

Transformationsszenarien für das deutsche Energiesystem

Dr. Tobias Naegler (DLR TT)

Dr. Nora Szarka (DBFZ)

Prof. Dr. Hans-Martin Henning (FhG ISE)

Prof. Dr. Rolf Brendel, Dr. Raphael Niepelt (ISFH)

Dr. Franziska Taubert (UFZ)

Prof. Dr. Manfred Fishedick (WI)

Die Rolle von Szenarien für die Energiewende

(1) Szenarien sind *keine Prognosen*

(2) Szenarien beschreiben *mögliche* zukünftige Entwicklungen eines komplexen Systems unter bestmöglicher Berücksichtigung des Wissens

(3) Sonderfall: normative Szenarien (Zielszenarien)

- beschreiben Wege, wie Ziele erreicht werden können
- analysieren notwendige Maßnahmen
- analysieren weitere Konsequenzen der eingeschlagenen Pfade
- beschreiben nicht den „Königsweg“ zur Energiewende
- Diskussionsgrundlage für die konkrete Ausgestaltung und Steuerung

(4) Energiesystem

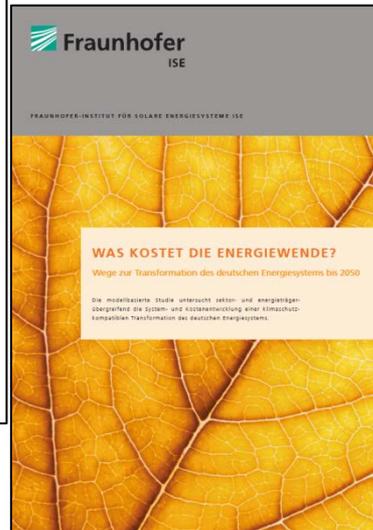
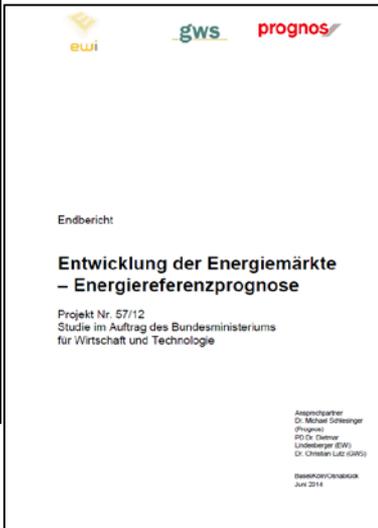
- sozio-technisches System → gesellschaftliche Aspekte der Transformation mit berücksichtigen
- komplexes System → vielfältige Zukünfte denkbar, selbst bei Vorgabe konkreter Ziele

Ausgangsbasis für normative Energieszenarien: Ziele aus Energiekonzept, Zielvorgaben EU

quantitative Ziele im Energiekonzept	2020	2030	2040	2050	Referenzjahr
Reduktion Treibhausgas-Emissionen	40%	55%	70%	80-95%	1990
EE-Anteil am Brutto-Endenergieverbrauch	18%	30%	45%	60%	
EE-Anteil an Brutto-Stromverbrauch	35%	50%	65%	80%	
Reduktion Primärenergieverbrauch	20%			50%	2008
Reduktion Stromverbrauch	10%			25%	2008
Reduktion Endenergieverbrauch Verkehr	10%			40%	2005
Anzahl E-KFZ	1 Mio.	6 Mio.			
Reduktion Primärenergiebedarf Gebäude				80%	
installierte Leistung Wind offshore		15 GW			

COP 21 (2015) und Vorschläge EU-Kommission	2030	Referenzjahr
Reduktion Treibhausgas-Emissionen	40%	1990
ETS-Sektoren	43%	2005
Nicht-ETS-Sektoren, EU-weit	-30%	2005
Nicht-ETS-Sektoren, Vorschlag für Deutschland	-38%	2005

Transformationszenarien für Deutschland



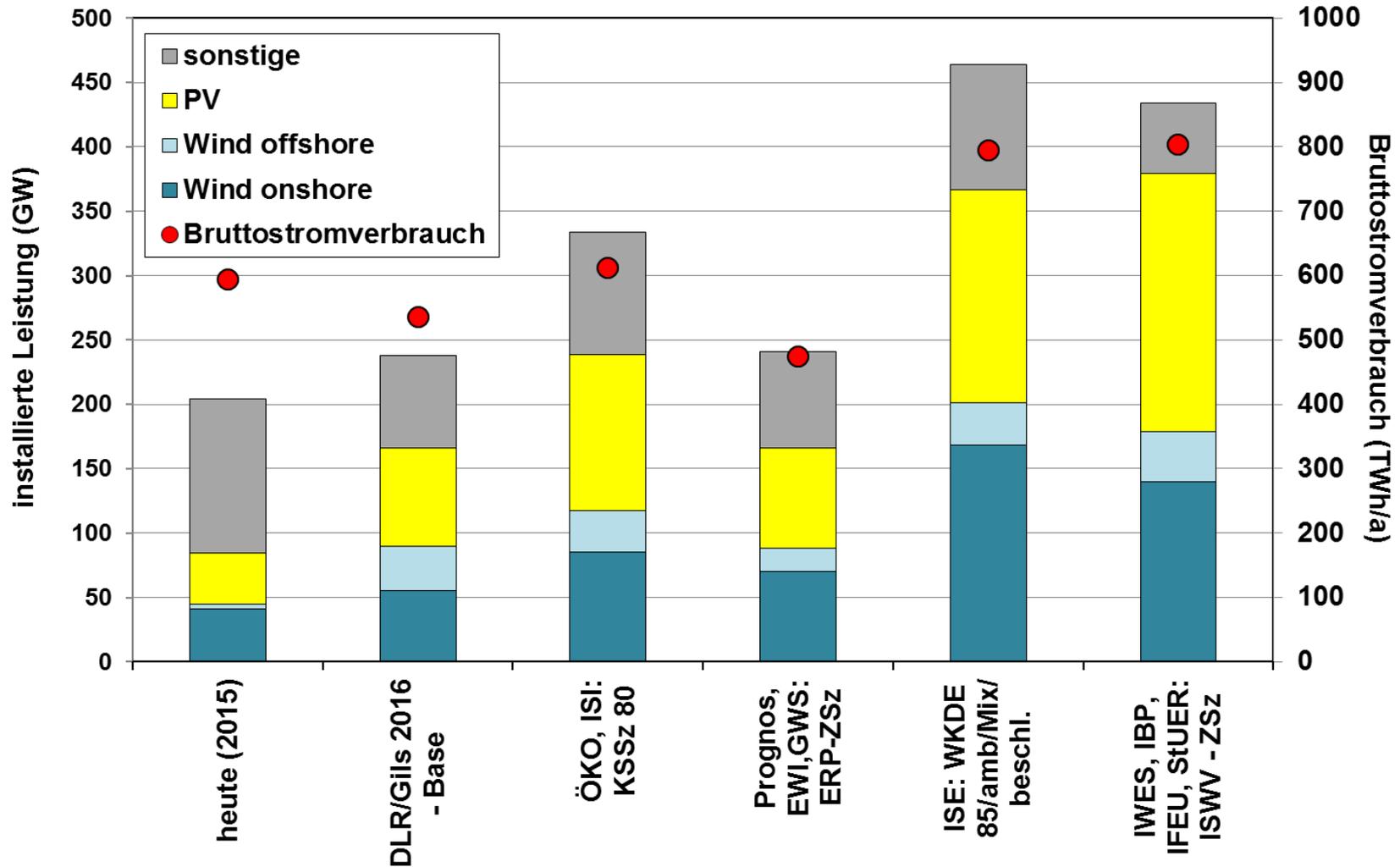
Referenzen:

- DLR, FhG IWES, IfnE: Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global. Im Auftrag des BMUB. 2012.
- Prognos, EW, GWS: Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose. Im Auftrag des BMWi. 2014.
- FhG IWES, FhG IBP, ifeu, StUR: Interaktion EE-Strom, Wärme und Verkehr. Gefördert durch das BMWi. 2015.
- FhG ISE: Was kostet die Energiewende? Wege zur Transformation des deutschen Energiesystems bis 2050. 2015.
- ÖKO-Institut, FhG ISI: Klimaschutzszenario 2050. Studie im Auftrag des BMUB. 2015

Grundlegende Transformationsstrategien zur Zielerreichung – (qualitative) Übereinstimmungen zwischen Szenarien

- Jeder Sektor – Strom, Wärme, Verkehr – leistet signifikanten Beitrag zur Emissionsreduktion
- Effizienzsteigerung in allen Sektoren nötig
- Nutzung erneuerbarer Energien in allen Sektoren, ggf. indirekt über (EE-)Strom
- Sektorkopplung, zunehmende Elektrifizierung Wärme und Verkehr
- Begrenzte Potentiale zur energetischen Nutzung Biomasse
- Neue Antriebskonzepte Mobilität
- Wind Onshore und PV als Stützen der Stromerzeugung
- Flexibilisierung Stromerzeugung und –Verbrauch, Speicher

Transformationsstrategien zur Zielerreichung – Differenzen zwischen Szenarien (Stromsektor)



Transformationsstrategien zur Zielerreichung – Differenzen zwischen Szenarien (Stromsektor)

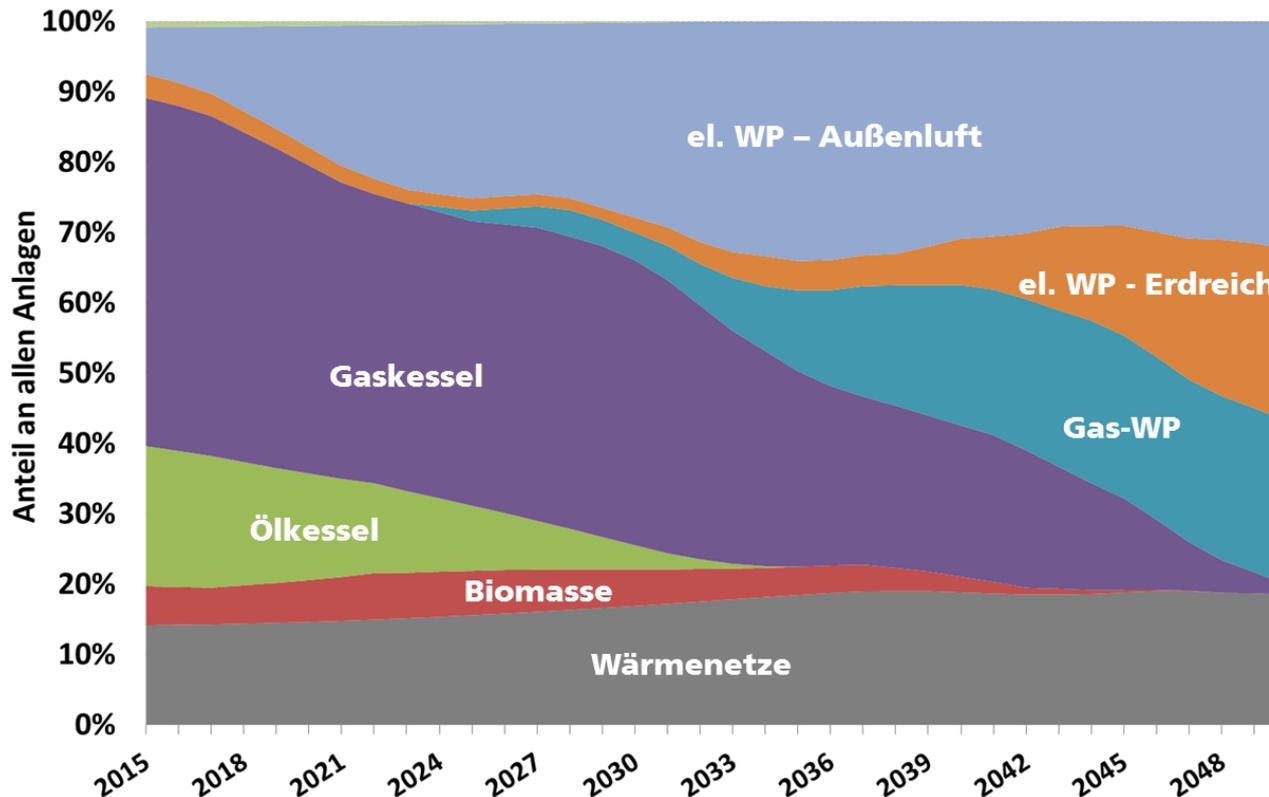
Szenarienvergleich:

Bruttostromverbrauch & installierte Leistung EE-Stromerzeugung hängen ab von:

- Effizienzpotentiale „klassischer“ Strom-Verbraucher
- Elektrifizierung Gebäudewärmeversorgung
- Elektrifizierung Prozesswärmeerzeugung
- Ausbau E-Mobilität (auch Güterverkehr)
- Rolle synthetischer Kraftstoffe für Verkehr, Prozesswärme, Speicherung, ...

Transformationsstrategien zur Zielerreichung – Differenzen zwischen Szenarien (Gebäudewärme)

Beispielergbnis: Entwicklung Heizungstechniken im Modell REMod-D des FhG ISE



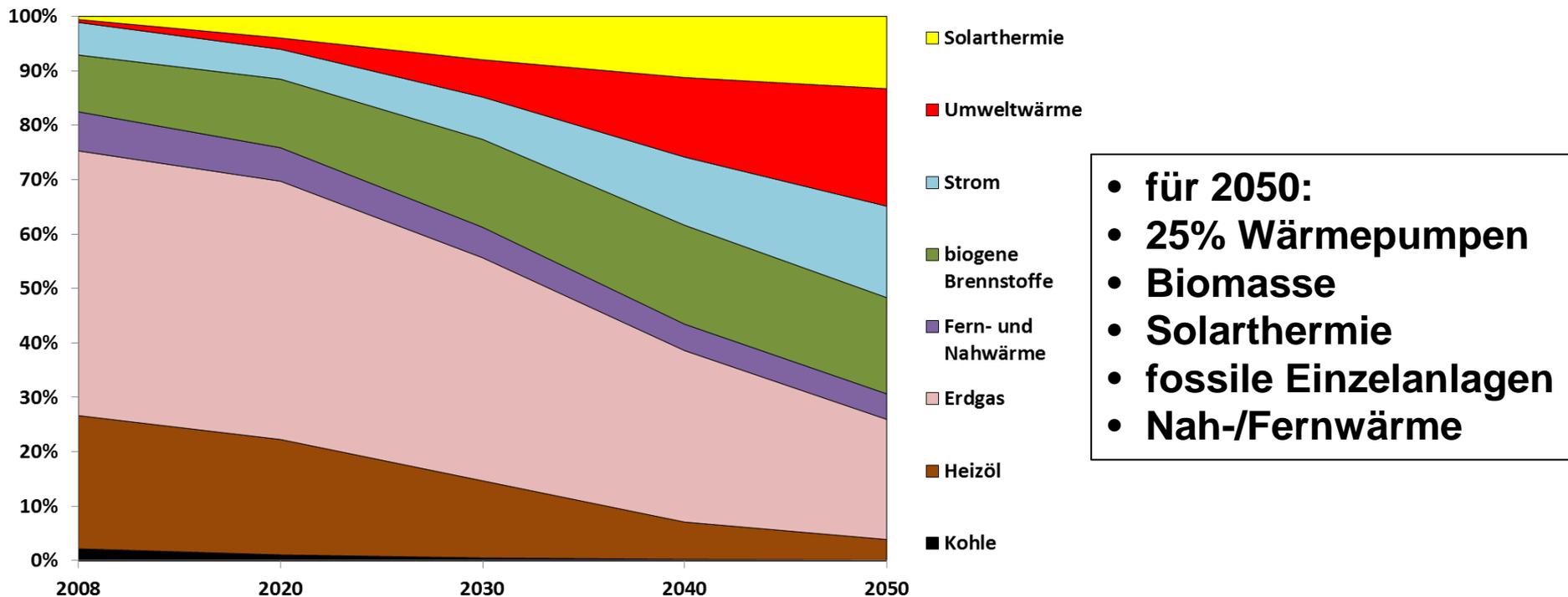
für 2050:

- 80% Wärmepumpen
- 20% Wärmesetze
- keine Biomasse
- keine Solarthermie
- keine fossile Einzelanlagen

Quelle: H.-M. Henning, basierend auf FhG ISE: Was kostet die Energiewende? (2015)

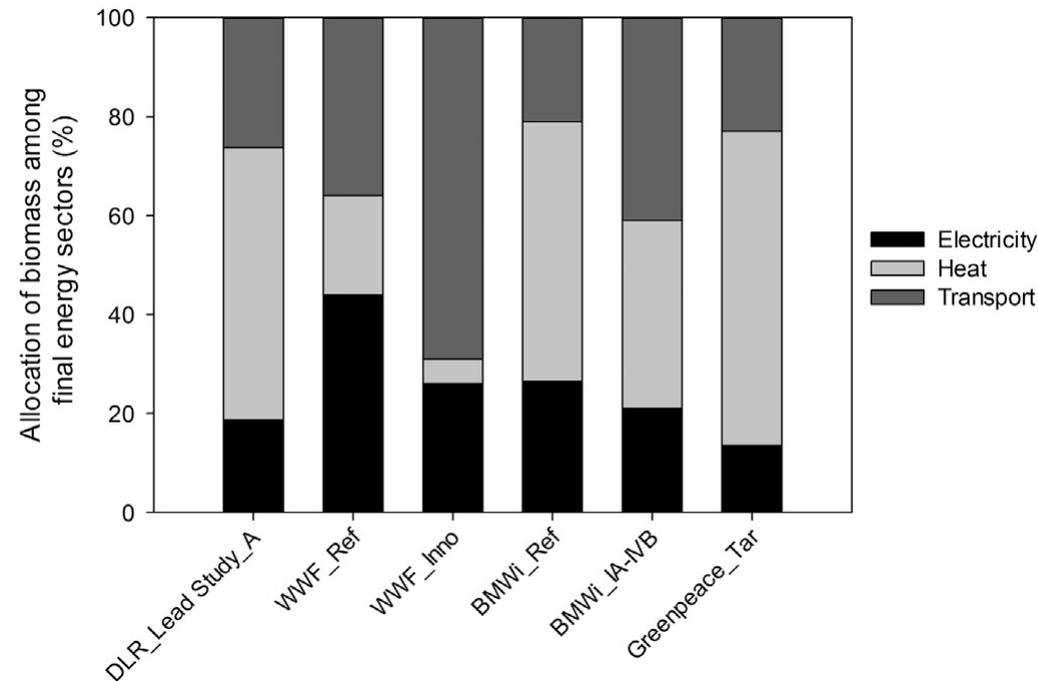
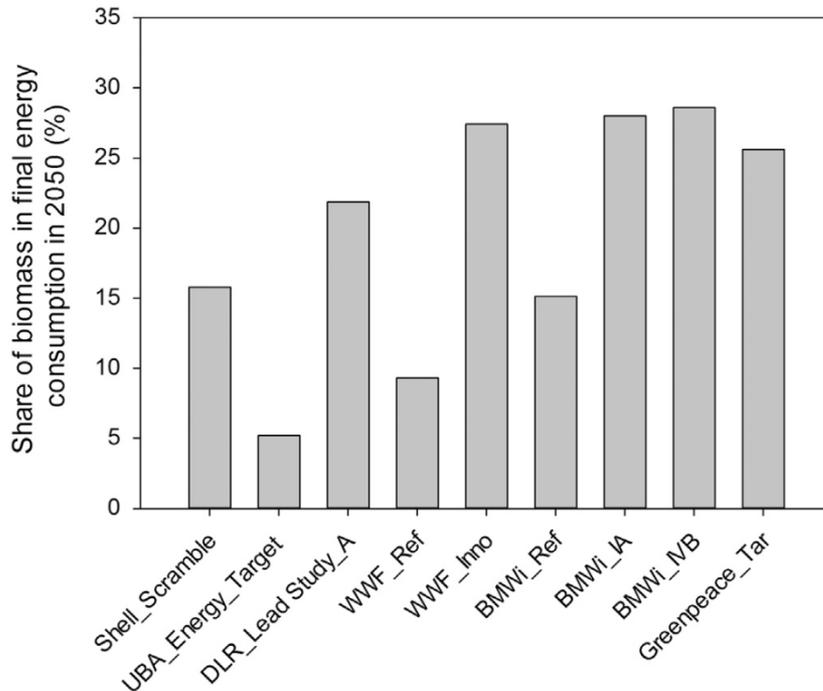
Transformationsstrategien zur Zielerreichung – Differenzen zwischen Szenarien (Gebäudewärme)

Beispielergbnis: Gebäudewärmeversorgung Haushalte aus Klimaschutzszenario 80



Quelle: Öko-Insitut, FhG ISI, H.-J. Ziesing: Klimaschutzszenario 2050, Studie im Auftrag des BMUB (2015)

Transformationsstrategien zur Zielerreichung – Differenzen zwischen Szenarien (Nutzung Biomasse)



Szenarien haben sehr heterogene Aussagen bzgl. der Anteil der Bioenergie insgesamt und in den Sektoren Strom, Wärme und Kraftstoff.

Literatur: Nora Szarka, Marcus Eichhorn, Ronny Kittler, Alberto Bezama, Daniela Thrän (2015): Interpreting long-term energy scenarios and the role of bioenergy in Germany. Ren Sustain Energy Rev, Elsevier.

Szenarienunterschiede verstehen – robuste Szenarien entwickeln

Projekt „Modellexperimente und –vergleiche zur Simulation von Wegen zu einer vollständig regenerativen Energieversorgung“ (RegMex)

- Systematische Weiterentwicklung des Zukunftswissens zur Energiewende ermöglichen
- Gegenseitige Qualitätssicherung der Ergebnisse im Sinne des "peer-review"-Gedankens fördern
- Intensiveres Verständnis für die unterschiedlichen Modelltypen und ihre Stärken bzw. Schwächen schaffen



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Einbeziehung sozio-kultureller Faktoren in Szenarientwicklung und Modellierung

Der Einfluss ökonomischer und regulatorischer Rahmenbedingungen auf die räumliche Landschaftsstruktur erneuerbarer Energiesysteme

Einflussfaktor:

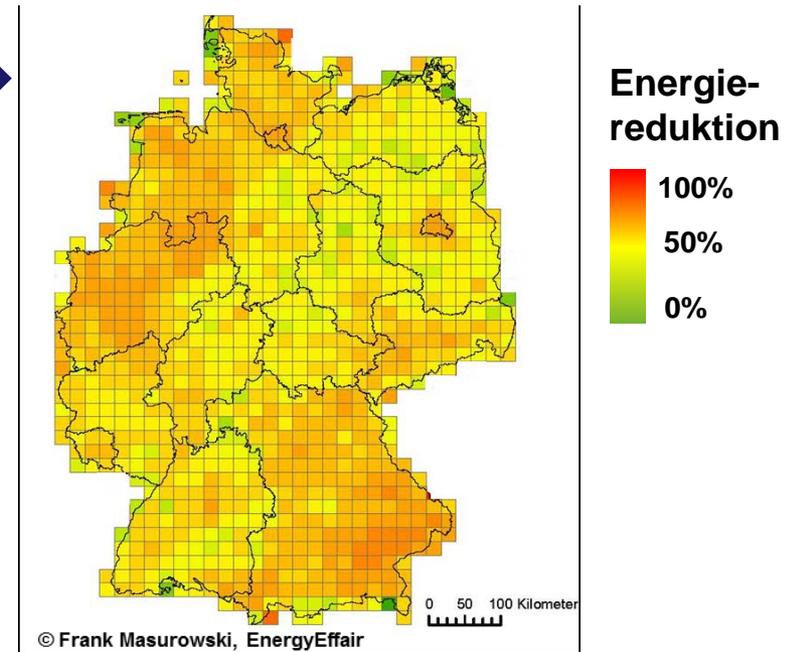
Rechtliche
Rahmenbedingungen

GIS-basierte
Modellierung
und
Multifaktorielle
räumliche
Regressions-
Analyse

Erhöhung des Siedlungsabstands
von Windkraftanlagen = 1,000m + 100m extra

Auswirkung:

Ein **erhöhter Siedlungsabstand**
führt zu einer **regional differenzierten**
Reduktion der Energiepotentiale von
Windkraft um **mehr als 50%**



Quelle: Masurowski et al. 2016: A spatially explicit assessment of the wind energy potential in response to an increased distance between wind turbines and settlements in Germany. F. Masurowski, M. Drechsler, K. Frank. Energy Policy 97 (2016)

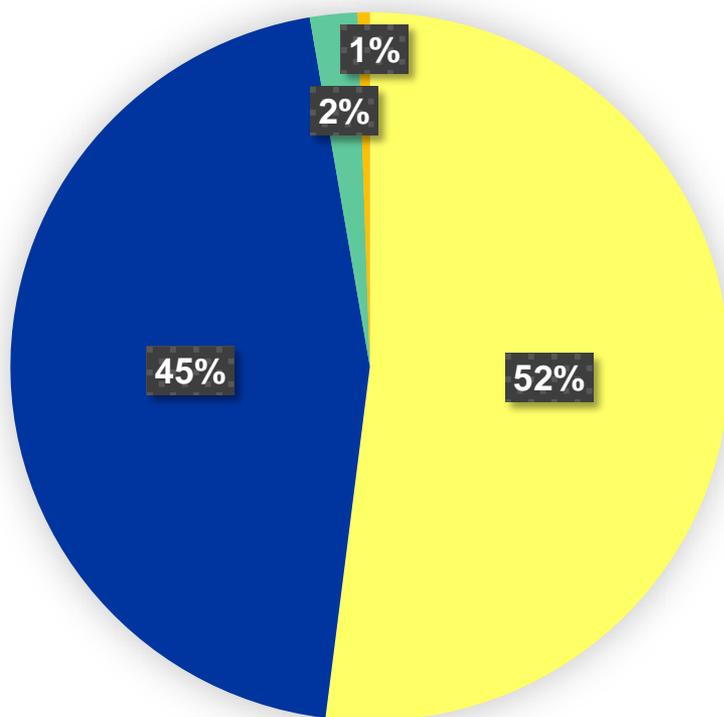
Stakeholder-Beteiligung bei der Erstellung von Energieszenarien



Runder Tisch Energiewende: Szenario für 100% EE in Niedersachsen 2050



Supply 210 TWh/a

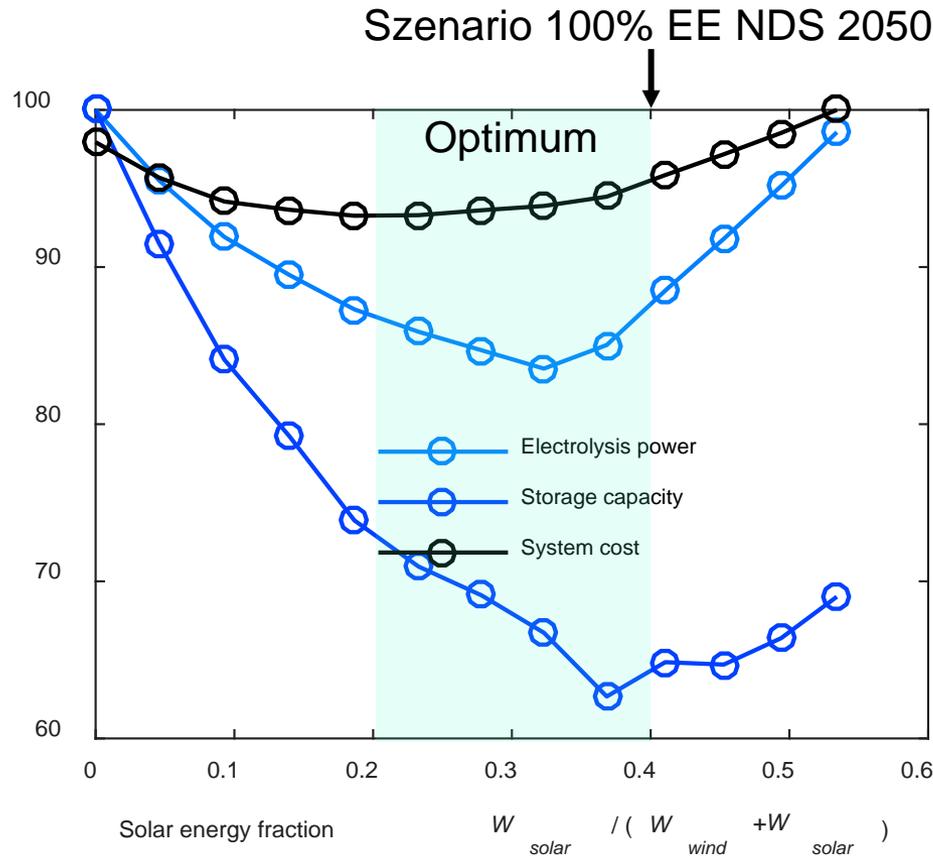


- 121 GW PV
- 34 GW WKA
- 0.5 GW Geo
- 1 GW ST



- Mit vielen gesellschaftlichen Akteuren diskutiertes Szenario
- Hoher Anteil der Stromversorgung aus PV erhöht die Akzeptanz
- Auswirkungen auf Langzeitspeicherbedarf, Elektrolysekapazitäten und Kosten

Stakeholder-Beteiligung bei der Erstellung von Energieszenarien



- **Optimales Szenario in Bezug auf Kosten und Speicherbedarf hat 20 – 40% Solarstromanteil**
- **Flaches Kostenminimum erlaubt großen politischen Gestaltungsraum**
- **Mehr PV-Anteil für verbesserte Akzeptanz führt zu moderaten Mehrkosten**

Stakeholder-Beteiligung bei der Erstellung von Maßnahmen-Katalogen für Transformationsprozess

Beteiligungsprozess zum Klimaschutzplan 2050



96 Klimaschutzmaßnahmen über alle treibhausgasrelevante Sektoren:

- **Energieumwandlung**
- **Industrie und Gewerbe, Handel und Dienstleistung**
- **Verkehr**
- **Gebäude**
- **Landwirtschaft und Landnutzung**

Konkrete Ausgestaltungshinweise zu jeder einzelnen Maßnahme

Empfehlung bzw. Nichtempfehlung der Maßnahmen aus dem Beteiligungsprozess als Argumentationshilfe in der Bundesregierung

Maßnahmenkatalog

Ergebnis des Dialogprozesses
zum Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung



März 2016

Sozio-technische Szenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland

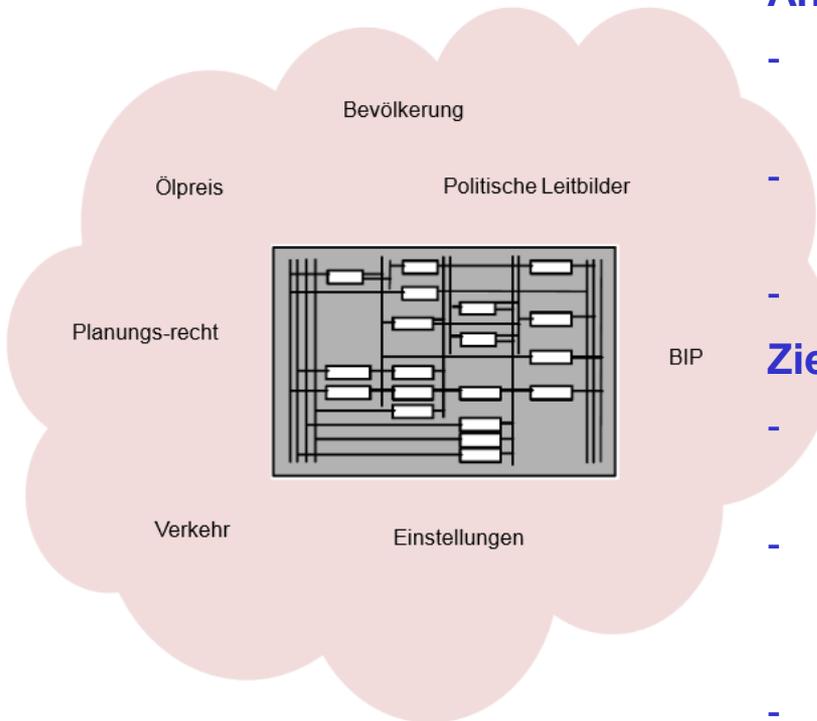
Kopplung von Energiesystemmodellen mit gesellschaftlichen Kontextszenarien in der HGF-Allianz „EnergyTrans“ – DLR, ZIRIUS (Universität Stuttgart), KIT, FZJ

Ansatz:

- Verständnis des Energiesystem als sozio-technisches System
- Erfolg/Misserfolg der Energiewende hängen auch von gesellschaftlichen Kontext ab
- Systemcharakter des gesellschaftlichen Kontextes

Ziel:

- Konsistente gesellschaftliche Rahmenannahmen („Storylines“) für Energieszenarien
- Systematische Analyse gesellschaftlicher Faktoren, die Transformationsprozess beeinflussen
- „Sozio-technische“ Szenarien

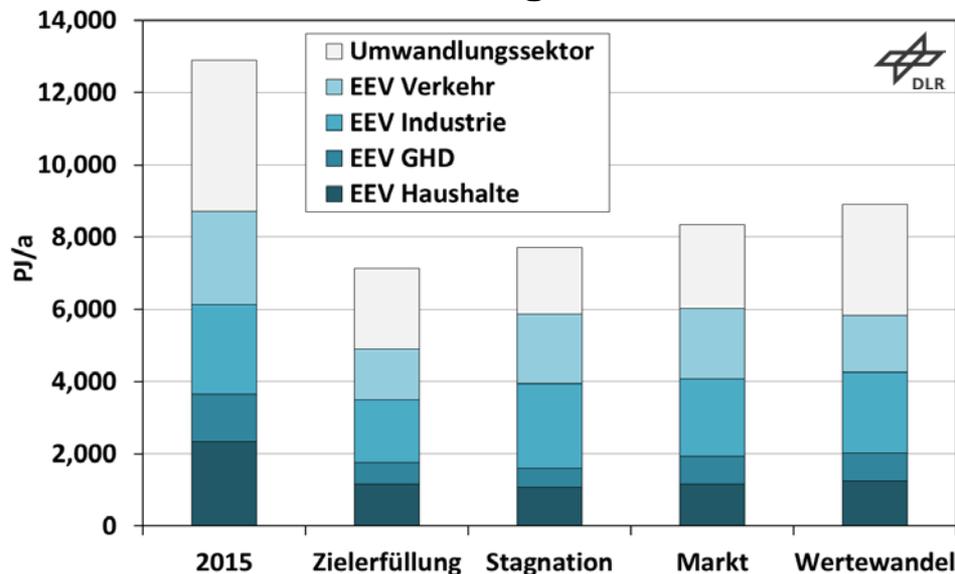


Quelle: W. Weimer-Jehle, S. Prehofer und S. Vögele, Kontext-Szenarien – Ein Konzept zur Behandlung von Kontextunsicherheit und Kontextkomplexität bei der Entwicklung von Energieszenarien – Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis (TATuP) 2013; 22(2)

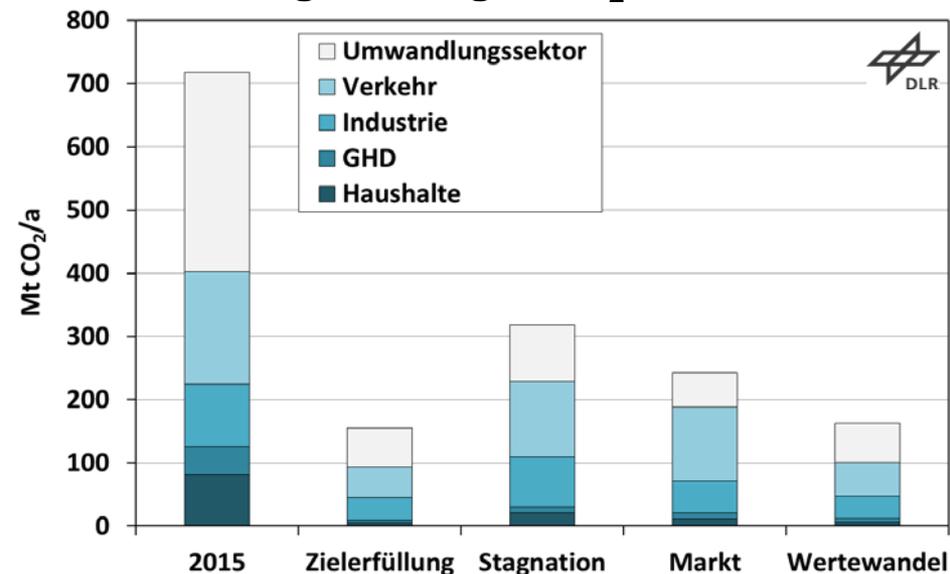
Sozio-technische Szenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland

Kopplung von Energiesystemmodellen mit gesellschaftlichen Kontextszenarien in der HGF-Allianz „EnergyTrans“ – DLR, ZIRIUS (Universität Stuttgart), KIT, FZJ

Primärenergieverbrauch



energiebedingte CO₂-Emissionen



Quelle: T. Pregger, T. Naegler, W. Weimer-Jehle, S. Prehofer und W. Hauser, Socio-technical scenarios for the German energy transition. Manuscript in preparation.

Fazit

- Szenarien stellen wichtiges Orientierungswissen für die wissenschaftliche Begleitung und Steuerung der Energiewende zur Verfügung
- Zielszenarien für Deutschland:
 - prinzipielle Übereinstimmung bzgl. grundlegender Transformations-Strategien
 - im Detail jedoch deutliche unterschiedliche Ausgestaltung
 - Verständnis für Ursachen der Unterschiede zwischen Szenarien zentral für robuste Aussagen und Handlungsempfehlungen
- Einbeziehung gesellschaftlicher Aspekte in Szenarientwicklung
 - Entwicklung von Szenarien und Maßnahmenkatalogen zusammen mit Stakeholdern
 - „sozio-technische“ Szenarien für Transformationsprozess

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!