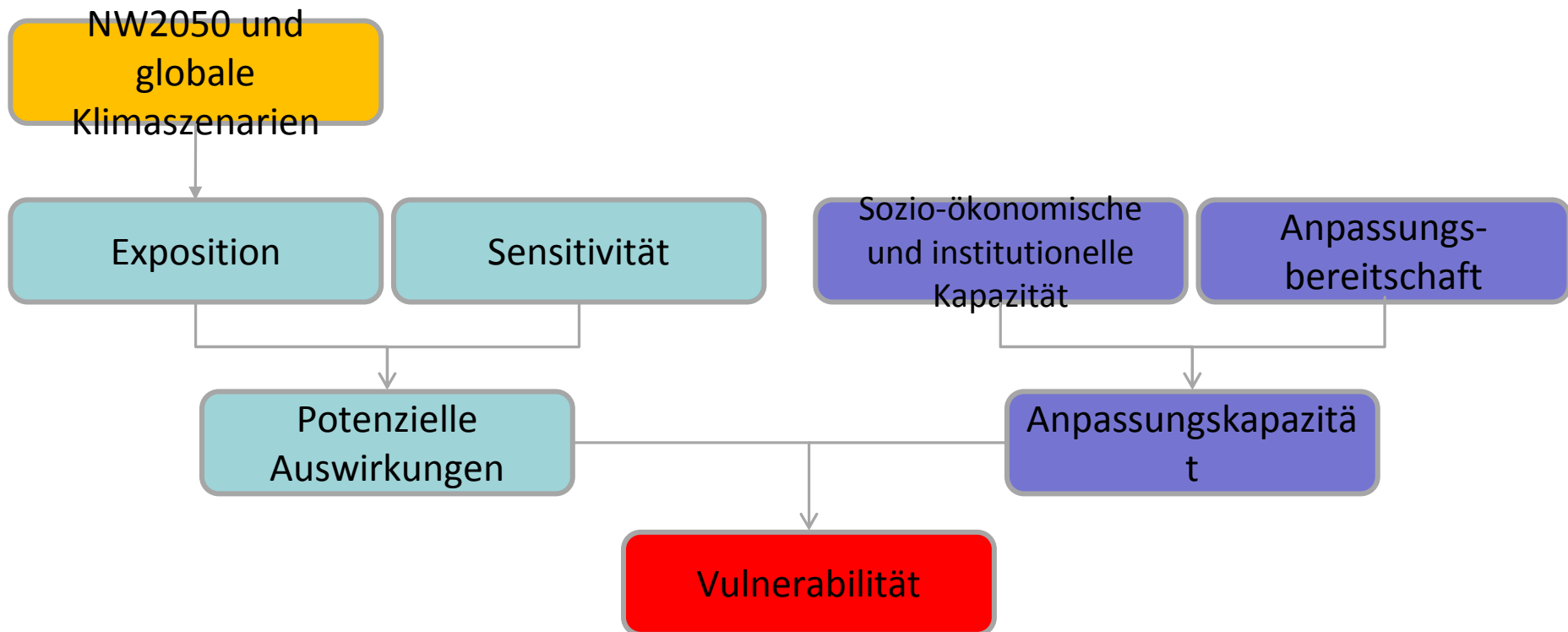
- **„Wie gehen die Akteure der Energieversorgung mit heutigen Unsicherheiten und Störungen um und welche werden durch den Klimawandel verstärkt?“**

- Fokus auf Klimawandel und seine Folgen wichtig, aber nicht ausreichend:
 - Ereignis/Klimawandel bezogene Vulnerabilität (EVA)
 - Strukturelle Vulnerabilität (SVA)
- Akteure der Energieversorgung abholen:
 - Bestehender Umgang mit Unsicherheiten
 - Strukturen, Fähigkeiten, Ressourcen (→ resilientes Design)
 - Reichweite der Maßnahmen überprüfen
 - Konfrontation mit “Klimaszenarien”
 - Wo tauchen neue Engpässe, Störungen, etc. auf?
 - Wo werden bestehende verstärkt? Geschwächt?
 - Werden Strukturen, Fähigkeiten, Ressourcen beeinflusst?

Unsere Definition von Vulnerabilität (EVA)

- EVA:

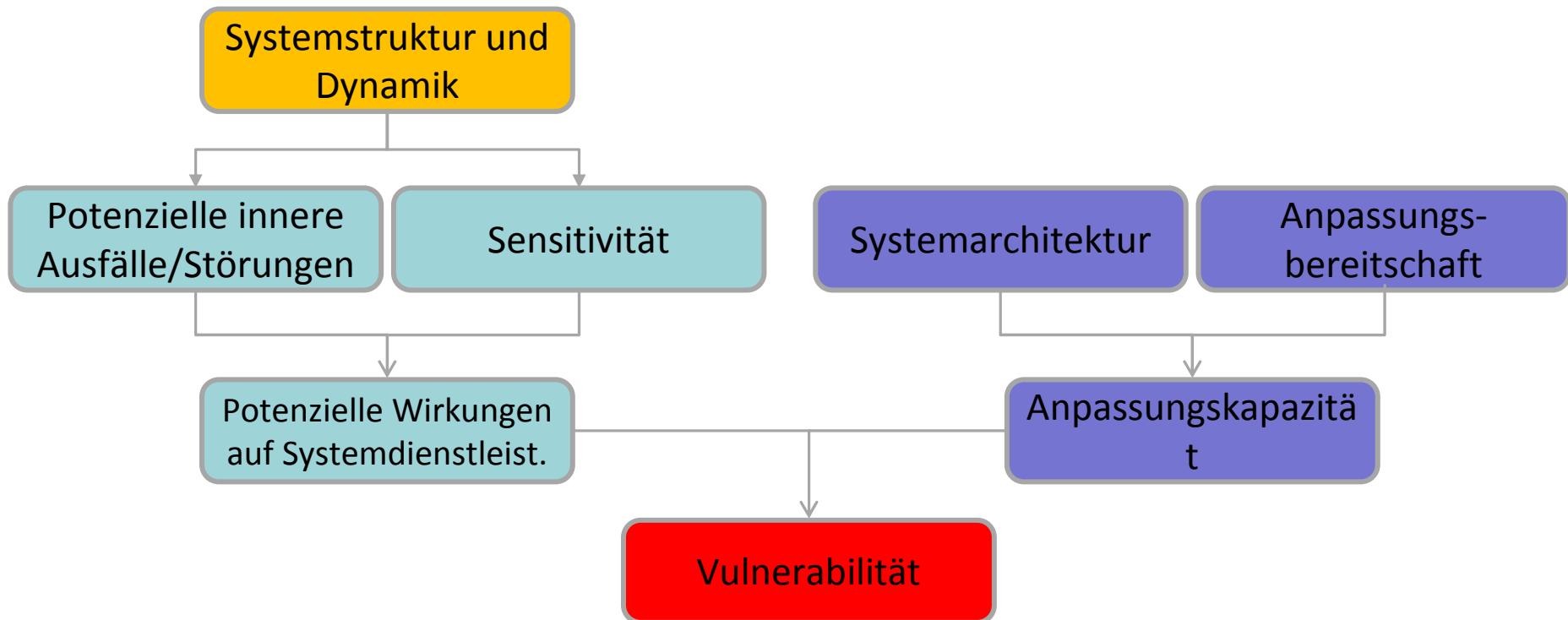
- $V_A = f(\text{Exposition, Sensitivität, Anpassungskapazität})$



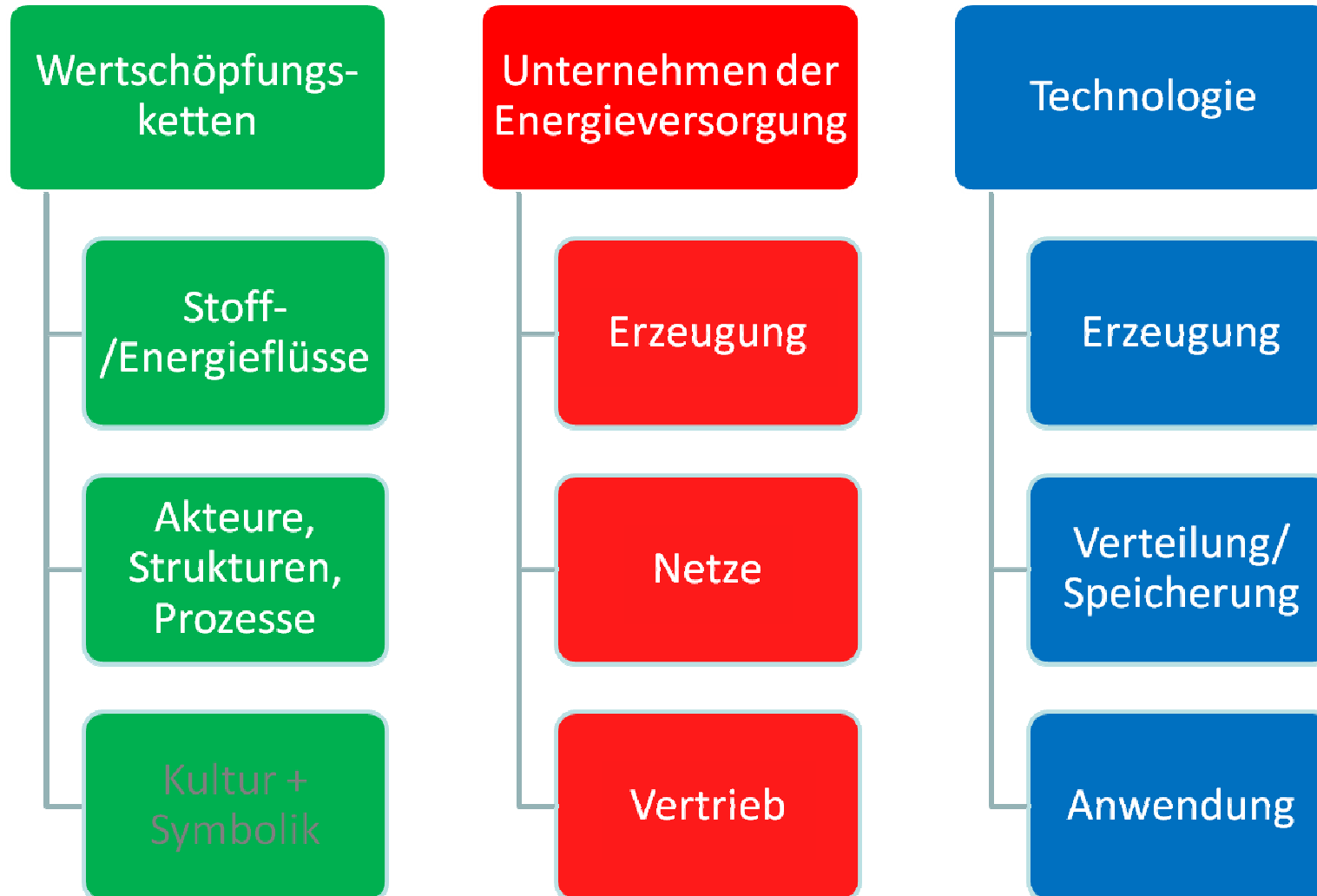
Basierend auf S. Wittig/Bioconsult

Unsere Definition von Vulnerabilität (SVA)

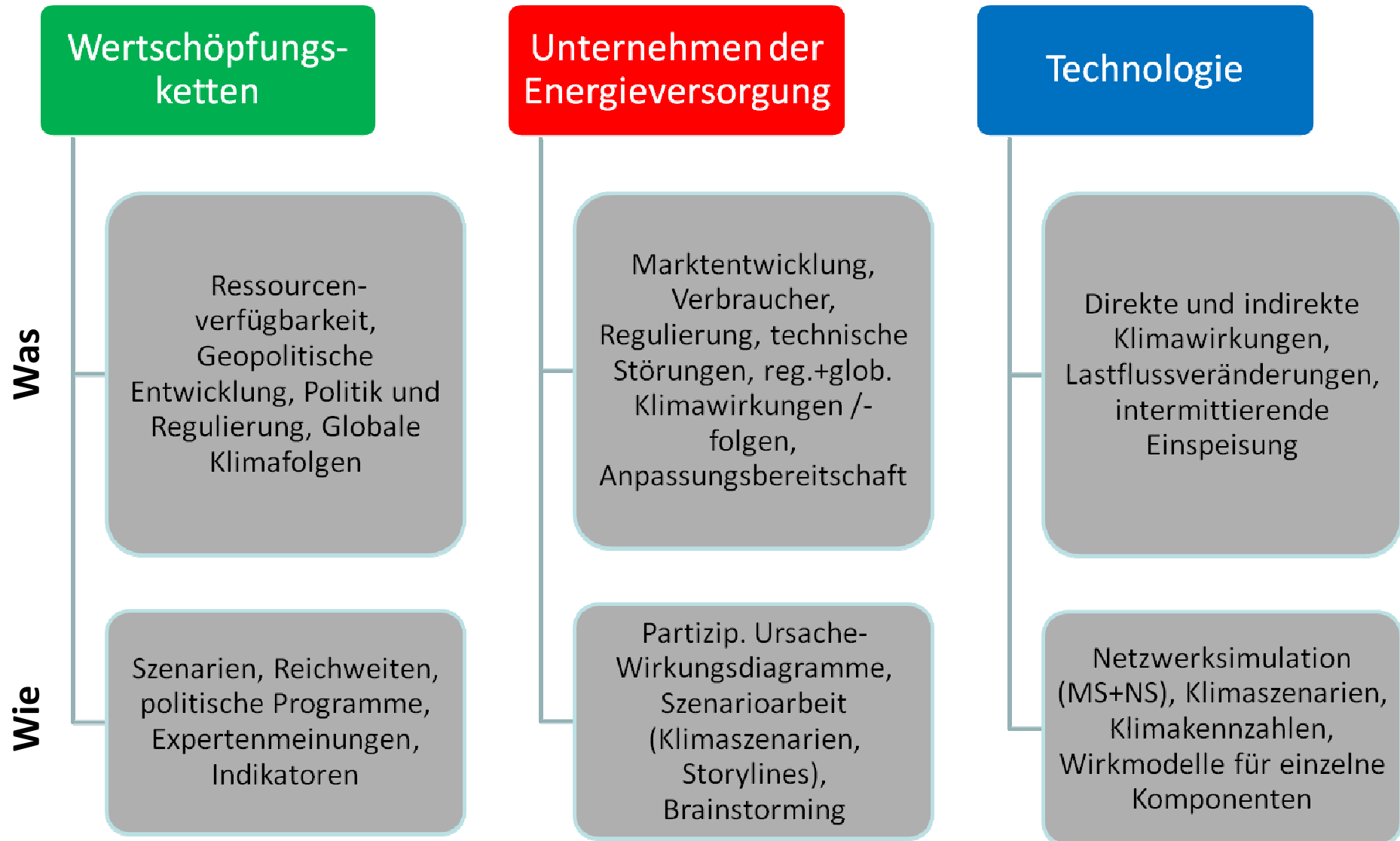
- SVA (mit internen Ausfällen/Störungen):
 - $V_S = f(\text{Sensitivität, Anpassungskapazität})$



Zugang zu verschiedenen Ebenen des Systems



Adressierte Unsicherheiten und Störungen



- **Mittelwerte** verschiedener Modelle mit A1B Emissionsszenario (CLM, REMO, WETTREG und DWD=Referenz)

+

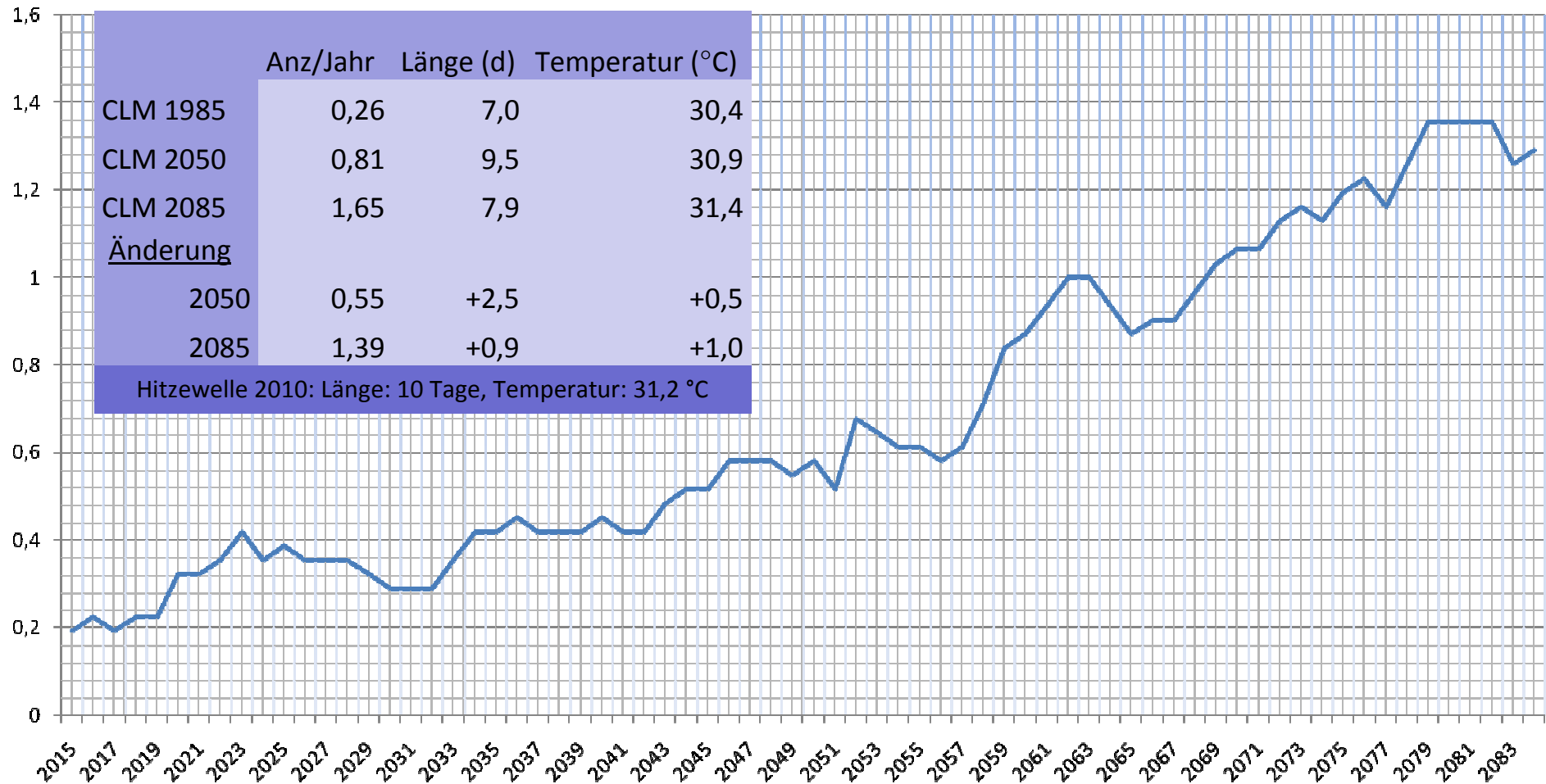
- **Spannbreite** aus verschiedenen Modellen und verschiedenen Szenarien (CLM, REMO, RCAO, A1B, A2, B1, B2)

Exposition: regionale Klimaszenarien (BioConsult)

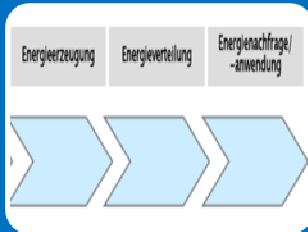
Parameter	2050 Änderung (Spanne)	2050 absolut (Spanne)	2085 Änderung (Spanne)	2085 absolut (Spanne)
Temperatur	+1.5°C (+1 – +2°C)	10.7°C (10.2 – 11.2°C)	+2.8°C (+1.9 – +4.7°C)	12.0°C (11.1 – 13.9°C)
Sommertage	+8.3 (+2 – +9.6)	26.6 (20.3 – 27.9)	+15.9 (+5.6 – +42.6)	34.2 (23.9 – 60.9)
Tropennächte	+1.7 (+0.3 – +1.7)	2 (0.6 – 2)	+4 (+1.3 – +16.7)	4.3 (1.6 – 19)
Frosttage	-22.3 (-33 – 10.8)	34 (23.3 – 45.5)	-32.3 (-39.5 – 12.1)	24 (16.8 – 44.2)
Niederschlag (Sommer)	-3% (-13 – +8%)	200 mm (181 – 225 mm)	-17% (-46 – -9%)	160 mm (112 – 189 mm)
Niederschlag (Winter)	+9% (+9 – +27%)	187 mm (183 – 213 mm)	+25% (+17 – +44%)	225 mm (197 – 242 mm)
Tage mit intensiv. Regen	+1 (0 – +1)	4.1 (3.1 – 4.1)	+1.8 (+1 – +2)	4.8 (4.1 – 5.1)
Sturm- wasserstände	+43 cm (+19 – +111 cm)	n.a.	+90 cm (+53 – +216 cm)	n.a.

Exposition: Hitzewellen (5d>25, davon 3d>30)

Entwicklung des Änderungssignals 2015-2085 (nur CLM, noch keine Spannweiten)

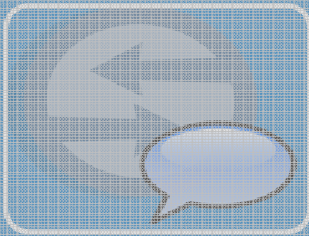


Annäherung an das System ...



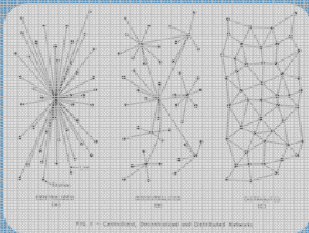
Wertschöpfungskettenanalyse (mit BEI): EVA and SVA

- Halb-quantitative Bewertung
- Von den Ressourcen bis zum Endverbraucher
- Fokus auf leitungsgebundene Energieträger und deren Vorketten



Explorativ und partizipativ: EVA und SVA

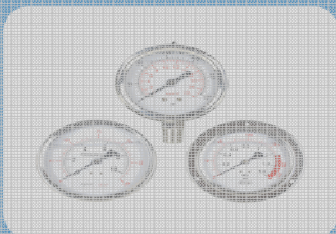
- Workshops zunächst mit Industriepartnern EWE/swb
- Ursache-Wirkungsdiagramme, Szenarioarbeit (globale Storylines)
- Ausgangspunkt: Umgang mit operativen und strategischen Unsicherheiten



Technologische Analyse (mit IEH): hauptsächlich EVA

- Netzstabilitäts-Simulationen
- Netzwerk-Versagens-Modelle
- Topologische Analyse

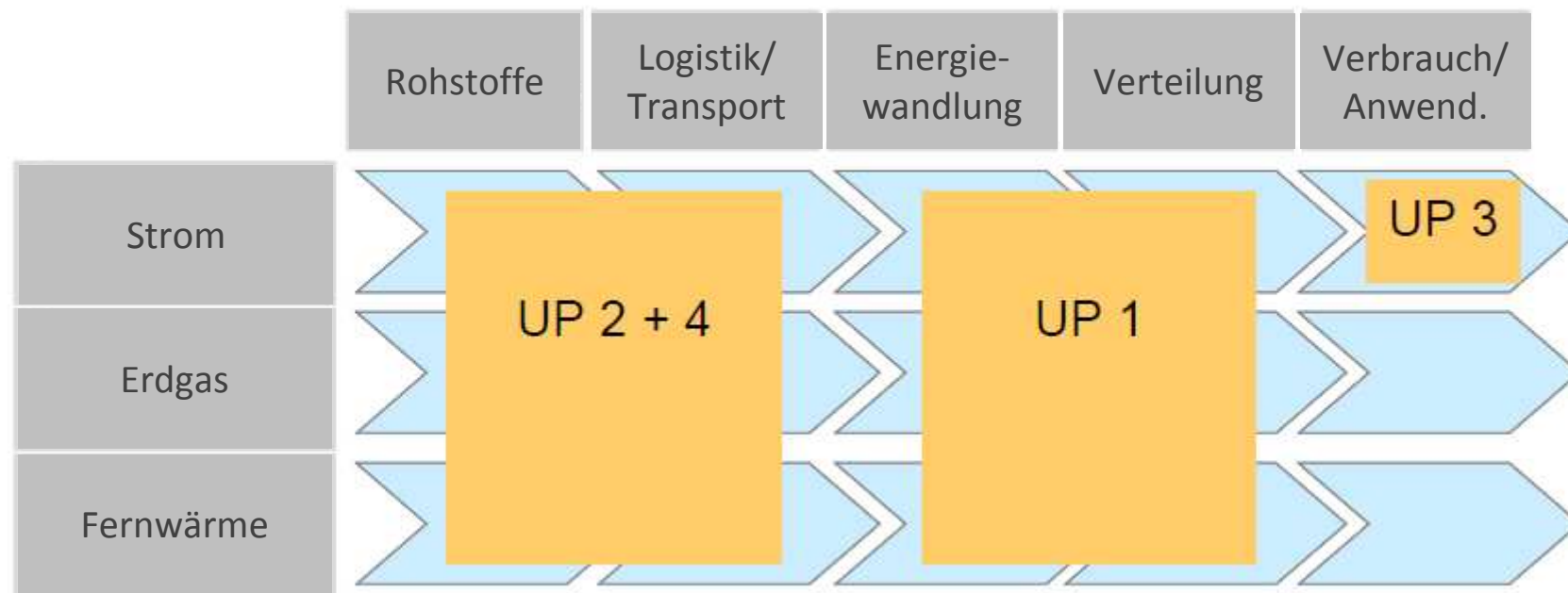
In Arbeit



Aggregierte Indikatoren: hauptsächlich SVA

- Diversität von Ressourcen und Stromerzeugung
- Politische Stabilität der Ressourcenländer
- Energieintensität ...

- 3 Zweige des Energiesektors
- Inklusive der Rohstoffkette und Logistik



VWSKA Beispiel Erdgas (primär): Exposition

	direkt	indirekt
regional	keine wesentlichen Auswirkungen	Temporäre Auswirkungen <ul style="list-style-type: none"> - Veränderte Gasverfügbarkeit / Versorgungsengpässe mit Gas in der MPR HB-OL
global	Temporäre Auswirkungen <ul style="list-style-type: none"> - Eingeschränkte Fördermöglichkeiten / höherer Förderaufwand - Gasverknappung Dauerhafte Auswirkungen <ul style="list-style-type: none"> - Globale Veränderungen des Klimas (bedingen Klimaschutz- und Energieeffizienzpolitik) - Ausbau der Strom- und Wärmeversorgung auf Basis erneuerbarer Energien - Einsatz von Hocheffizienz- und CCS-Technologien im Bereich der fossilen Stromerzeugung - Verschärfung des CO₂-Emissionshandels ab 2013 	Temporäre Auswirkungen <ul style="list-style-type: none"> - Veränderte Gasverfügbarkeit / Versorgungsengpässe mit Gas - Volatile Gaspreise Dauerhafte Auswirkungen <ul style="list-style-type: none"> - Beeinträchtigte Versorgungssicherheit mit Gas - Steigende Gaspreise - Ausbau der Lagerhaltung - Erschließung weiterer Infrastrukturen: Neubau von Pipelines, Bezug von LNG - Diversifizierung des Gasbezugs - Reduzierung des Einsatzes fossiler Primärenergieträger (und damit auch Gas) zur Energieerzeugung

VWSKA Beispiel Erdgas (primär): Sensitivitäten

Klimawandelbedingte Faktoren	Ausprägung	Fristigkeit	Sensitivität
Import von Gas über Pipelines	Mögliche klimawandelbedingte Versorgungsengpässe und veränderte Gasverfügbarkeiten können aufgrund der guten Infrastruktur an Erdgasspeichern in der MPR HB-OL ausgeglichen werden	Kurz-, mittel- langfristig	Gering
Bezug von Gas aus inländischer Förderung	Mögliche klimawandelbedingte Versorgungsengpässe und veränderte Gasverfügbarkeiten können aufgrund der guten Infrastruktur an Erdgasspeichern in der MPR HB-OL ausgeglichen werden	Kurz- bis mittelfristig	Gering

VWSKA Beispiel Erdgas (primär): Sensitivitäten

Strukturelle Faktoren	Ausprägung	Fristigkeit	Sensitivität
Entwicklung des Gasimportbedarfs	<p>Der Gasimportbedarf der MPR HB-OL wird aufgrund der auslaufenden inländischen Gasreserven und der erwarteten Gasnachfrageentwicklung in der MPR HB-OL kurz- bis mittelfristig als steigend erwartet</p> <p>Die weitere Entwicklung des Gasimportbedarfs in der MPR HB-OL hängt u.a. davon ab, in welchem Ausmaß zukünftig Gas für die Verstromung verwendet wird (vgl. Abschnitt 5.2.2)</p>	<p>Kurz- bis mittelfristig</p> <p>Langfristig</p>	<p>Hoch</p> <p>/</p>
Weltweite Entwicklung von Angebot und Nachfrage nach Gas	<p>Globale Gasreserven belaufen sich auf etwa 183 Bio. Kubikmeter, sind jedoch sehr ungleich auf einzelne Länder und Regionen verteilt</p> <p>In Europa, den USA sowie aus Schwellen und Entwicklungsländern wird eine steigende Nachfrage nach Erdgas erwartet</p> <p>Die Gasversorgung Europas ist vergleichsweise gut abgesichert</p> <p>Zu erschließendes Potenzial von unkonventionellem Erdgas wird weltweiten Gasvertrieb voraussichtlich steigern</p>	<p>Kurzfristig</p> <p>Mittelfristig</p>	<p>Gering</p> <p>Mittel</p>

VWSKA Beispiel Erdgas (primär): Anpassungskap.

Option	Beurteilung	Fristigkeit	Anpassungs- kapazität
Teilnahme am europäischen Gashandel	<p>Liberalisierung des Gashandels drückt sich auch in einer Entwicklung vom reinen OTC-Handel hin zum Börsenhandel aus</p> <p>Teilnahme am europäischen Börsenhandel bietet Gasversorgern der MPR HB-OL die Chance, flexible Langfristverträge von Gas mittels Spot- und Terminmarktprodukten kurzfristig zu optimieren und ihre Verhandlungsposition gegenüber Vorlieferanten zu stärken</p>	Kurz-, mittel-, langfristig	Hoch
Import von LNG Gas in die MPR HB-OL	<p>Bezug von LNG bietet die Möglichkeit, die Bezugsquellen von importiertem Erdgas in die MPR HB-OL zu diversifizieren und die Abhängigkeit von festgelegten Fördergebieten, die bei dem Import über Pipelines gegeben ist, zu reduzieren</p> <p>Planungen für den Bau eines LNG-Terminals in Wilhelmshaven wurden 2008 vorerst verschoben</p> <p>In der Nähe der MPR HB-OL befinden sich zwei LNG-Terminals in Eemshaven und Swinemünde im Aufbau</p>	Kurzfristig Mittel- bis langfristig	Gering Hoch

VWSKA Beispiel Erdgas (primär): Vulnerabilität

	Potenzielle Auswirkungen	Anpassungs-kapazität	Vulnerabilität
Klimawandelbezogen	Gering	Mittel	Gering
	Mittel		Mittel
Struktur			

VWSKA Vulnerabilität Energiesektor (BEI)

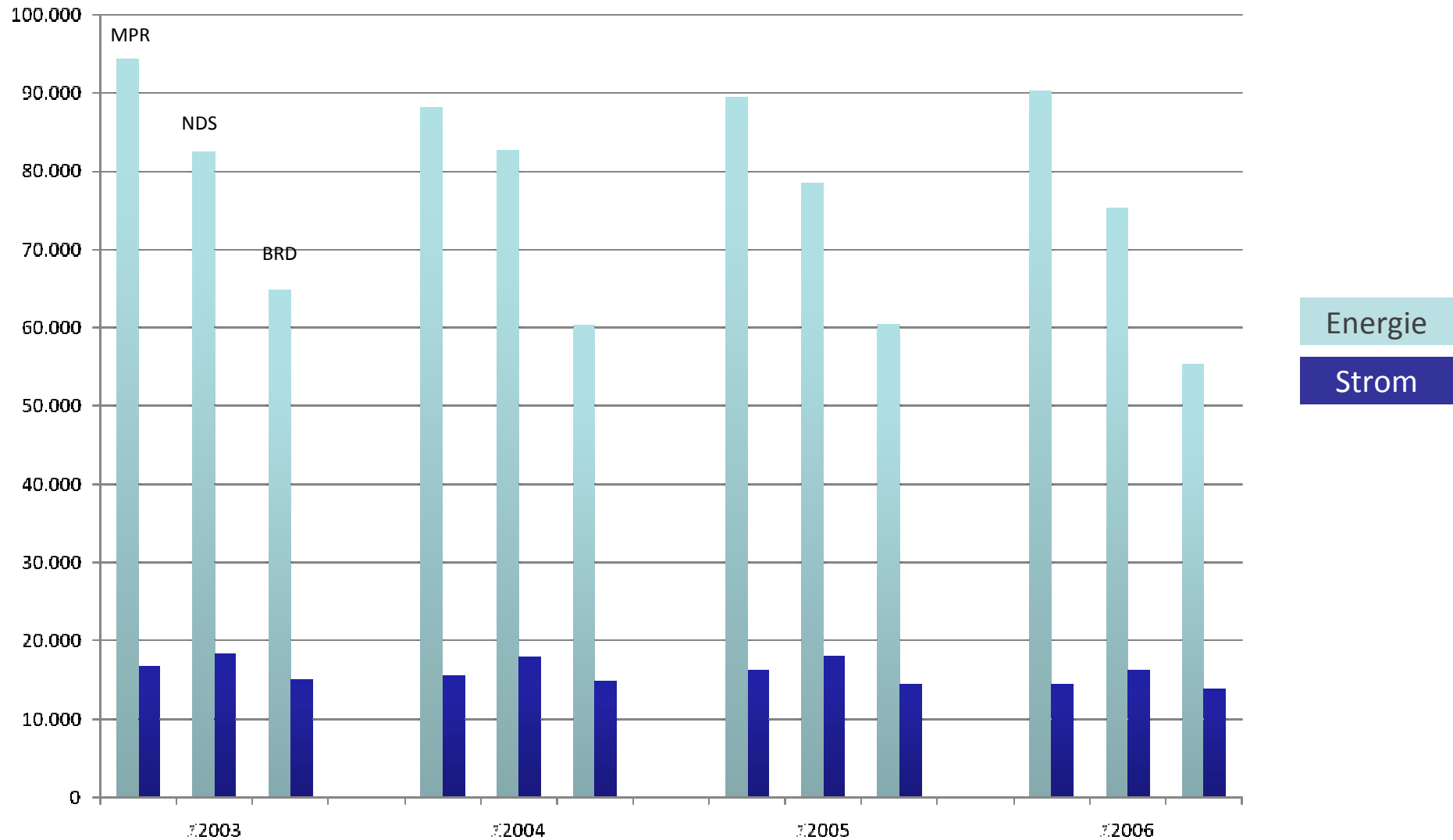
	Primärenergie			Leitungsgebundene Energieverteilung			Anwendungen	
	Kohle	Gas	Bio-masse	Strom	Gas	FW	Kälte	LM
PA Klima	Gering	Gering	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel	Gering	Mittel
PA Struktur	Mittel	Mittel	Hoch	Hoch	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel
AK	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel	Hoch
V Klima	Gering	Gering	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel	Gering	Gering
V Struktur	Mittel	Mittel	Hoch	Hoch	Mittel	Mittel	Mittel	Gering

VWSKA: (Vorläufige) Empfehlungen

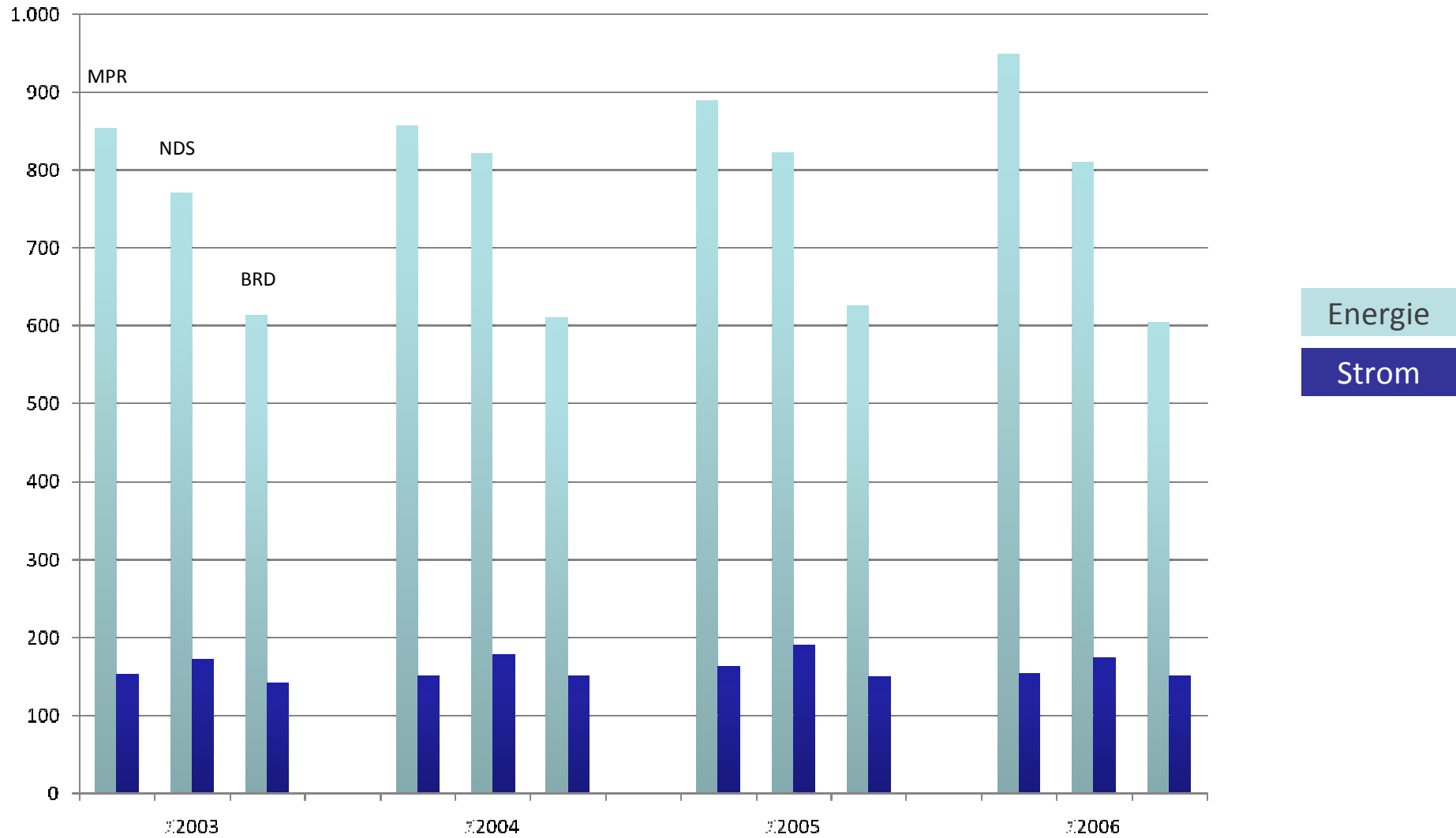
- Sensitivität reduzieren, insbesondere mittels **langfristiger politischer und gesetzlicher Rahmensetzung** (Biomasse und Strom)
- Einführung von **Konfliktmanagement-Werkzeugen** (Biomasse)
- **Ressourcendiversität** erhöhen (Strom, Gas, Wärme, Kälte)
- **Anteil Erneuerbarer** erhöhen (Strom)
- **Speicherkapazität** erhöhen, Netzwerke verstärken, Lastmanagement verbessern (Strom)
- **Wärmequellen und Kälteanwendungen koppeln** (Kälte, Wärme, Lastmanagement)

- Weitere methodische Bausteine: Indikatoren
- Netzwerkmodellierung, Workshops, Expertenbefragung, Storylines, ...

Indikatoren (Beispiel): Energie/Stromverbrauch pro Beschäftigte (MJ/Kopf) (nur Industrie)



Indikatoren (Beispiel): Stromverbrauch/Euro Wertschöpfung (MJ/Kopf) für (nur Industrie)

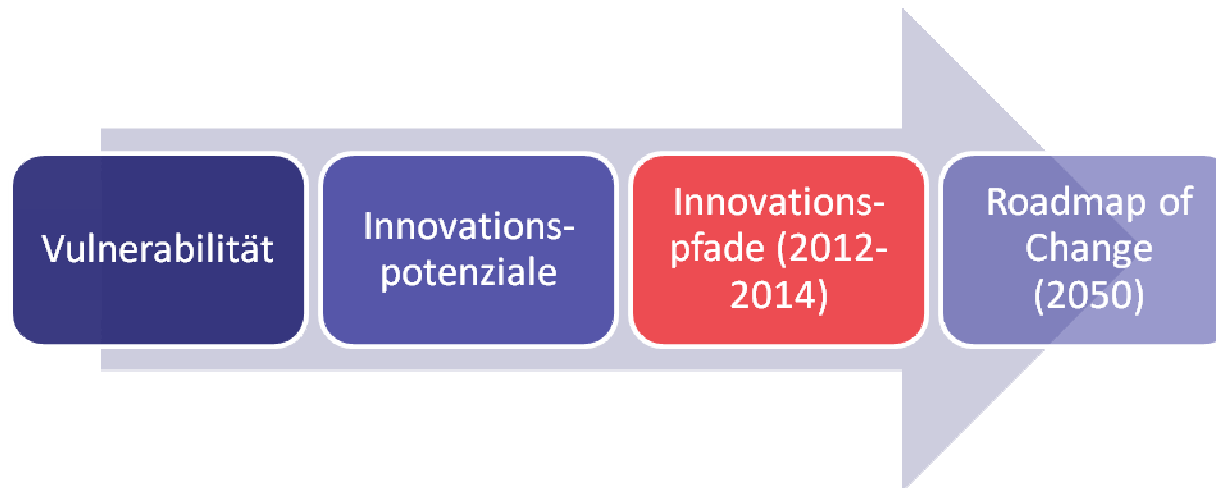


Weitere Indikatoren

Indikator	Beschreibung	Quelle
1) Energieintensität (Wertschöpfung)	Energieverbrauch pro Bruttowertschöpfung, auch sektorweise	[Gnansonou] Anhang
2) Energieintensität (Beschäftigte)	Energieverbrauch pro Beschäftigte, auch sektorweise	Erwähnt in [Kruyt] (ohne Quelle)
3) Stromanteil	Stromverbrauch pro Energieverbrauch, auch sektorweise	Ohne Quelle
4) Diversität des Primärenergieverbrauchs	Shannon-Index der Anteile der einzelnen Kraftstoffe am Gesamtverbrauch	[Kruyt] Anhang A und Referenzen dort
5) Diversität des Stromverbrauchs	Shannon-Index der Anteile der einzelnen Stromquellen am Gesamtverbrauch	[Kruyt] Anhang A und Referenzen dort
6) Importabhängigkeit (Kohle & Erdgas)	Nettoimportanteil am Kohle- und Erdgasverbrauch	Erwähnt in [Kruyt] (ohne Quelle)
7) Diversität der Lieferanten (Kohle & Erdgas)	Shannon- oder Herfindhal-Hirschman-Index der Anteile der einzelnen Lieferanten, u.U. gewichtet nach pol. Stabilität	[Gnansonou] Anhang, [Kruyt] Anhang A und Referenzen dort

- Vulnerabilitätsanalyse (und Innovationspotenzialanalyse) geben Hinweise auf **gerichtete Innovationen** zur Steigerung der Resilienz der Region (**Leitbildfunktion**)

→ siehe Vortrag Arnim von Gleich



Puffer

- Potenzielle Auswirkungen von externen/internen Ereignissen werden charakterisiert über die **Systemdienstleistung**
- Systemdienstleistungen sind **Strukturen, Produkte oder Dienstleistungen**, die
 - direkt (!) vom “Nutzer” verzehrt oder genutzt werden,
 - technischen, ökonomischen oder wohlstandsvermehrenden Nutzen haben, und
 - welche quantitativ (“was”) und qualitativ (“wie”) beschrieben werden können.

Bsp: Systemdienstleistungen für Stromversorgung

Was

Elektrische Energie (nach Vertrag, z.B. bis zu 10kW)

Wie

Direkte Kriterien

- Frequenz 50 +/- 0.2 Hz
- Spannung e.g. 400 V +/- 10%
- Nichtverfügbarkeit (SAIDI), 2007: 5 Minuten (EWE)
- Ortsunabhängig

Indirekte Kriterien

- Ökologische Wirkungen
- CO₂-Fußabdruck
- Radioakt. Abfall
- Landnutzung
- ...
- Ökonomische Wirkungen
- Kosten/Preise
- Wettbewerbsfähigkeit
- ...
- Gesellschaftliche Akzeptanz
- Risiken

Allgemeine Vulnerabilitätsfrage (EVA and SVA):

Wie verändern externe/interne Ereignisse und Veränderungen in der Systemstruktur die Dienstleistungen?

Wie (weit) kann sich das System an diese potenziellen Auswirkungen anpassen?

Exposure: global climate change as “story lines”

- Qualitative description of global climate change
- Relevant for assessing vulnerability of supply chains or value chains
- Helpful for discussing climate change effects with industry partner
- Examples:
 - *Tropical storms destroy refining capacity, which affects short term gasoline prices*
 - *Thawing permafrost soils threatens gas pipelines in Russia*

Example: system services for power supply

- “The power supply system delivers electrical energy to the end consumer with a specified temporal and geographical scope and with frequency, voltage level and other quality criteria within specified bounds”
- System services, especially quality criteria, are subjective and contain normative elements!
- Climate change and other disturbances can affect system services on the quantitative and the qualitative level, directly or indirectly

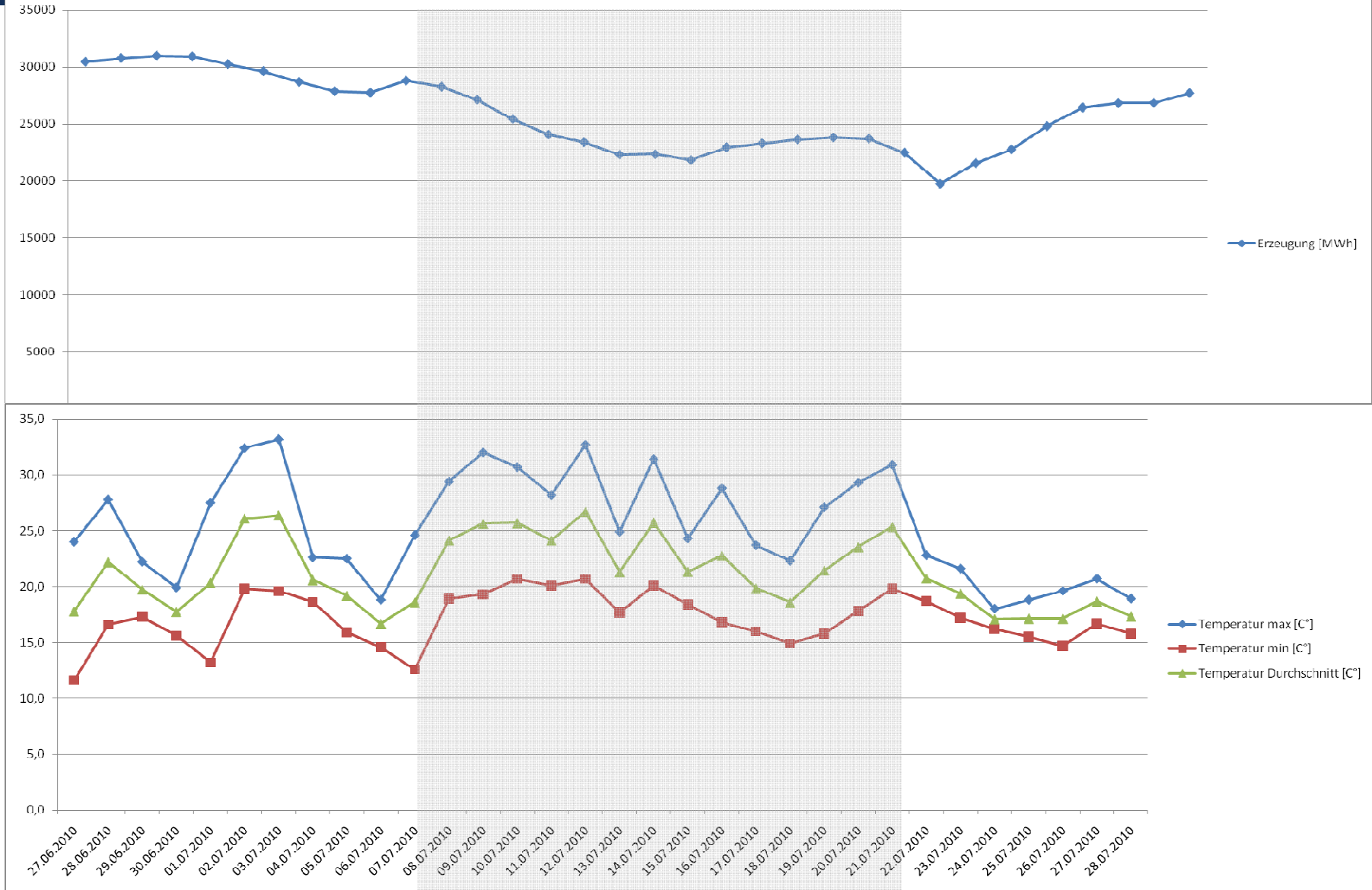
Potential Indicators (excerpt)

Indicator	Input data required	Used in northwest 2050 (on regional scale)	EVA	SVA	Current use in policy making? (based on Kruyt et. al)	Author
<i>Simple Indices</i>						
Resource estimates	Quantity and likelihood of occurrence of fossil resources		x		Qualitatively	misc., seen at: Kruyt et al.
Reserve to production ratios	Resource estimates and production figures (at country or global level)				Qualitatively	misc., seen at: Kruyt et al.
Diversity Index	Shares of fuel in TPES or shares of suppliers in import	Yes		x	No	Sterling, A. (2010)
Variety		Yes		x		
Balance		Yes		x		
Variety/Balance		Yes		x		
Disparity		Yes		x		
Variety/Balance/Disparity		Yes		x		
Market concentration	Shares of producers in the market	?			No	misc., seen at: Kruyt et al.
Import dependence	Import quotes of energy carriers	Yes		x	Yes	misc., seen at: Kruyt et al.
...
	..\..\Projekte\Klimzug\Vulnerabilitaet\Energiecluster-Übersicht-Indikatoren.xlsx					

Impact of heat wave on generation (nuclear)

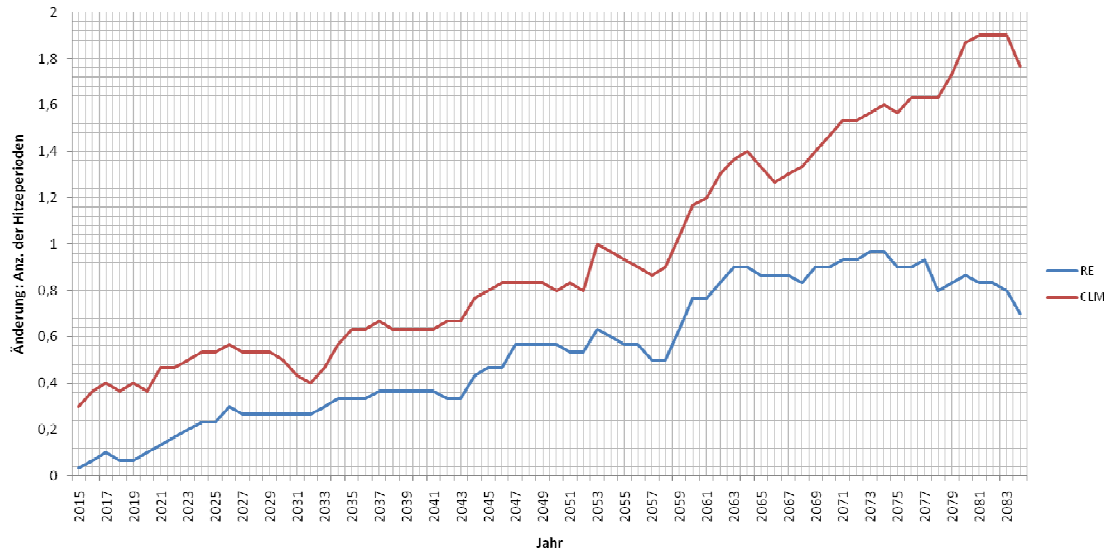
nordv

Erzeugung [MWh]



Changing likelihood of heat waves

Additional heat waves (REMO and CLM)



Time between heat waves (moving 30a avg, no bias correction)

