Multikriterielle Bewertung der Energiewende

NACHHALTIGKEITS-PROFILE ZUM KOHLEAUSSTIEG

KOPERNIKUS PROJEKTE
ENavi
Die Zukunft unserer Energie

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

IMPRESSUM

Herausgeber

Leitung und Koordination des Arbeitspaketes „Multikriterielle Bewertung“ (AP11)
des Kopernikus-Projekts Energiewende-Navigationssystem | ENavi

Institute for Advanced Sustainability Studies e.V. (IASS)
Berliner Straße 130
14467 Potsdam
Tel: +49 (0) 331-28822-300
Fax: +49 (0) 331-28822-310
www.iass-potsdam.de

E-Mail (Leitung):
ortwin.renn@iass-potsdam.de
E-Mail (Koordination):
rainer.quitzow@iass-potsdam.de
E-Mail (Koordination):
hannes.gaschnig@iass-potsdam.de
www.energiewende-navi.de

Zitiervorschlag
Gaschnig et al. (2020): Multikriterielle Bewertung der Energiewende. Nachhaltigkeitsprofile zum Kohleausstieg. ENavi-Abschlussbericht des Arbeitspaketes 11 für den Schwerpunkt „Transformation des Stromsystems“, Potsdam.

Verantwortliche Redakteure

Hannes Gaschnig: hannes.gaschnig@iass-potsdam.de
Rainer Quitzow: rainer.quitzow@iass-potsdam.de

Autorinnen und Autoren (alphabetisch)

Armin Bangert: armin.bangert@kit.edu
Ulrich Fahl: ulrich.fahl@ier.uni-stuttgart.de
Hannes Gaschnig: hannes.gaschnig@iass-potsdam.de
Claudia Hofer: claudia.hofer@ier.uni-stuttgart.de
Oliver Kaltenegger: oliver.kaltenegger@wiwi.uni-muenster.de
Jürgen Kopfmüller: juergen.kopfmueller@kit.edu
Christian Loos: loos@fiph.de
Andreas Löschel: andreas.loeschel@wiwi.uni-muenster.de
Robert Pietzcker: pietzcker@pik-potsdam.de
Michael Quante: michael.quante@uni-muenster.de
Rainer Quitzow: rainer.quitzow@iass-potsdam.de
Ortwin Renn: ortwin.renn@iass-potsdam.de
Sabine Schlacke: sabine.schlacke@uni-muenster.de
Daniel Schnittker: schnittker@uni-muenster.de
Volker Stelzer: volker.stelzer@kit.edu
Pablo Thier: thier@uni-bremen.de
Gerald Zunker: gerald.zunker@wiwi.uni-muenster.de

Unter Mitarbeit von

Katiryna Basinkevich: Katiryna.Basinkevich@iass-potsdam.de
Sophia Büermann: Sophia.Bueermann@iass-potsdam.de

Stand

April 2020

INHALT

1 Zusammenfassung 6

2 Hintergrundinformationen 7
2.1 Zielsetzung des ENavi-Prozesses 7
2.2 Durchführung des ENavi-Prozesses 8
2.3 Vergleich des theoretischen und realen Prozesses 9

3 Das Bewertungskonzept 11
3.1 ENavi-Bewertungskriterien 11
3.2 ENavi-Bewertungsverfahren 12
3.3 Umgang mit Unsicherheit in der Bewertung 14

4 Bewertete Szenarien und Maßnahmenbündel 15
4.1 Übersicht über die bewerteten Szenarien 15
4.2 Maßnahmen-Steckbriefe und Szenariorahmen 16

5 Nachhaltigkeitsprofile der Szenarien 19
5.1 Erstellung und Vergleich der Nachhaltigkeitsprofile 19
5.2 Resümee zu den Nachhaltigkeitsprofilen 23
5.3 Exkurs: Vergleich mit Kohlekompromiss 26
5.4 Erfahrungen, Empfehlungen und Forschungsbedarf 29

6 Anhang: Bewertungen nach den Einzelkriterien 32
6.1 Effektivität 32
6.2 Kosteneffizienz / Gesamtkosten 36
6.3 Resilienz 41
6.4 Umwelt- und Ressourcenschonung 46
6.5 Schutz der menschlichen Gesundheit 52
6.6 Förderung des sozialen Zusammenhalts 58
6.7 Planungssicherheit / Wohlfahrt 62
6.8 Legalität 67
6.9 Legitimität / Akzeptanz 71
6.10 Ethische Akzeptabilität 75

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Der idealisierte ENavi-Prozess als Navigationssystem 7
Abbildung 2: Der reale ENavi-Prozess zum Kohleausstieg aus Bewertungssicht 10
Abbildung 3: Die zehn Bewertungskriterien von ENavi 11
Abbildung 4: Die Ampelbewertung und ihre Aggregation im Bewertungsansatz von ENavi 12
Abbildung 5: Beispiele für zentrale Argumente im ENavi-Bewertungsdiskurs 13
Abbildung 6: Verlauf der Stilllegung von Kohlekraftwerken in KAS 16
Abbildung 7: Vergleich zwischen Ausgangsszenario und KAS 20
Abbildung 8: Vergleich zwischen KAS und KAS+ 21
Abbildung 9: Vergleich zwischen KAS+ und COP+ 22

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Zusammensetzung der alternativen Maßnahmenbündel in den bewerteten Szenarien 15
Tabelle 2: Pfad des vorgegebenen nationalen CO_2-Mindestpreises 16
Tabelle 3: Reform der Ausbaumengen im EEG 17
Tabelle 4: Übersicht über Ziele und Maßnahmen im Szenariorahmen 18
Tabelle 5: Nachhaltigkeitsprofile der bewerteten Szenarien eines deutschen Kohleausstiegs 24
Tabelle 6: Hypothesen im Bewertungsdiskurs 25
Tabelle 7: Bewertung des Kriteriums „Effektivität“ 34
Tabelle 8: Bewertung des Kriteriums „Kosteneffizienz / Gesamtkosten“ 38
Tabelle 9: Bewertung des Kriteriums „Resilienz“ 44
Tabelle 10: Bewertung des Kriteriums „Umwelt- und Ressourcenschonung“ 48
Tabelle 11: Bewertung des Kriteriums „Schutz der menschlichen Gesundheit“ 54
Tabelle 12: Bewertung des Kriteriums „Förderung des sozialen Zusammenhalts“ 60
Tabelle 13: Bewertung des Kriteriums „Planungssicherheit / Wohlfahrt“ 64
Tabelle 14: Bewertung des Kriteriums „Legalität“ 70
Tabelle 15: Bewertung des Kriteriums „Legitimität / Akzeptanz“ 73
Tabelle 16: Bewertung des Kriteriums „Ethische Akzeptabilität“ 78

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AGS	in Bezug auf das Ausgangsszenario
AP	Arbeitspaket
AS	im Vergleich mit anderen Szenarien
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft
BDI	Bundesverband der Deutschen Industrie
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Bspw.	Beispielsweise
COP	CO_2-Bepreisung (Maßnahme und Politikszenario)
COP+	CO_2-Bepreisung inklusive weiterer Maßnahme (Politikszenario)
CO_2	Kohlendioxid
DEBRIV	Deutscher Braunkohlen-Industrie-Verein e.V.
DGB	Deutscher Gewerkschaftsbund
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EE+	Beschleunigter Ausbau Erneuerbare Energien (Maßnahme)
EH	Emissionshandel
ENavi	Energiewende-Navigationssystem
ETS	Emission Trading System (Emissionshandel)
EU	Europäische Union
Ggf.	gegebenenfalls
Ggü.	gegenüber
IG Metall	IG Metall (Gewerkschaft)
IGBCE	IG Bergbau, Chemie, Energie (Gewerkschaft)
Inkl.	Inklusive
KAL	Kohleausstieg, langsam (Maßnahme und Politikszenario)
KAS	Kohleausstieg, schnell (Maßnahme und Politikszenario)
KAS+	Kohleausstieg, schnell inkl. weiterer Maßnahmen (Politikszenario)
NDC	Nationally Determined Contributions (Instrument des Pariser Klimaschutzabkommens)
NO_x	Stickoxide
oemof	open energy system modelling framework
openENTRANCE	open ENergy TRansition ANalyses for a low-Carbon Economy (EU-Horizon 2020-Projekt)
P2X	Power-to-X (Umwandlung von Strom in andere Energieformen)
RCA	Revealed Comparative Advantage
RL	Richtlinie
RWTS	Relative World Trade Share
S. o.	Siehe oben
SENTINEL	Das Laboratorium für eine nachhaltige Energiewende (EU-Horizon 2020-Projekt)
St	Steuer
TEHG	Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz
THG	Treibhausgas(e)
UBA	Umweltbundesamt
Z. B.	Zum Beispiel
Z. T.	Zum Teil
ZS	Zertifikatsstilllegung (Maßnahme)

1 ZUSAMMENFASSUNG

Im Januar 2019 veröffentlichte die Kommission „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“ ihren Abschlussbericht und empfahl darin verschiedene Maßnahmen zum Ausstieg aus der Kohleverstromung in Deutschland. Parallel dazu wurde im Kopernikus-Projekt ENavi im Zeitraum vom Oktober 2016 bis Dezember 2019 ein Prozess zur Bewertung von Energiepolitik entwickelt und erprobt, für den im Schwerpunkt „Transformation des Stromsystems“ ebenfalls der Kohleausstieg zur Veranschaulichung gewählt wurde. Der vorliegende Bericht stellt diesen inter- und transdisziplinären Prozess vor und fasst dessen Bewertungsergebnisse in Form von Nachhaltigkeitsprofilen für exemplarisch bewertete Ausstiegsszenarien zusammen.[1]

Die Nachhaltigkeitsprofile stellen die aggregierte Übersicht einer Bewertung von zehn Kriterien dar, die für eine nachhaltige Entwicklung der Energiewirtschaft und Gesellschaft in Deutschland besonders zentral sind. Diese Profile können genutzt werden, um vorhandene Alternativen systematisch miteinander zu vergleichen. Im vorliegenden Fall wurden vier energie- und klimapolitische Maßnahmen beispielhaft in Maßnahmenbündeln kombiniert, um ihre Wirkung szenariospezifisch abzuschätzen und zu bewerten sowie die Maßnahmen im Anschluss verfeinern zu können. Das ENavi-Konsortium griff hierfür auf ein breites, qualitatives und quantitatives Methodenspektrum zurück, in dem ausgewählten Energiesystemmodellen und dem Diskurs der Forschenden untereinander sowie mit Stakeholdern aus Politik, Industrie, Wirtschaft und Zivilgesellschaft große Bedeutung zukam.

Untersucht wurden Maßnahmen, die sich im Spannungsfeld zwischen Ordnungsrecht bzw. Vorgaben und Markt bewegen und auf der Handlungsebene der Bundespolitik angesiedelt sind: ein durch die Legislative vorgegebener nationaler Ausstiegspfad, ein nationaler CO_2-Mindestpreis im europäischen Emissionshandel für die deutsche Energiewirtschaft, eine nationale Stilllegung von durch den Ausstieg ungenutzten bzw. freiwerdenden Emissionszertifikaten sowie eine zunehmend marktorientierte Beschleunigung des Zubaus Erneuerbarer Energien. Bis auf die Einführung des CO_2-Mindestpreises hatte auch die Kohlekommission Varianten dieser Maßnahmen in unterschiedlichem Detaillierungsgrad als Empfehlungen formuliert. Im Fall der beispielhaften ENavi-Varianten eines markt- und politikgetriebenen Ausstieges kommt die Bewertung auf mehreren Kriterien zu unterschiedlichen Ergebnissen und offenbart so deren jeweilige Stärken und Schwächen.

Zugleich zeigt ein Vergleich des Kommissionsberichtes und des erprobten ENavi-Ansatzes Gemeinsamkeiten, aber auch deutliche Differenzen etwa in der Zielsetzung, Methodenfokussierung, Transdisziplinarität sowie Diversität, Breite und Tiefe der Maßnahmengestaltung. Aufgrund des Demonstrationscharakters sind aber insbesondere die gesammelten Erfahrungen im transdisziplinären ENavi-Prozess für Politik, Wissenschaft und Folgeprojekte mit ähnlicher methodischer Ausrichtung von Interesse. Der vorliegende Abschlussbericht kann hierfür Orientierung bieten.

[1] Der ENavi-Endbericht des Schwerpunktes „Transformation des Stromsystems“ gibt einen Einblick in die im Projekt durchgeführte Folgenabschätzung und Bewertung des Kohleausstiegs (Fahl et al. 2019). Der vorliegende Bericht bietet zusätzlich einen erweiterten Überblick mit Fokus auf der multikriteriellen und diskursiven Bewertung.

2 HINTERGRUNDINFORMATIONEN

2.1 Zielsetzung des ENavi-Prozesses

Das Alleinstellungsmerkmal des Kopernikus-Forschungsprojektes „Energiewende-Navigationssystem“ ist der „ENavi-Prozess“. Er wurde im Zeitraum 10/2016 bis 11/2019 zur kurzfristigen Navigation innerhalb der Energiewende in mehreren Anwendungsfeldern (Strom, Wärme, Verkehr) parallel erprobt. Hierbei wurden Vorschläge für Energiepolitik in Form von Maßnahmenbündeln zusammengestellt, deren Wirkungen szenarienbasiert abgeschätzt und multikriteriell sowie diskursiv bewertet (vgl. Abbildung 1).

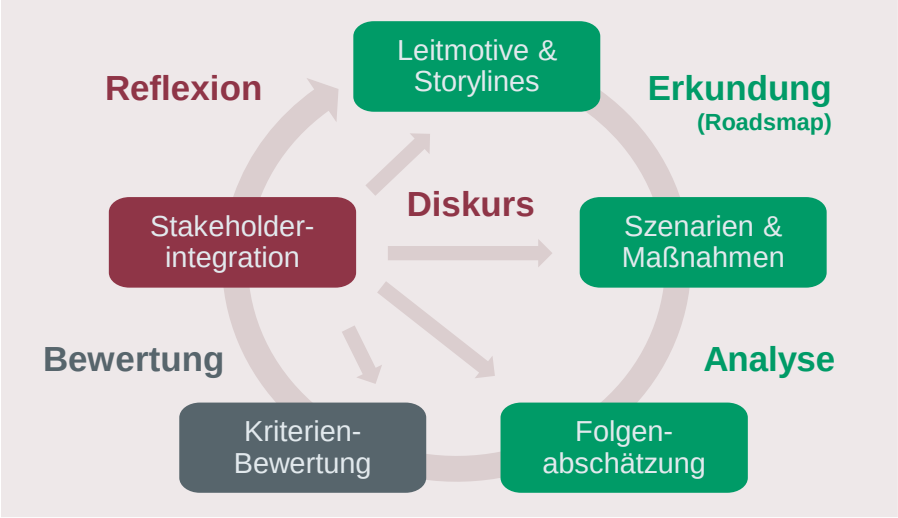


Abbildung 1: Der idealisierte ENavi-Prozess als Navigationssystem (modifizierte Darstellung von Edenhofer et al. 2018, S. 9)

Auf diese Weise sollten iterativ nachhaltige Politikoptionen entwickelt werden, mit denen die Energiewende kostengünstig, versorgungssicher, umwelt- und klimaverträglich, sozial gerecht und demokratisch gestaltet werden kann. Dieser Bericht stellt die zentralen Ergebnisse der multikriteriellen Bewertung für mehrere Kohleausstiegsvarianten vor, die das Resultat eines intensiven inter- und transdisziplinären Abstimmungsprozesses sind, an dem ENavi-Forschende und Stakeholder aus Zivilgesellschaft, Wirtschaft und Politik beteiligt waren.[2]

[2] Als innovative, transdisziplinäre Methode und in seiner allgemeinen Form ist der ENavi-Prozess auch auf andere Politikbereiche übertragbar.

2.2 Durchführung des ENavi-Prozesses

Das genaue Bewertungsverfahren und die Kriterien des multikriteriellen Bewertungsansatzes von ENavi wurden seit Beginn des Projektes bis zum Sommer 2018 erarbeitet. Zunächst hatte ein interdisziplinäres Team aus Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern einen Entwurf entwickelt, der im Anschluss transdisziplinär mit Stakeholdern diskutiert sowie verfeinert wurde (Quitzow et al. 2018/2019, Ulmer et al. 2018).[3] Hierbei legten die Beteiligten Indikatoren für die Bewertung von Szenarien anhand verschiedener Kriterien und Unterkriterien fest, teilten die Folgen der Maßnahmen konzeptionell in Stärken und Schwächen ein und entwickelten eine drei- sowie fünfstufige Bewertung. Auf Ebene von Kriterien, Unterkriterien und Indikatoren mussten hierfür jeweils eigene Intervallgrenzen sowie Regeln für die Aggregation von Bewertungsergebnissen definiert werden. Der Bewertungsprozess wird in Kapitel 3 näher erläutert.

Parallel dazu wurden seit Beginn des Projektes eine große Vielzahl und Vielfalt an Politikszenarien für die Transformation des Stromsektors entworfen. Diese Szenarien durchliefen den ENavi-Prozess in einem ersten, vereinfachten Schnelldurchgang, da die Konzeption des multikriteriellen Bewertungsansatzes zu diesem Zeitpunkt noch nicht abgeschlossen und somit einsatzfähig war. Stattdessen diskutierten ENavi-Stakeholder im Rahmen eines Kompetenzteamtreffens ausgewählte Hypothesen, die aus der Folgenabschätzung abgeleitet wurden (Dreyer et al. 2018). Die Ergebnisse dieses ersten Schnelldurchganges wurden in einem Zwischenbericht für den ENavi-Schwerpunkt „Strom“ im August 2018 festgehalten (vgl. Edenhofer et al. 2018).

Für die Erstellung verfeinerter Politikszenarien wurden Nebenwirkungen, welche die Klimaschutzwirkung unterschiedlicher Kohleausstiegsvarianten (ordnungsrechtlich und marktbasiert) potenziell schmälern könnten, identifiziert und flankierende Maßnahmenvorschläge ergänzt, um Defizite auszugleichen und effektive Lösungen zu gewährleisten. Insgesamt definierten die beteiligten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler nach Fertigstellung des Zwischenberichtes unterschiedlich progressive Politikszenarien, die exemplarisch für die Erprobung und Demonstration des ausführlichen ENavi-Bewertungsprozesses genutzt wurden. Diese Szenarien werden in Kap. 4 vorgestellt.

Seit Fertigstellung des Zwischenberichtes trafen sich Folgenabschätzende (insb. aus der Modellentwicklung und -anwendung) und die Verantwortlichen für die multikriterielle und diskursive Bewertung mehrfach, um die Modellergebnisse für die Szenarien zu prüfen, zusammenzuführen und gemeinsam zu bewerten.[4] Dieser Prozess fand im Februar 2019 mit einer „Klausurtagung“ der beteiligten Forscherinnen und Forscher seinen Abschluss. Der daraus hervorgegangene wissenschaftliche Bewertungsvorschlag wurde mit Stakeholdern im Rahmen der diskursiven Bewertung finalisiert und weiterentwickelt.

Hierzu fand zunächst im März 2019 ein „analytischer“ Stakeholder-Workshop statt, bei dem die Nachhaltigkeitsprofile, also die aggregierten Bewertungsergebnisse der Szenarien, von Fachexpertinnen und -experten auf ihre Plausibilität hin geprüft wurden (s. Tabelle 5).[5] Im April 2019 wurden die so legitimierten und nochmals verfeinerten Resultate bei einem Bewertungsdiskurs weiteren Stakeholdern vorgestellt. Ziel dieses Diskurses war es, ergänzende, flankierende Maßnahmen für eine weitere Verbesserung der Maßnahmenbündel, vorhandene Wechselwirkungen und Zielkonflikte sowie die Durchsetzbarkeit der Maßnahmen in der Bundes- und EU-Politik zu erörtern (Dreyer et al. 2019a). Die finalen Bewertungsergebnisse werden in Kapitel 5 dargelegt und verglichen. Zudem werden der Prozess und das Resultat mit Bezug auf den Abschlussbericht der Kommission „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“ diskutiert sowie mit Bezug auf die Projektziele abschließend reflektiert.

[3] Bei Quitzow et al. 2018 handelt es sich um eine Langfassung des Bewertungsansatzes, die an ein fachlich interessiertes Publikum gerichtet ist. Quitzow et al. 2019 bietet dagegen eine illustrierte Kurzdarstellung für eine breite, an Nachhaltigkeit insgesamt interessierte Öffentlichkeit. Ulmer et al. 2018 entspricht dem Veranstaltungsbericht des Kompetenzteamtreffens.

[4] Die Protokolle der wissenschaftsinternen Sitzungen wurden nicht veröffentlicht. Fahl et al. 2018 enthält allerdings eine Übersicht über die Energiemodelle, die zur ex-ante-Abschätzung der Folgen von Energiepolitik-Optionen eingesetzt wurden.

[5] Die Nachhaltigkeitsprofile entsprechen den in Quitzow et al. 2018 konzeptionell skizzierten integrierten Bewertungsprofilen.

2.3 Vergleich des theoretischen und realen Prozesses

Diese Übersicht zur Durchführung veranschaulicht, dass die erste, reale Demonstration des ENavi-Prozesses nicht in allen Punkten dem theoretisch postulierten Idealverfahren entsprach, sondern pragmatische Kompromisse zwischen Ideal und realen Möglichkeiten erforderte.

Der grundlegende Zyklus wurde aber konzeptgetreu durchlaufen und umfasste die Stationen: Szenarien, Maßnahmen, Folgenabschätzung, Kriterien-Bewertung und Stakeholder-Integration. Die Berücksichtigung von Leitmotiven und Storylines war aufgrund paralleler Bearbeitung allerdings nur bedingt möglich (Bauknecht et al. 2019, Schmidt-Scheele et al. 2019). Wie man das neu eingeführte Instrument einer „Roadsmap“, d.h. einer mehrdimensionalen Roadmap, konzipieren und umsetzen kann, wurde ebenfalls im Projekt ausgeführt (Scheer/Grunwald 2017, Scheer et al. 2017, Renn et al. 2019). Die Umsetzung bleibt jedoch ein mittel- bis langfristig angelegtes Ziel, das in der kurzen Laufzeit nicht vollständig erfüllt werden konnte.

Die Chronologie wichtiger Treffen, die den einzelnen Phasen des Zyklus zugeordnet werden können, ist in Abbildung 2 dargestellt.

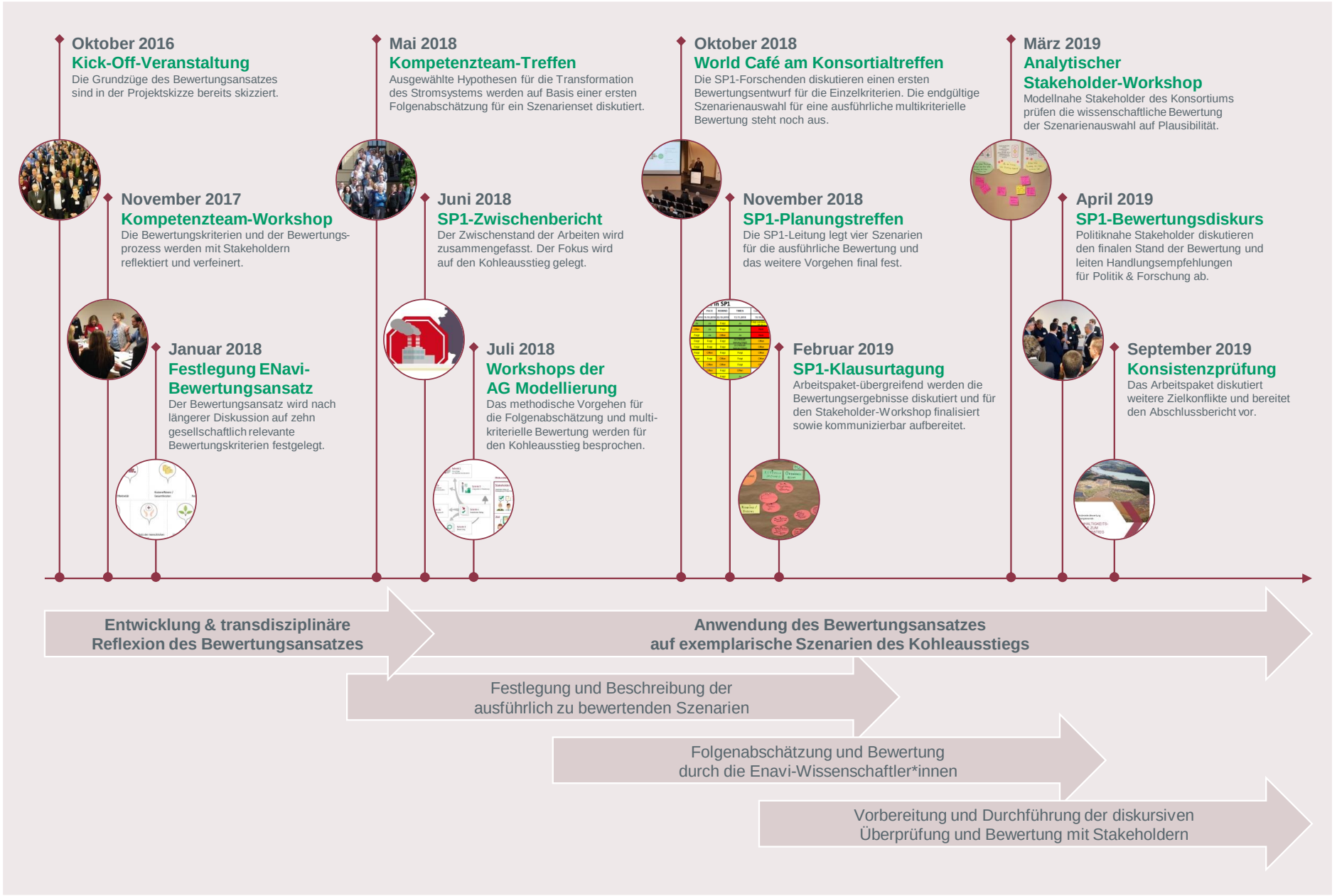


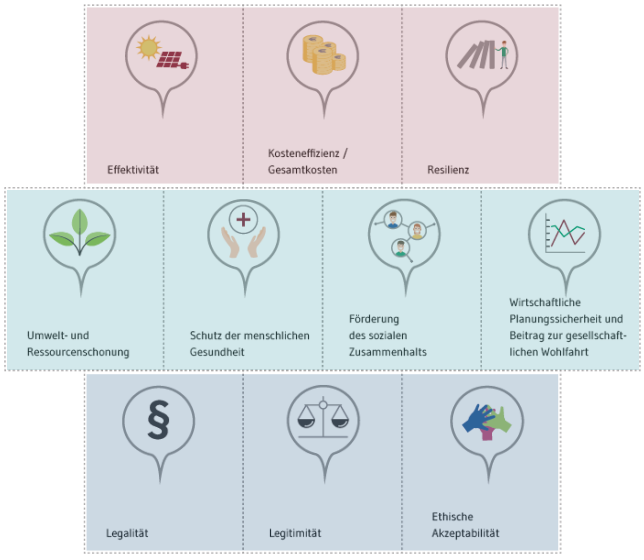
Abbildung 2: Der reale ENavi-Prozess zum Kohleausstieg aus Bewertungssicht (eigene Darstellung, Fotos: © DIALOGIK / F. Dratsdrummer & © IASS / C. Camier)

3
DAS BEWERTUNGSKONZEPT

3.1 ENavi-Bewertungskriterien

Der multikriterielle Bewertungsansatz stellte innerhalb des transdisziplinären Forschungsansatzes von ENavi die Schnittstelle zwischen der Forschung und der Diskussion mit Akteurinnen und Akteuren aus Praxis und Politik über politische Handlungsoptionen dar. Durch den Dialog zwischen Wissenschaft und Gesellschaft im Kontext dieses transdisziplinären Forschungsprozesses soll das ENavi-Projekt einen Beitrag zur Gestaltung einer nachhaltigen Energiewende-Politik leisten.

Im Austausch zwischen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus unterschiedlichen Disziplinen sowie Akteurinnen und Akteuren aus der Praxis werden Maßnahmenbündel konzipiert, die nicht nur die Erreichung der erklärten Energiewende-Ziele der Bundesregierung ermöglichen. Vielmehr werden auch andere wichtige Aspekte (Nebenwirkungen) einer nachhaltigen Entwicklung berücksichtigt und somit in die Ausgestaltung der Politikoptionen einbezogen. Diese unterschiedlichen Aspekte sind im Bewertungsansatz in Form von zehn Bewertungskriterien verankert, die in verschiedene Cluster aufgeteilt werden können (s. Abbildung 3). Keines der Bewertungskriterien ist für sich allein ausreichend, um den vielfältigen Anforderungen an eine nachhaltige Energiewende-Politik gerecht zu werden. In ihrer Gesamtheit vermitteln die Bewertungskriterien jedoch ein ausgewogenes und umfassendes Bild über die Wirkungen der Energiewende-Politik, wobei das Kriterienset auf den jeweiligen Anwendungsfall angepasst werden kann.



Kriterien-Cluster

- Beiträge zu zentralen energie- und klimapolitischen **Zielsetzungen** („Zieldreieck“)
- Wichtige Bereiche, in denen **Nebenwirkungen** von Energiepolitik auftreten
- Vereinbarkeit mit **rechtlichen, politischen und ethischen Normen / Orientierungen**

Abbildung 3: Die zehn Bewertungskriterien von ENavi (erweiterte Darstellung aus Quitzow et al. 2019, S. 11)

Die Entwicklung der Bewertungskriterien war auch selbst Bestandteil des inter- und transdisziplinären Forschungsprozesses von ENavi. Vor diesem Hintergrund wurde ein Entwurf des Ansatzes bereits mit Expertinnen und Experten aus der Praxis sowie mit Vertreterinnen und Vertretern der anderen Arbeitspakete des ENavi-Projekts diskutiert und im Rahmen einer eigenen Veranstaltung am 22. November 2017 weiterentwickelt. Alle Anregungen wurden bei der Erstellung des vorliegenden Bewertungsansatzes berücksichtigt.

3.2 ENavi-Bewertungsverfahren

Die Bewertung erfolgt auf Basis der Ergebnisse der Folgenabschätzungen für die ausführlich betrachteten Szenarien. Bei der Folgenabschätzung handelt es sich idealtypisch um die neutrale Darstellung von Wirkungen ohne Interpretation der Ergebnisse.[6] Ob diese Wirkungen nun wünschenswert, unerwünscht, intendiert oder nicht intendiert, flankierungsbedürftig oder ohne politische Reaktion zu einem bestimmten Zeitpunkt zu erdulden sind, bleibt Aufgabe einer Bewertung durch die Bewertungssubjekte. Bei den Bewertenden handelte es sich um die Forschenden und Praxisakteure des Konsortiums.

Das Bewertungsverfahren wurde für den Testdurchlauf als dreistufiger Prozess angelegt. Dabei erarbeitete ein interdisziplinäres Team aus Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern des Konsortiums zunächst einen Bewertungsvorschlag, der im Anschluss transdisziplinär evaluiert wurde. Dafür wurde der Vorschlag bei einem „analytischen Stakeholder-Workshop“ durch wissenschafts- und überwiegend modellnahe Stakeholder weiter auf Plausibilität geprüft. Im letzten Schritt reflektierten weitere Vertreterinnen und Vertreter aus Politik, Wirtschaft, Industrie und Zivilgesellschaft die so validierten Ergebnisse auf Handlungsempfehlungen für Politik und Forschung. Hierdurch schloss sich der ENavi-Zyklus und ermöglichte eine theoretische Neuauflage des Prozesses. Neue oder modifizierte Maßnahmenbündel könnten den Prozess so erneut und durch Lernerfahrungen beschleunigt durchlaufen, um eine Verfeinerung der Ergebnisse zu erzielen. Nachfolgend werden die wissenschaftliche und die diskursive Bewertung eingehender erläutert.

Interdisziplinär-wissenschaftliche Bewertung

Der wissenschaftliche Bewertungsvorschlag geht von den oben beschriebenen zehn Bewertungskriterien aus, die sich jeweils aus mehreren Unterkriterien zusammensetzen. Jedes Unterkriterium umfasst eine methodische Anleitung zu seiner Erfassung bzw. Messung. Das Gesamtergebnis für die Bewertung eines Kriteriums basiert auf einer Gesamtschau aller Unterkriterien. Für das gemeinsame Resümee müssen eine oder mehrere Entscheidungsregeln festgelegt werden.

Dabei wird für die Zusammenfassung der Bewertungsergebnisse zunächst Gleichgewichtung der Unterkriterien unterstellt (Default Option). Von diesem Vorgehen kann bei guter Begründung, vor allem in der Diskussion mit den Stakeholdern, abgewichen werden. Eine mögliche Abweichung von der Default Option wird in den kriteriumsspezifischen Abschnitten „Vorschlag der Gesamtbewertung“ im Anhang dokumentiert. So etwa beim Kriterium der Effektivität, bei dem das Unterkriterium „Treibhausgasemissionen“ aufgrund seiner Bedeutung als Primärziel der Energiewende in Anlehnung an die Expertenkommission des Energiewende-Monitoring der Bundesregierung eine doppelte Gewichtung erhielt.

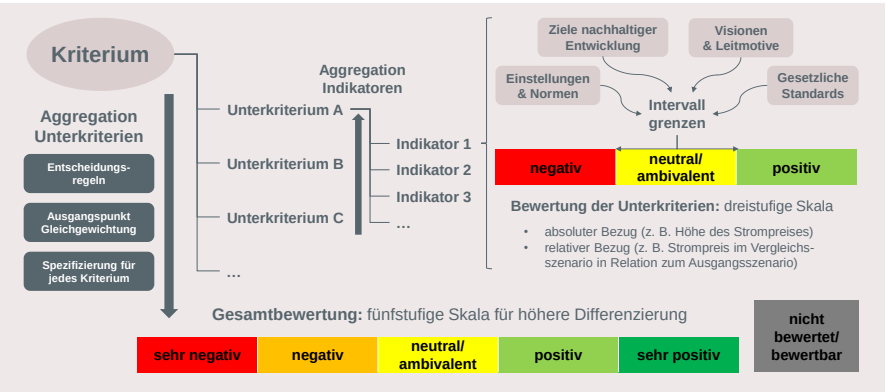


Abbildung 4: Die Ampelbewertung und ihre Aggregation im Bewertungsansatz von ENavi

[6] In ENavi wurde zwischen „assessment“ (Folgenabschätzung) und „evaluation“ (Bewertung) unterschieden.

Die Ergebnisse der Folgenabschätzungen wurden anhand der zehn Kriterien strukturiert und in eine dreistufige Ampelbewertung für Indikatoren und Unterkriterien überführt. Positive Auswirkungen erhielten eine ‚grüne' Bewertung, neutrale oder ambivalente Auswirkungen wurden ‚gelb' markiert und negative Auswirkungen ‚rot'. Für die Gesamtbewertung eines Kriteriums wurde eine fünfstufige Bewertung verwendet, um eine höhere Differenziertheit bei der Aggregation der Ergebnisse aus den Unterkriterien zu ermöglichen (rot/orange/gelb/hellgrün/dunkelgrün).

Die festzulegenden Intervalle für die Bewertungsstufen beruhten auf normativen absoluten oder relativen Benchmarks. Die Festlegungen wurden mit den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sowie mit den Stakeholdern kontrovers erörtert, da generell von der Farbgebung eine starke Signalwirkung ausgehen kann. Die Benchmarks für die Indikatoren und Kriterien wurden im Anhang fallspezifisch dokumentiert und begründet. Falls keine Bewertung, z. B. aufgrund fehlender Datenbasis, möglich war, konnten die Verantwortlichen auf die Kategorie „nicht bewertet/bewertbar" (grau) zurückgreifen (Abbildung 4). Zusätzlich zur farblichen Bewertung wurde auf Kriterien-Ebene ein Rangsystem genutzt, um im Fall farblicher Übereinstimmung auf der höchsten Aggregationsebene eine Feinunterscheidung von Szenarien vornehmen zu können. Wenn wichtige Indikatoren nicht bedient werden konnten, war das Rangsystem optional.

Für einzelne Kriterien bzw. Unterkriterien, für die keine detaillierten Folgenabschätzungen vorlagen, wurden ergänzende Daten gesammelt, um eine möglichst vollständige Anwendung des Bewertungsansatzes zu gewährleisten. Im Fall, dass für einzelne Kriterien oder Unterkriterien keine geeigneten Daten für eine Bewertung vorlagen, wurden die Wissenslücken möglichst transparent ausgewiesen (graue Farbgebung). Die Diskussion der vorhandenen Wissensbasis war ein wichtiger Bestandteil der Bewertung (siehe folgenden Abschnitt „Umgang mit epistemischer Unsicherheit") sowie des darauf basierenden Dialogs mit den Stakeholdern (diskursive Bewertung).

Transdisziplinär-diskursive Bewertung

In der wissenschaftlichen Bewertung lag bei allen Kriterien mit „physischen" Indikatoren der Schwerpunkt auf quantitativen Modellergebnissen. Wenn komplexe Sachverhalte erfasst werden sollten, die sich nicht oder nur sehr aufwendig in quantitative Einzelindikatoren zerlegen ließen, griffen die Forschenden auf qualitative Folgenabschätzungen und Bewertungen zurück. In der diskursiven Bewertung lag der Fokus auf zentralen Argumenten der Energiewende-Diskussion (Abbildung 5).

„Je schneller wir aus der Kohle aussteigen, desto besser. Denn jede Minute, die wir zögern, ist eine Verlorene für das Klima, für unsere Umwelt, für uns selbst und für zukünftige Generationen. Der Ausstieg kann aber nur mit einem raschen weiteren Ausbau Erneuerbarer Energien gelingen."

Sebastian Scholz, NABU Deutschland

„Für die inländische Versorgungssicherheit ist deutsche Kohle heute noch unerlässlich. Darum plädieren wir für einen Umstieg mit Augenmaß. Die Wertschöpfung in einigen Regionen hängt außerdem stark von der Braunkohle ab. Diese benötigen ausreichend Zeit, um sich anpassen zu können."

Peter Marrek, swb AG Bremen

Abbildung 5: Beispiele für zentrale Argumente im ENavi-Bewertungsdiskurs (eigene Darstellung, Fotos: © DIALOGIK / F. Dratsdrummer)

Die Forschenden prüften für ihre Kriterien diese und alle weiteren Aussagen der Stakeholder auf mindestens drei Fragen, um den Bewertungsvorschlag gegebenenfalls entsprechend zu verbessern:

(1) Deuteten die Argumente auf Unterkriterien und Indikatoren hin, die noch in der Bewertung ergänzt werden sollten?
(2) Stand eine farbliche Bewertung im Widerspruch zu einer getroffenen Aussage?
(3) Waren bestimmte Sachverhalte allgemein so zentral, dass sie eine Ungleichgewichtung der Indikatoren, Unterkriterien und Kriterien rechtfertigen würden?

Um diese Fragen befriedigend beantworten zu können und dabei ein ausgewogenes Meinungsbild zu erhalten, war es das Ziel des Beteiligungsverfahrens, das breite Spektrum der gesellschaftlichen Interessen abzubilden. Die Bewertenden des Praxis-Wissenschafts-Dialogs stammten daher aus Politik, Industrie, Wirtschaft und Zivilgesellschaft.

Zusammengenommen kann der Formalisierungsgrad als „mittel bis hoch“ in der ersten interdisziplinär-wissenschaftlich geprägten Phase und als eher „gering bis mittel“ in der zweiten transdisziplinär-praxisorientierten Phase eingestuft werden. In der zweiten Phase wies der analytische Stakeholder-Workshop durch seine Funktion als Plausibilitätsprüfung noch eine intensivere Auseinandersetzung mit der Farbbewertung auf. Im Bewertungsdiskurs waren die Farbbewertungen dagegen nur noch Teil der Vorträge der Forschenden. Die Diskussionen waren stattdessen auf Hypothesen gerichtet, die sich aus einer Szenario-übergreifenden Betrachtung der aggregierten Bewertungen pro Kriterium ableiteten.

Die qualitative Orientierung des ENavi-Ansatzes kann insgesamt als dessen wichtigstes Alleinstellungsmerkmal gesehen werden. Im Vergleich mit anderen hochformalisierten Verfahren setzt er auf einen stark deliberativen Charakter mit Aushandlung und Verständigung. Eine respektvolle Kommunikation der Akteure untereinander kann Unterschiede in Sichtweisen offenlegen, aber durch die gemeinsame, ko-kreative Arbeit an allen Bausteinen des ENavi-Prozesses auch eine Annäherung gegensätzlicher Positionen erreichen.[7] Dies kann etwa dadurch geschehen, dass sich Fürsprecher einer jeweiligen Interessensgruppe gegenseitig flankierende Maßnahmen zugestehen, die unerwünschte Folgen – in der Bewertung durch orange oder rote Farbmarkierungen erkennbar – für ihre jeweiligen Stakeholder abmildern.

3.3 Umgang mit Unsicherheit in der Bewertung

Bei der multikriteriellen Charakterisierung der Maßnahmenpakete bzw. Szenarien handelt es sich um eine *ex ante* Folgenanalyse. Die Bewertung muss daher auf der Basis von Prognosen erfolgen, die entweder auf formalen Simulationen und Modellen oder anhand von qualitativen Analysen mithilfe von Heuristiken, Plausibilitätsanalysen oder Befragungen von Expertinnen und Experten erstellt werden.

Für den Einsatz der Forschungsergebnisse im Rahmen der Entscheidungsfindung ist es daher wichtig, dass die Unsicherheiten, die mit den eingesetzten Analyseinstrumenten einhergehen, explizit ausgewiesen werden. Den Nutzerinnen und Nutzern der Bewertungsergebnisse sollten wesentliche Merkmale der Analyseinstrumente und die damit verbundenen Einschränkungen für die Aussagekraft der Ergebnisse bekannt sein. Von daher waren Transparenz und Überprüfbarkeit wichtige Ziele des Bewertungsverfahrens. Für jedes Bewertungskriterium wurden die eingesetzten Forschungsergebnisse daher entsprechend aufbereitet und die jeweils geltenden Unsicherheitsspielräume angegeben (vgl. die kriterienspezifischen Abschnitte „Robustheit der Datenbasis“ im Anhang). Auch Bemühungen zur Reduzierung der Unsicherheit, wie etwa Sensitivitätsanalysen in Szenario- bzw. Modell-Rechnungen, wurden in die Bewertung miteinbezogen.

[7] Eine agile, ko-kreative und transdisziplinäre Erarbeitung der Bewertung bereits beim Bewertungsvorschlag, wurde von den ENavi-Forschenden als wünschenswert angesehen, ließ sich aufgrund von Ressourcenbegrenzungen aber nicht realisieren. Um die Workshops bestmöglich für Diskussionen nutzen zu können, wurde den Stakeholdern im Vorfeld ein vorläufiger Entwurf des hier vorliegenden Berichtes übermittelt.

4
BEWERTETE SZENARIEN UND MAßNAHMENBÜNDEL

4.1 Übersicht über die bewerteten Szenarien

Insgesamt wurden in ENavi fünf Szenarien aus einer großen Vielfalt von Szenarien ausführlich bewertet: ein Ausgangsszenario und vier Vergleichsszenarien. Das Ausgangsszenario entspricht dem am wenigsten interventions-aktiven Politikszenario und besteht ausschließlich aus dem Szenariorahmen. Es enthält ein „leeres Maßnahmenbündel“ und ist Ausdruck einer „passiv-abwartenden“ Bundespolitik. Die Vergleichsszenarien enthalten zusätzlich drei interventions-geprägte Maßnahmenbündel, die auf die Erreichung der Klimaschutzziele in Deutschland und Europa abzielen (Tabelle 1). Die Maßnahmen selbst bewegen sich im Spannungsfeld „Ordnungsrecht“ und „Markt“, wobei eine Verortung nur qualitativ möglich erscheint.

Tabelle 1: Zusammensetzung der alternativen Maßnahmenbündel in den bewerteten Szenarien[8,9]

Orientierung	Einzelmaßnahme	Ausgangs-szenario	Maßnahmenbündel in den Vergleichsszenarien			
			KAS	KAS+	COP+	COP
Ordnungs-recht	Vorgegebener schneller Ausstiegspfad für deutsche Kohlekraftwerke (KAS)	Nein	Ja	Ja	Nein	Nein
	EEG-Reform zur Beschleunigung des Ausbaus Erneuerbarer Energien (EE+)	Nein	Nein	Ja	Ja	Nein
	Nationale Löschung bzw. Stilllegung von CO_2-Zertifikaten im EU-ETS (ZS)	Nein	Nein	Ja	Ja	Nein
Markt	Nationaler Mindestpreis für CO_2-Zertifikate im EU-ETS (COP)	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja

Die vier enthaltenen Maßnahmen sind auf der Ebene der Bundespolitik angesiedelt, fokussieren sich auf den Handlungsspielraum der Bundesregierung und des deutschen Parlaments und gehen von einer Implementierung der Maßnahmen im Jahre 2020 aus.

Umgang mit der Vielfalt an Ausstiegsszenarien

Die Entwicklung der Zukunft ist prinzipiell – unter Berücksichtigung existierender Pfadabhängigkeiten – offen und gestaltbar. Die verwendeten Szenarien für die Bewertung stellen daher eine Auswahl aus unterschiedlich wahrscheinlichen „Zukünften“ dar. Die Begrenzung diente in erster Linie zur fundierten Erprobung des Bewertungsprozesses und Sicherstellung eines ausreichenden Detailgrades bei limitierten Personalressourcen. Sie darf jedoch nicht als Festlegung auf nur diese Zukünfte oder gar als Prophezeiung missverstanden werden.

[8] Im Rahmen der Szenario-Arbeit kamen verschiedene Abkürzungen zum Einsatz, um die interne Kommunikation zu erleichtern. Für die Maßnahmen sind diese in der Tabelle enthalten. Für die Szenarien entsprechen diese den jeweiligen Hauptmaßnahmen, wobei ein „+“ die möglichen Zukünfte kennzeichnet, in denen die beiden flankierenden Maßnahmen unterstützend wirken.

[9] Das in der Übersicht enthaltene „COP“-Szenario wurde innerhalb der Forschenden diskutiert, spielte aufgrund des geringen Ambitionsniveaus in der diskursiven Bewertung allerdings nur eine untergeordnete Rolle. Es wird deshalb nachfolgend nicht weiter behandelt.

4.2 Maßnahmen-Steckbriefe und Szenariorahmen

Alle betrachteten Szenarien setzen sich allgemein aus einem gemeinsamen Szenariorahmen und Variationen von Maßnahmenbündeln zusammen. Als Kernmaßnahmen innerhalb der Bündel werden KAS und COP verstanden, die direkt auf den Kohleausstieg abzielen. Die Maßnahmen EE+ und ZS sind flankierende Maßnahmen, die unerwünschte Nebeneffekte der Kernmaßnahmen reduzieren bzw. verhindern sollen. Die Maßnahmen aus den Maßnahmenbündeln und der Szenariorahmen werden nachfolgend überblicksartig vorgestellt.[10]

Vorgegebener schneller Ausstiegspfad für deutsche Kohlekraftwerke (KAS)

Die Stilllegung der Kohlekraftwerke wird durch eine Vorschrift reguliert und eine Nichtbeachtung sanktioniert. Der Ausstiegsfahrplan wird durch die Legislative grob vordefiniert und mit Anlagenbetreibern konkret ausgehandelt. Der zulässige späteste Ausstieg ist für den Zeitraum zwischen 2035 – 2040 politisch vorgegeben. Für die Braunkohle-Sicherheitsbereitschaft (vorläufige Stilllegung ohne Rückkehrmöglichkeit in den Strommarkt) wird eine eigene Annahme getroffen, welche die bestehende Regelung ausweitet und die Regularien zur Netzsicherheit ergänzt: Alle aus dem Markt ausscheidenden Stein- und Braunkohlekraftwerke werden zunächst in die Sicherheitsbereitschaft übernommen. Hierdurch verzögert sich das endgültige Ausscheiden der Kraftwerke um mehrere Jahre (Abbildung 6).

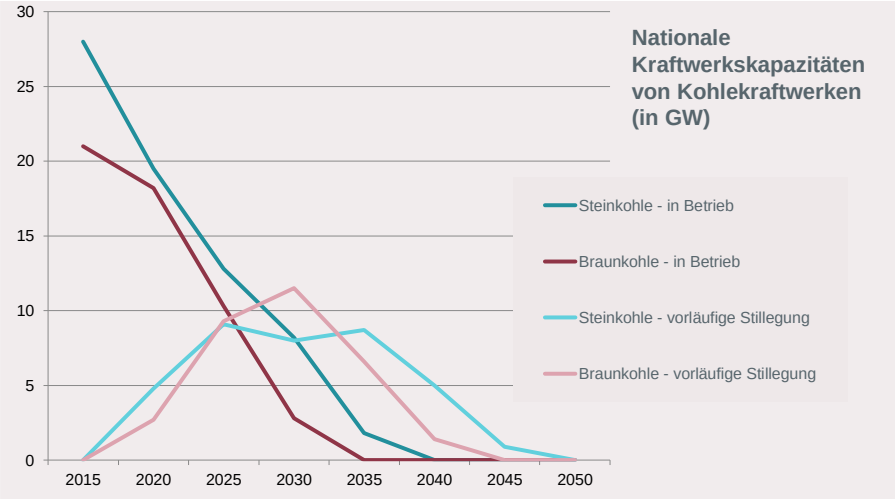


Abbildung 6: Verlauf der Stilllegung von Kohlekraftwerken in KAS

Die Ausgleichszahlungen an Anlagenbetreiber, Arbeitnehmerinnen und -nehmer sowie betroffene Regionen sollen in Aushandlungsrunden nach Gerechtigkeitsprinzipien festgelegt werden. Der daraus abgeleitete „Energiewende"-Anteil wird als „Kohle-Cent" auf den Strompreis umgelegt. Der restliche Anteil wird auf anderem Wege im Staatshaushalt ausgeglichen, wobei die konkrete Finanzierung in diesem Szenario nicht definiert ist.

Nationaler Mindestpreis für CO_2-Zertifikate im EU-ETS (COP)

Deutschland führt wie die Staaten der fiktiven EU-Vorreiterallianz (bestehend aus Belgien, Dänemark, Frankreich, Luxemburg, Niederlande und Schweden) aus dem Rahmenszenario einen nationalen CO_2-Mindestpreis für alle Anlagen in der Energiewirtschaft ein, der den europäischen Emissionshandel auf nationaler Ebene ergänzt. Dieser Mindestpreis gilt nur beim Handel innerhalb oder zwischen energiewirtschaftlichen Anlagen im Hoheitsgebiet der Vorreiterallianz und bei kostenpflichtiger Ausgabe durch die nationalen Ausgabestellen der Staaten.

Tabelle 2: Pfad des vorgegebenen nationalen CO_2-Mindestpreises

Jahr	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
CO_2-Mindestpreis [€$_{2010}$ / t CO_2-Äquivalent]	30	45	60	75	90	105	120

[10] Gaschnig et al. (i. E.) enthält eine ausführliche Darstellung der Politikszenarien und Maßnahmenbündel.

Der deutsche Staat verwendet die Einnahmen zweckgebunden für Klimaschutzmaßnahmen. Die Anwendung in den Betrieben wird durch die Emissionshandelsstelle des Umweltbundesamtes kontrolliert und bei Verstößen im Rahmen des geltenden Umweltschutzrechts sanktioniert.

EEG-Reform zur Beschleunigung des Ausbaus Erneuerbarer Energien (EE+)

Das EEG 2017 regelt in § 4 die Ausbaupfade von EE-Anlagen für die nächsten Jahre. Diese Pfade werden durch die Maßnahme „EE+“ reformiert. Hierbei wird angenommen, dass Deutschland seine technologiespezifischen Ausbauziele am Zielwert für die Bruttostromerzeugung aus Erneuerbaren Energien ausrichtet (Tabelle 3). Im vorliegenden Fall wird angenommen, dass sich die neuen technologiespezifischen Zielwerte an den in ENavi-Modellen errechneten, kostenoptimierten Ausbauzahlen orientieren, die den erforderlichen Mindestanteil am Bruttostromverbrauch gewährleisten.

Tabelle 3: Reform der Ausbaumengen im EEG

Zielsetzung	Technologie	Einheit	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Ausgangs-szenario (wie EEG 2017)	Windkraft, Onshore	Brutto-Zubau [MW/a]	2.900	2.900	2.900	2.900	2.900	2.900	2.900
	Windkraft, Offshore	Installierte Leistung, gesamt [MW]	6.500	k. A.	15.000	k. A.	k. A..	k. A.	k. A.
	Photovoltaik	Brutto-Zubau [MW/a]	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500
	Biomasse	Brutto-Zubau [MW/a]	200	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
	EE-Bruttostrom-erzeugung (Ziel)	Resultierender Anteil am Bruttostromverbrauch (EE, insg.) [%]	k. A.	40 bis 45	k. A.	55 bis 50	k. A.	k. A.	mind. 80
Szenarien mit „EE+“	EE-Bruttostrom-erzeugung (Ziel)	Mindest-Anteil am Bruttostromverbrauch [%]	43	57	70	83	85	86	87

Es wird unterstellt, dass in der Novellierung des EEG nur die Ausschreibungsmengen für große EE-Anlagen entsprechend erhöht werden. Weitere Änderungen im bestehenden Rechtssystem sieht diese Maßnahme nicht vor. Es werden also keine Anpassungen bezüglich Kosten- und Vergütungsmechanismen sowie -summen, Abstandsregelungen, Umweltschutzbelangen oder ähnliches vorgenommen.

Nationale Löschung bzw. Stilllegung von CO_2-Zertifikaten im EU-ETS (ZS)

Es wird unterstellt, dass von der bereits existierenden Option innerhalb des Europäischen Emissionshandels einer nationalen Löschung bzw. Stilllegung von Emissionszertifikaten Gebrauch gemacht wird. Die Zertifikate, die durch vorläufige oder endgültige Stilllegung von Kohlekraftwerken nicht verwendet würden, werden durch die Deutsche Emissionshandelsstelle des Umweltbundesamtes vollständig und kostenfrei gelöscht. Sie ist auch für die Festlegung der zurückzuhaltenden und nach Prüfung zu löschenden Zertifikatsmengen verantwortlich. Eine zusätzliche Kontrolle des EU-ETS ist gegenüber den bestehenden Kontrollmechanismen nicht erforderlich bzw. vorgesehen.

Szenariorahmen

Der Szenariorahmen enthält wichtige Annahmen über die Entwicklung der Zukunft in allen Teilbereichen der nationalen, europäischen und globalen Gesellschaft. Dies umfasst eine energetische, technische, ökonomische, politische, soziale und ökologische Dimension. Eine Übersicht über die politische Dimension kann Tabelle 4 entnommen werden.

Die Annahmen für Größen aus den übrigen Dimensionen waren Gegenstand der Abstimmung zwischen den Beteiligten innerhalb des Teams aus Expertinnen und Experten zur Folgenabschätzung in ENavi (insbesondere in den eingesetzten Energiesystemmodellen). Diese Parameter wurden für alle ausführlich bewerteten Szenarien konstant gehalten, um eine systematische Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Mögliche Rückwirkungen zwischen den Politikszenarien und dem Szenariorahmen wurden nicht angenommen bzw. modelliert. Diese Vereinfachung ist Teil kritischer Reflexion für zukünftige Verbesserungen.

Tabelle 4: Übersicht über Ziele und Maßnahmen im Szenariorahmen

Ebene	Ambitionen	Ziele	Maßnahmen
Welt	mittel	• national festgelegte Beiträge nach Pariser Klimaschutzabkommen • resultierende Erderwärmung um 2,7 °C*	• keine gemeinsamen verpflichtenden globalen Klimaschutzmaßnahmen (wie etwa globaler Emissionshandel) • freiwillige Optionen nach Kyoto-Protokoll (Effort Sharing, Emission Trading, Clean Development Mechanism, Joint Implementation) • einzelne Länder nicht genauer betrachtet (unter anderem Bepreisung von Treibhausgasen in mehreren Ländern) • Implementierungslücke für Erreichung der NDCs (im Szenariorahmen näherungsweise als geschlossen betrachtet)
Europa	mittel bis hoch	• Bis 2030: Reduktion der CO_2-Emissionen um 40%** • Bis 2050: Reduktion der CO_2-Emissionen um 80 – 95%** • aufgeteilt nach Emissionshandel und Lastenteilung auf die EU-Länder	• umfangreicher gemeinsamer Rechtsrahmen für Klimapolitik, Energiemärkte, Energieeffizienz und andere Bereiche • Emissionshandel für alle EU-Länder • CO_2-Mindestpreis im Emissionshandel für teilnehmende EU-Länder an einer (fiktiven) Vorreiterallianz • Implementierungslücke bei Nicht-ETS-Emissionen
Deutschland	hoch	• Bis 2030: Reduktion der CO_2-Emissionen um 55%** • Bis 2050: Reduktion der CO_2-Emissionen um 90%** • Aufteilung der Gesamtziele auf die Wirtschaftsbereiche nach dem Quellprinzip („Sektorziele“)	• umfangreicher Rechtsrahmen für die Energiewirtschaft (insbesondere über EU-ETS, EEG & Co.) • neue Maßnahmen aus dem Klimaschutzplan 2050 befinden sich noch in Vorbereitungsphasen (Umsetzung im Szenariorahmen nicht definiert) • Implementierungslücke bei Nicht-ETS-Emissionen
Bundesländer Kommunen	k. A.	• nicht betrachtet (heterogen) • keine zusätzlichen Ziele gegenüber dem bestehenden Rechtsrahmen	• nicht betrachtet (heterogen) • keine zusätzlichen Ziele gegenüber dem bestehenden Rechtsrahmen

* Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur bis 2100 gegenüber dem vorindustriellem Niveau
** Reduktion der gesamten CO_2-Äquivalent-Emissionen im Vergleich zu 1990

5 NACHHALTIGKEITSPROFILE DER SZENARIEN

5.1 Erstellung und Vergleich der Nachhaltigkeitsprofile

Für die oben beschriebenen Politikszenarien wurden Folgenabschätzungen (Assessments) und Bewertungen (Evaluations) für die zehn Kriterien sowie deren Unterkriterien und Indikatoren erarbeitet. Die Ergebnisse liegen für alle zehn Kriterien in Form ausführlicher Bewertungsberichte vor. Eine gestraffte, einheitliche Form ist für jedes Kriterium als Kapitel im Anhang des vorliegenden Berichtes enthalten.

Die wesentlichen Ergebnisse der Einzelanalysen wurden auf Ebene der Kriterien aggregiert und für die Szenarien als Nachhaltigkeitsprofile zusammengefasst. Diese Profile kennzeichnen die Bewertungsergebnisse nicht per se als „nachhaltig", sondern geben einen Überblick über den Grad der Erfüllung der Maßnahmenbündel auf den einzelnen Kriterien in zentralen gesellschaftlich relevanten Wirkungsbereichen. Nachfolgend werden diese Szenarien paarweise entlang der Entstehungslogik ihrer Maßnahmenbündel auf Basis der Kriterien miteinander verglichen und als Spinnennetzdiagramme visualisiert.

Ausgangsszenario

Im Ausgangsszenario verfehlt Deutschland seine gesetzten Ziele für den Klimaschutz, den EE-Ausbau und für Effizienzsteigerungen oder erreicht diese nur knapp. Die Situation für Kosteneffizienz und Gesamtkosten der Energiewende sowie die Resilienz des Energiesystems werden als mittelmäßig eingeschätzt und verändern sich im Zeitverlauf kaum.[11]

Der Verbrauch fossiler Ressourcen, die Flächeninanspruchnahme und Wasserentnahme durch die Kohleförderung sind aus Umwelt- und Nachhaltigkeitssicht nicht nachhaltig. Die Feinstaubemissionen der Kohleverstromung sind für die menschliche Gesundheit im Szenario-Vergleich am bedenklichsten. Der soziale Zusammenhalt wird für die Gegenwart als kritisch gesehen. Diese Bewertung beruht insbesondere auf einer Betrachtung der Situation einkommensschwacher Haushalte sowie einer mittelhohen Belastung für die öffentlichen Haushalte. Die Planungssicherheit wird aufgrund offener Rahmenbedingungen, aber zugleich ausreichend Zeit für Anpassungsmaßnahmen als tendenziell mittelmäßig eingeschätzt. Die nationale Wohlfahrt ist kurzfristig durch eine höhere Wertschöpfung, aber langfristig sinkende Wettbewerbsfähigkeit und erhöhte Klimafolgekosten gekennzeichnet.

Im Ausgangsszenario kommt nur geltendes Recht zum Einsatz, weshalb die Rechtssicherheit als hoch eingeschätzt wird. Die Legitimität einer abwartend-passiven Bundespolitik ist dagegen niedrig, da ein grundsätzlicher gesellschaftlicher Konsens über die Notwendigkeit eines Kohleausstiegs existiert. Und aus ethischer Sicht widerspricht das Szenario einer globalen Klimagerechtigkeit und dem Erhalt von Autonomie zukünftiger Generationen, wodurch es als unangemessen bewertet wird.

[11] Die Verantwortlichen für die Kriterien Kosteneffizienz/Gesamtkosten und Resilienz schätzten die Bewertung in der Gesamtaggregation als „nur begrenzt durchführbar" ein. Die Begründungen sind dem Anhang zu entnehmen. Die Ergebnisse werden in diesem Kapitel daher nur eingeschränkt behandelt.

„KAS“-Szenario

Wenn stattdessen nun der nicht flankierte, ordnungsrechtliche Kohleausstiegspfad des KAS-Szenarios beschlossen werden würde, verschiebt sich bei mehreren Kriterien die Bewertung zum Teil beträchtlich (Abbildung 7).

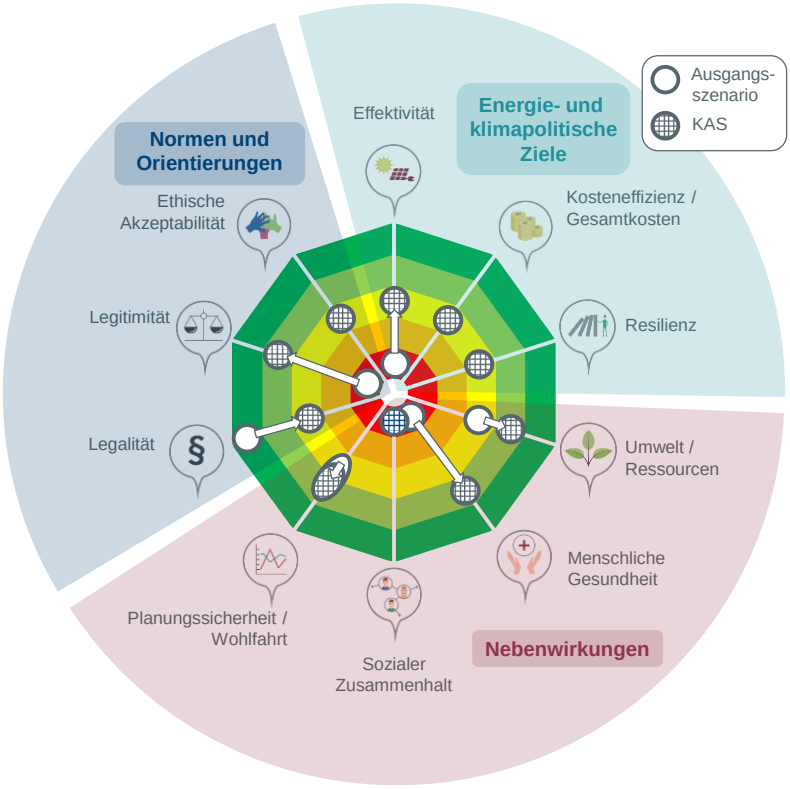


Abbildung 7: Vergleich zwischen Ausgangsszenario und KAS[12]

Beim Effektivitätskriterium kommt das KAS Szenario auf eine mittlere Bewertung. Die nationalen Treibhausgasziele in der Energiewirtschaft für 2030 werden erfüllt. Aufgrund der deutschen Beteiligung am Emissionshandel, tritt jedoch ein Verlagerungseffekt innerhalb der europäischen Union ein („Wasserbetteffekt“) und die Minderungswirkung auf europäischer Ebene bleibt aus. Da das Maßnahmenbündel den Ausbau erneuerbarer Energien und Effizienz nicht berührt, tritt in der Bewertung dieser Unterkriterien keine wesentliche Änderung auf. Aufgrund der fehlenden Kompensation wegfallender Erzeugungskapazitäten durch einen beschleunigten Ausbau der Erneuerbaren steigt die deutsche Importabhängigkeit bei Strom und Gas. Die Resilienz des Gesamtsystems wird aufgrund von Langzeitreserven und der Größe des Verbundnetzes aber nur bedingt beeinträchtigt, so dass die Bewertung unverändert bleibt. Für das Kosten-Kriterium kommen die Bewertenden zu einem ähnlichen Ergebnis: die Änderungen sind nur sehr moderat und beeinflussen die aggregierte Bewertung kaum.

Der Kohleausstieg sorgt zudem für eine mittelfristig eintretende Schonung heimischer fossiler Ressourcen und entlastet die Umwelt durch eine Reduzierung von Wasserentnahme und Flächenverbrauch. Die sinkenden Feinstaub-Emissionen durch die Kohlekraft reduzieren die Immissionen in nahegelegenen Regionen und Städten im Vergleich der Szenarien beträchtlich, weshalb die Bewertung deutlich positiver ausfällt. Die Situation für einkommensschwache Haushalte bleibt unverändert kritisch, während die Belastung für öffentliche Haushalte aufgrund von notwendigen Ausgleichszahlungen an Kraftwerksbetreiber ansteigt. Die Planungssicherheit erhöht sich durch den verordneten Ausstieg dagegen beträchtlich, während bei der Bewertung der Wohlfahrt insbesondere verringerte Klimafolgekosten zu Buche schlagen.

[12] Bei identischer Bewertung des Kriteriums im Vergleich der Szenarien liegen die Eintragungen übereinander. Dies gilt für alle Spinnennetzdiagramme.

Die Rechtsicherheit sinkt durch den Ausstieg leicht. Während ein Bundesgesetz grundsätzlich rechtlich möglich ist, kann insbesondere die Ausstiegsgeschwindigkeit aufgrund wenig schonender Übergangsfristen und einem erhöhten Bedarf an Entschädigungszahlungen gegenüber einem langsamen Ausstieg zu Rechtsunsicherheit führen. Die Bewertung der Legitimität verbessert sich dagegen spürbar, da die „Kohlekommission" als eingesetztes Gremium der Legislative den ordnungsrechtlichen Kohleausstieg legitimiert hat. Gleichzeitig existiert in der Bevölkerung und bei Stakeholdern eine messbare Akzeptanz des Konsenses. Die ethische Gesamtbewertung verändert sich dagegen nicht sichtbar.

„KAS+"-Szenario

Die Abmilderung unerwünschter Nebeneffekte für Klima und Energiesystem durch einen beschleunigten Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland (EE+) und durch eine nationale Löschung von Emissionszertifikaten (ZS) im ambitionierteren „KAS+"-Szenario hat weitere Verschiebungen der aggregierten Bewertungen zur Folge. Die Zertifikatsstilllegungen bewirken nunmehr auch auf europäischer Ebene eine sinkende Emissionsmenge. Diese schlug sich bei Effektivität aufgrund der Systemgrenze der Betrachtung nur auf einen Indikator nieder, zeigte aber auf Kriteriumsebene nur marginale Veränderung.[13] Die Gesamtbewertung für Kosten und Resilienz bleibt aufgrund moderater Bewegungen unverändert.

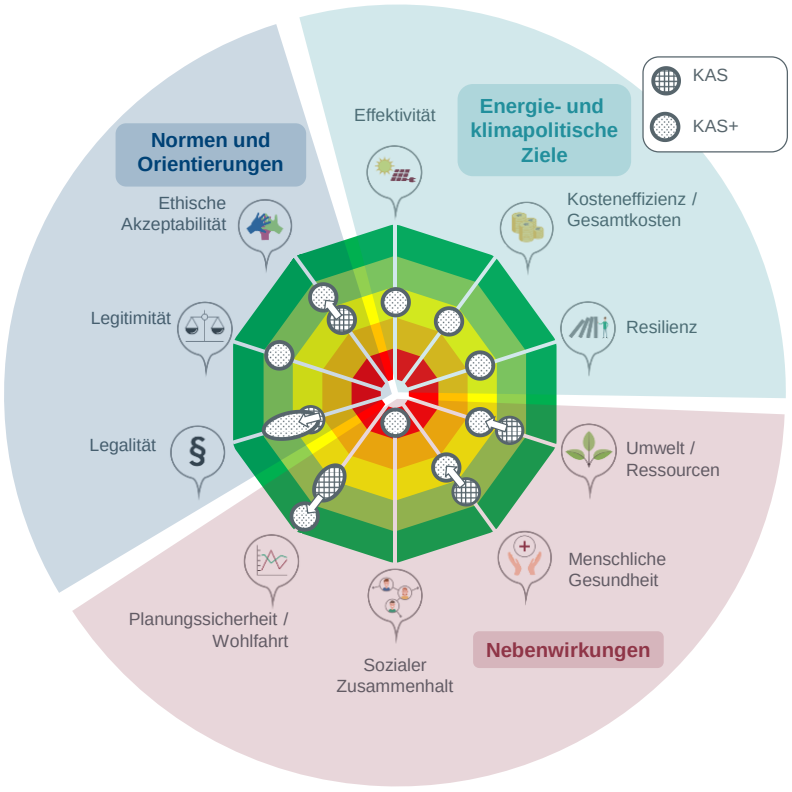


Abbildung 8: Vergleich zwischen KAS und KAS+

Der verstärkte Ausbau von Windkraftanlagen und die damit einhergehenden negativen Auswirkungen für Umwelt durch die hohe Material- und Flächenintensität und für die menschliche Gesundheit durch eine steigende Lärmbelästigung schmälern das Bewertungsergebnis nur wenig. Der soziale Zusammenhalt ist im Verhältnis der Szenarien am stärksten gefährdet, da die Belastung des öffentlichen Haushalts am höchsten ausfällt. Dagegen erhöhen die zusätzlichen Maßnahmen die Planungssicherheit und Wohlfahrt, da eine starke Signalwirkung für die Investitionen der Energiewirtschaft ausgeht und ein konsequenter Umstieg die Klimafolgekosten niedrig hält.

[13] Die Festlegung der Ampelfarbe an dieser Stelle für das Effektivitäts-Kriterium war innerhalb der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler umstritten. Während einige für „gelb" stimmten, plädierten andere mindestens für „hellgrün". Hierbei wird die Bedeutung der Systemgrenze für die Gewichtung gut deutlich: Wenn die nationale Perspektive eingenommen wird, hat eine veränderte Situation für Europa keine oder nur eine geringe Auswirkung auf die aggregierte Bewertung. Wenn allerdings Europa maßgeblich ist, sollte sich dies auch in der Gesamtbewertung niederschlagen. Der Dissens konnte im Dialog nicht vollständig ausgeräumt werden. Aufgrund einer höheren Gewichtung der nationalen Perspektive und unter Berücksichtigung der unveränderten Situation der Effizienzziel-Erreichung behielt der Kriteriums-Verantwortliche schließlich die gelbe Bewertung bei. Dieses exemplarische Beispiel soll die Bedeutung von Verfahrensfragen bei Uneinigkeit illustrieren. In zukünftigen transdisziplinären Verbundvorhaben mit einem diskursiven Schwerpunkt erscheint es sinnvoll, solcherlei Prozessfragen in der Methodenplanung von vornherein ausreichend zu berücksichtigen.

Eine nationale Zertifikatsstilllegung ist rechtssicher möglich. Die Detailtiefe der Beschreibung des beschleunigten EE-Ausbaus genügte jedoch nicht für eine Bewertung der Einzelmaßnahme. Beide Maßnahmen stoßen bei Haushalten und Stakeholdern auf Akzeptanz, verändern aber die bereits positive Bewertung nicht merklich. Das Szenario genießt zudem aus ethischer Sicht aufgrund der vorrangigen Orientierung am Klimaschutz und damit der Generationengerechtigkeit die größte Akzeptabilität im Szenariovergleich (Abbildung 8).

„COP+"-Szenario

Ein Austausch der vordefinierten Kernmaßnahme, also ein Kohleausstieg, der statt durch Verordnung von einem nationalen CO_2-Mindestpreis nach dem vordefinierten Preispfad des „COP+"-Szenarios getrieben wird, weicht im aggregierten Nachhaltigkeitsprofil teilweise vom „KAS+"-Szenario ab. Die Wirkung auf die klassischen energie- und klimapolitischen Ziele deckt sich in etwa bei beiden Szenarien. Unterschiede sind dagegen bei vier der Nebenkriterien zu verzeichnen.

Die Verringerung schädlicher Immissionen verläuft nach Modellrechnungen langsamer. Aufgrund des relativen Bezugssystems (Szenarien im Vergleich) wirkt sich dies beim Kriterium „Menschliche Gesundheit" stark aus. Beim sozialen Zusammenhalt ist dagegen zum ersten Mal eine leicht positive Entwicklung zu verzeichnen, die aber dennoch nicht über eine gerade noch befriedigende Gesamtbewertung hinauskommt. Die Verbesserung lässt sich auf die zusätzlichen Einnahmen für die öffentlichen Haushalte zurückführen, die durch den nationalen Mindestpreis für zu versteigernde Emissionshandelsberechtigungen erzielt werden können. In jedem Fall sinkt die Belastung der öffentlichen Kassen.

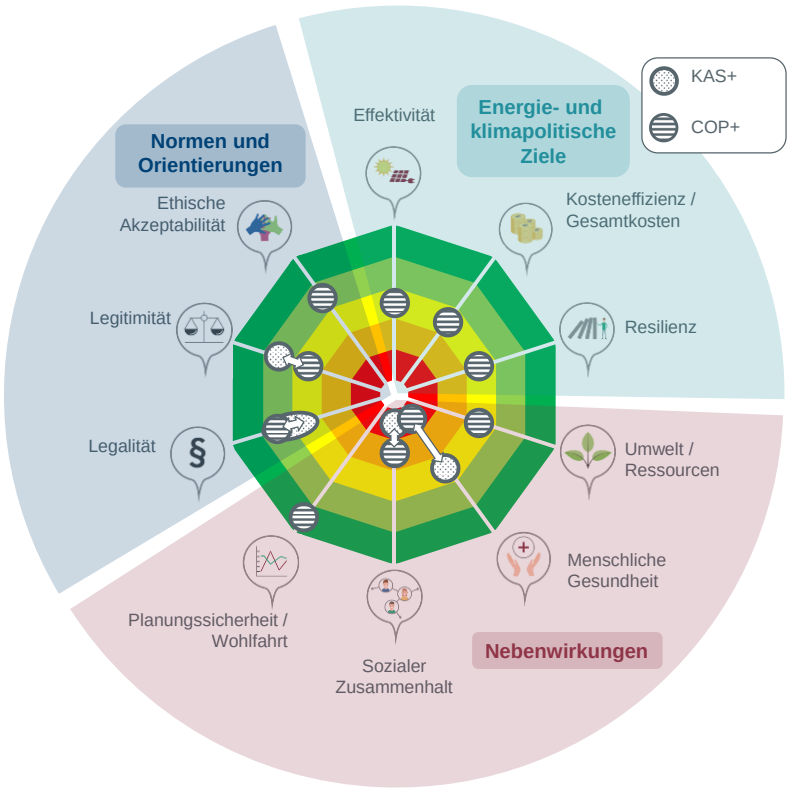


Abbildung 9: Vergleich zwischen KAS+ und COP+

Inwiefern dadurch auch einkommensschwache Haushalte entlastet werden, ist jedoch nicht direkt bewertbar, da die Verwendung der Einnahmen von politischen Beschlüssen abhängt. Überschüsse könnten für sozial ausgerichtete Klimaschutzzwecke eingesetzt werden, müssen es laut Szenario-Beschreibung aber nicht. Da die marktbasierte Ausstiegsvariante mit geringeren rechtlichen Unsicherheiten als KAS einhergeht, fällt die Legalitätsbeurteilung etwas positiver aus. Eine leichte Verschlechterung stellt sich dagegen für die Legitimität ein, da die Kohlekommission einen nationalen CO_2-Mindestpreis nur für Sektoren vorgeschlagen hat, die bisher außerhalb des bestehenden Emissionshandels liegen (Abbildung 9).[14]

[14] Die Kohlekommission bezieht sich explizit auf Nicht-ETS-Sektoren (BMWi 2019).

5.2 Resümee zu den Nachhaltigkeitsprofilen

Die oben gezeigten Vergleiche der Nachhaltigkeitsprofile beziehen sich auf paarweise Differenzen, geben aber keinen Gesamtüberblick. Eine solche Übersicht bietet Tabelle 5. Zusammengenommen zeigt ein Vergleich des Ausgangsszenarios mit den drei interventions-intensiveren Szenarien (KAS, KAS+ und COP+), dass die Kernmaßnahmen für den nationalen Klimaschutz im Stromsektor Wirkung entfalten. In den Szenarien mit flankierenden Maßnahmen (KAS+ und COP+) sind zudem positive Auswirkungen für den europäischen Klimaschutz möglich. Auf nationaler Ebene können wiederum unerwünschte Nebenwirkungen für Klimaschutz und Versorgungssicherheit abgemildert und Planungssicherheit als erwünschte Nebenwirkung erhöht werden, um Investitionen in klima- und umweltfreundliche Technologien und Branchen zu lenken. Insgesamt zielen aber alle Maßnahmenbündel zu einseitig auf die klassischen energiepolitischen Ziele Klimaverträglichkeit, Versorgungssicherheit und zum Teil Wirtschaftlichkeit ab.

Die zunehmende Bedeutung der Sozialverträglichkeit für die Energiewende spiegelt sich dagegen in keinem der Maßnahmenbündeln adäquat wider. Aus Perspektive der sozialen Gerechtigkeit wäre im direkten Vergleich jedoch die Variante COP+ gegenüber KAS+ zu bevorzugen. Denn über einen nationalen Mindestpreis im europäischen Emissionshandel können vielfältig verwendbare Einnahmen für den Staat generiert werden. Im Fall der ambitionierteren CO_2-Bepreisung kann so erstens dem Prinzip der Verursachergerechtigkeit und zweitens der Bedarfsgerechtigkeit besser Rechnung getragen werden. Letzteres gelingt insbesondere, wenn die neuen Mittel für den Schutz bzw. die Entlastung einkommensschwacher und benachteiligter Haushalte sowie für die Protektion und den Aufbau innovativer, kleiner und mittlerer Unternehmen (im Energiesektor und anderen Zukunftsbranchen) verwendet werden.

Da im Vorfeld des Bewertungsdiskurses entschieden worden war, die Diskussionen zu den Bewertungen offen zu gestalten, wurde im Konsens der beteiligten Expertinnen und Experten ein Gesamtresümee für jedes Kriterium aus dieser Zusammenschau der Nachhaltigkeitsprofile (Tabelle 5) sowie weiterführenden Aspekten abgeleitet. Dieses Resümee wurde politiknahen Praxisakteurinnen und -akteuren in Form einer Hypothese präsentiert (Tabelle 6). Sie diente als Grundlage für vertiefende Kleingruppengespräche. Der Dialog war Anlass für eine letztmalige Reflexion der Bewertungsergebnisse durch die Forschenden, in der auch eine Konsistenzprüfung und eine rationale Abwägung bei Zielkonflikten stattfanden. Diese gesammelten Erkenntnisse können in Zukunft für einen weiteren Durchlauf des ENavi-Prozesses zur Verbesserung der Maßnahmenbündel verwendet werden.

Tabelle 5: Nachhaltigkeitsprofile der bewerteten Szenarien eines deutschen Kohleausstiegs[15]

Cluster	Kriterium	Ausgangsszenario	Vergleichsszenario mit Maßnahmenbündel		
			KAS	KAS+	COP+
Energie- und klimapolitische Ziele	Effektivität	4 • THG-, EE- und Effizienz-/Verbrauchsziele werden verfehlt oder nur knapp erreicht	3 • THG-Ziele werden (über)erfüllt • Effizienz-/Verbrauchs- und EE-Ziele weitgehend verfehlt	1 • THG- und EE-Ziele werden (über)erfüllt • Effizienz-/Verbrauchsziele verfehlt	1 • THG- und EE-Ziele werden (über)erfüllt • Effizienz-/Verbrauchsziele verfehlt
	Kosteneffizienz/ Gesamtkosten	- • Moderate Veränderungen • Bewertung begrenzt durchführbar	- • Moderate Veränderungen • Bewertung begrenzt durchführbar	- • Moderate Veränderungen • Bewertung begrenzt durchführbar	- • Moderate Veränderungen • Bewertung begrenzt durchführbar
	Resilienz	- • Diversität und Redundanz leicht verringert • Große Streuung bei Modellen • Hohe Risiken durch verfehlte CO_2-Minderungsziele • Bewertung begrenzt durchführbar	- • Steigende Importe bei Strom und Gas • Geringe Wirkung von KAS auf Resilienz durch Langzeitreserven / Verbundnetz • Bewertung begrenzt durchführbar	- • Diversität und Redundanz gleich (AGS) • Verringerte Importe nicht ausschlaggebend • Bewertung begrenzt durchführbar	- • Verringerte Strom-/Gasimporte (AS) • Zu geringer Speicherzubau • Sicherung von Kraftwerksleistung nicht dargestellt • Maßnahmen ohne Wirkung auf Resilienz • Bewertung begrenzt durchführbar
Nebenwirkungen in „Nicht-Zielbereichen“	Umwelt/Ressourcen	- • Langfristige Schonung (nationaler) Kohlebestände, abgebaggerter Flächen und Wasserentnahmen durch Kohleförderung und -verstromung • Geringster Flächen- und Materialeinsatz für EE (AS)	- • Mittelfristige Schonung (nationaler) Kohlebestände, abgebaggerter Flächen sowie Grund- und Oberflächenwasser • Mäßige Zunahme von Flächen- und Materialeinsatz für EE (AS)	- • Mittelfristige Schonung (nationaler) Kohlebestände, abgebaggerter Flächen sowie Grund- und Oberflächenwasser • Starke Zunahme von Flächen- und Materialeinsatz für EE+ (AS)	- • Langfristig eintretende Schonung (nationaler) Kohlebestände, abgebaggerter Flächen sowie Grund- und Oberflächenwasser • Starke Zunahme von Flächen- und Materialeinsatz für EE+ (AS)
	Menschliche Gesundheit	- • Gesundheitsschädliche Kraftwerks-emissionen besonders hoch (AS)	- • Starke Abnahme von gesundheits-schädlichen Emissionen • Lärm durch Windkraftausbau fällt kaum ins Gewicht	- • Starke Abnahme von gesundheits-schädlichen Emissionen • Lärm durch Windkraftausbau fällt stärker ins Gewicht	- • Abnahme von gesundheitsschädlichen Emissionen etwas später als in KAS+ • Lärm durch Windkraftausbau fällt stärker ins Gewicht
	Sozialer Zusammenhalt	2 • Weitere Verschlechterung der bereits heute kritischen Situation, insb. für Haushalte mit geringem Einkommen • Mittelhohe Belastung für öffentliche Haushalte	3 • Weitere Verschlechterung der kritischen Situation, insb. für Haushalte mit geringem Einkommen • Stärkere Belastung für öffentliche Haushalte (AGS)	3 • Weitere Verschlechterung der kritischen Situation, insb. für Haushalte mit geringem Einkommen • Stärkste Belastung für öffentliche Haushalte (AS)	1 • Stärkste Verschlechterung der kritischen Situation, insb. für Haushalte mit geringem Einkomme • Geringere Belastung für öffentliche Haushalte (AS) durch Einnahmen für den Staat
	Planungssicherheit/ Wohlfahrt	4 • Geringe Planungssicherheit aufgrund offener Rahmenbedingungen • Kurzfristig höhere Wertschöpfung, aber langfristig sinkende Wettbewerbsfähigkeit und erhöhte Klimafolgekosten	3 • Hohe Planungssicherheit durch KA • Kurzfristig höhere Wertschöpfung, aber langfristig sinkende Wettbewerbsfähigkeit bei verringerten Klimafolgekosten (AS)	1 • Durchgehend positive Werte für Planungssicherheit und gesellschaftliche Wohlfahrt	1 • Durchgehend positive Werte für Planungssicherheit und gesellschaftliche Wohlfahrt
Vereinbarkeit mit Normen und Orientierungen	Legalität	- • Nur geltendes Recht	- • KAS rechtssicher durch Bundesgesetz • Weniger schonende Übergangsfristen und erhöhter Bedarf an Entschädigungsregelungen gegenüber KAL	- • KAS und ZS relativ rechtssicher • EE+ nicht bewertbar	- • COP und ZS relativ rechtssicher • EE+ nicht bewertbar
	Legitimität	- • Grundsätzlicher Konsens über die Notwendigkeit eines KA politisch nicht reflektiert	- • Durch Kohlekommission legitimiert • Akzeptanz des KA-Konsenses, aber z. T. Warnungen vor KAS-Folgen	- • Durch Kohlekommission legitimiert • Akzeptanz des KA-Konsenses, aber z. T. Warnungen vor KAS-Folgen	- • Marktbasierter KA durch Kohlekommission nicht legitimiert • Akzeptanz des KA-Konsenses, aber z. T. Warnungen vor KAS-Folgen
	Ethische Akzeptabilität	4 • Widerspruch zur Kohlekommission • Geringe globale Klimagerechtigkeit • Hohe Risiken für Erhalt von Autonomie zukünftiger Generationen	3 • Gestiegene Klima- und Generationengerechtigkeit (AGS), jedoch weiterhin unbefriedigend • Bewertung begrenzt durchführbar	1 • Höchste Klima- und Generationengerechtigkeit durch ZS und EE+ (AS) • Gefahr von Rebound-Effekten • Bewertung begrenzt durchführbar	2 • Höchste Klima- und Generationengerechtigkeit (AS) • Verursacherprinzip durch COP umgesetzt, jedoch Bedarfs- und Chancengerechtigkeit tangiert • Bewertung begrenzt durchführbar

[15] Die angegebene Zahl im Farbfeld entspricht dem vergebenen Rang des Szenarios durch den Kriteriumsbetreuer (z. B. Rang 1 von 4; „-“ bedeutet „keine Angabe“). Abkürzungen: AGS = in Bezug auf das Ausgangsszenario, AS = im Vergleich mit anderen Szenarien, COP = CO_2-Mindestpreis, EE = Erneuerbare Energien, EE+ = beschleunigter Ausbau erneuerbarer Energien, KA = Kohleausstieg, KAL = langsamer (ordnungsrechtlicher) Kohleausstieg, KAS = schneller (ordnungsrechtlicher) Kohleausstieg, ZS = Zertifikatsstilllegung.

Tabelle 6: Hypothesen im Bewertungsdiskurs

Cluster	Kriterium	Hypothese (Langfassung)
Energie- und klimapolitische Ziele	Effektivität	Wenn man den Kohleausstieg ohne flankierende Maßnahmen gestaltet, sind die relevantesten Auswirkungen hinsichtlich des Effektivitäts-Kriteriums diejenigen, dass (i) mangels fehlender Anreize zum Ausbau Erneuerbarer Energien in Deutschland Kraftwerkskapazitäten im Ausland genutzt werden und (ii) THG-Emissionen sich ins europäische Ausland verlagern, sodass für die Reduktion des anthropogen verursachten Klimawandels ggf. wenig gewonnen wäre. Unsere Arbeit zeigt, dass diese unerwünschten Nebenfolgen mit Hilfe der flankierenden Maßnahmen eines verstärkten Ausbaus Erneuerbarer Energien sowie einer Löschung von Emissionen-Zertifikaten auf EU-Ebene abgemildert werden können. Mit dem Kriterium „Effektivität“ wird der Grad der Erreichung von quantitativen Zielen untersucht, die für die Energiewende in Deutschland (und der Europäischen Union) bis für das Jahr 2050 von Seiten der Bundesregierung bzw. dem Europäischen Rat gesetzt worden sind.
	Kosteneffizienz/ Gesamtkosten	Trotz bestehender Unsicherheiten deuten die Modellergebnisse auf keine generelle Gefährdung der Bezahlbarkeit der Stromversorgung in der Zukunft hin. Letztendlich bleibt die Entwicklung der aggregierten Letztverbraucherausgaben für Elektrizität aber stark abhängig von der realen Umsetzung der Energiewende mit (nicht modellierten und) schwer voraussagbaren staatlichen Preiskomponenten und weiteren Faktoren wie etwa der Entwicklung der Stromnachfrage. Die durch den Kohleausstieg erzielte Emissionsreduktion sollte mit der Stilllegung von EU ETS-Zertifikaten und mit einem nationalen CO2-Preis flankiert werden. Andernfalls reduziert sich die Kosteneffizienz der Maßnahme bzw. die in Deutschland vermiedenen Emissionen führen zu weniger echtem Klimaschutz (Rebound-Effekt bzw. Wasserbetteffekt).
	Resilienz	Durch jede Art des Kohleausstiegs drohen Verwerfungen bei der innerdeutschen Versorgungssicherheit, wenn nicht durch beschleunigten EE-Ausbau, neue Back-Up-Strukturen und verstärkte und diversifizierte Importverbindungen flankiert wird. Weitere Risiken ergeben sich durch die systemweite Digitalisierung (Cyber-Angriffe), durch zu geringe Puffer aufgrund von (eng) kostenoptimierter Auslegung des Systems und steigendem Kommunikations- und Koordinationsaufwand durch gewachsene Akteursgruppen und -vielfalt.
Nebenwirkungen in „Nicht-Zielbereichen“	Umwelt/Ressourcen	Zum einen werden durch den Kohleausstieg die fossilen Energieträger langfristig geschont, weniger Flächen abgebaggert und weniger Wasser abgepumpt, zum anderen nimmt durch den Ausbau Erneuerbarer Energien die (energiespezifische) Flächenintensität zu. Kritisch ist auch die Materialintensität, wenn es unter ungünstigen Bedingungen zu Engpässen bei seltenen Erden für Photovoltaik- und Windkraftanlagen käme. Um Engpässe zu vermeiden, sollten Recyclingpotenziale durch den Aufbau einer Kreislaufwirtschaft konsequent genutzt und eine Materialdiversifizierung befördert werden.
	Menschliche Gesundheit	Der Kohleausstieg hat eine sehr deutliche Verringerung gesundheitsbelastender Emissionen zur Folge, da die Quecksilber-, Feinstaub- und NO_x-Emissionen sehr stark vermindert werden. Die Zunahme von Lärmemissionen durch neue Windenergieanlagen an Land müssen jedoch auch beachtet werden, obwohl die mit ihnen verbundenen Belastungen, verglichen vor allem mit Verkehrslärm, nur gering sind. Denn sie stellen in bestimmten Fällen ein wichtiges, wenn nicht sogar entscheidendes Element des lokalen Diskurses dar. Kritische Stimmen in der Bevölkerung bezüglich Lärmbelästigung (und der Veränderung des Landschaftsbildes) sollten ernst genommen werden, um die hohe Akzeptanz der Energiewende in der Bevölkerung zu erhalten. Neben der Verringerung und Vermeidung dieser Effekte, gilt es einen Ausgleich zu schaffen, etwa indem die lokale Bevölkerung umfassend in die Planungs- und Entscheidungsprozesse miteinbezogen und idealerweise an den Erträgen beteiligt wird.
	Sozialer Zusammenhalt	Da die ärmsten Haushalte bereits heute einen problematisch hohen Anteil ihres verfügbaren Einkommens für Energie (Strom, Wärme, Warmwasser) ausgeben müssen, werden sie im Falle eines Kohleausstieg ohne flankierende sozialpolitische Maßnahmen aufgrund der eintretenden Preissteigerungen beim Strom (0,5 – 2 ct/kWh) und anderen Gütern des täglichen Lebens in einem Ausmaß negativ betroffen sein, das den allgemein als noch vertretbar angesehenen Rahmen noch weiter übersteigt. Damit wird die bereits bestehende Dringlichkeit solcher flankierenden Maßnahmen noch erhöht. Solche Maßnahmen umfassen vor allem zwei Typen: zum einen sozialpolitische (z. B. Transferleistungserhöhungen, Sozialtarife usw.), zum anderen solche, die auf einen effizienteren Energieverbrauch abzielen und somit zu Ausgabensenkungen in Haushalten beitragen können (z. B. Ausgabe stromsparender Geräte an ärmere Haushalte, intensivierte und verbesserte Energieberatungsangebote ö. ä.). Maßnahmen beider Ansätze müssen in geeigneter Weise ausgestaltet und im Zeitverlauf so kombiniert werden, dass Klimaschutzbemühungen nicht konterkariert werden.
	Planungssicherheit/ Wohlfahrt	Die Modellergebnisse weisen für einen Kohleausstieg einerseits relevante gesellschaftliche Mehrkosten sowie in einigen Branchen (insbesondere Eisen/Stahl und nicht-metallische Mineralien) eine abnehmen-de internationale Wettbewerbsfähigkeit aus; andererseits sind gesamtwirtschaftlich gesehen positive Effekte für die Wertschöpfung und den Arbeitsmarkt zu erwarten. Aus einer umweltökonomischen Perspektive stehen den Mehrkosten eines beschleunigten Kohleausstiegs deutlich höhere (Faktor 4-10) vermiedene Folgekosten (insbesondere durch Klimawandel) gegenüber. Damit fällt eine kostenbezogen ganzheitliche Bewertung eines Kohleausstiegs eindeutig positiv aus.
Vereinbarkeit mit Normen und Orientierungen	Legalität	Die Rechtsordnung bietet der Politik die notwendigen Möglichkeiten für einen klimafreundlichen und sozialverträglichen Ausstieg aus der Kohleverstromung. Sie gebietet aber ebenso, neben dem Klimaschutz auch die Interessen der Betreiber von Kohlekraftwerken und nicht zuletzt das Bedürfnis der Allgemeinheit an einer kostengünstigen und sicheren Energieversorgung zu berücksichtigen.
	Legitimität	Ein schneller ordnungsrechtlicher Kohleausstieg ist durch die Kohlekommission grundsätzlich legitimiert, erfordert allerdings differenzierte flankierende Maßnahmen zur sozialen Abfederung. Die Stilllegung von Zertifikaten aus dem europäischen Emissionshandel erhöht die Legitimität eines Kohleausstiegs.
	Ethische Akzeptabilität	Im Rückblick war etwa der Ausstieg aus dem deutschen Steinkohlebergbau (im internationalen Vergleich) ethisch betrachtet ein „Paradebeispiel“, das dem generellen Kohleausstieg als Vorbild dienen könnte. Denn hierbei wurde die berufliche Situation der betroffenen Bergleute mit Maßnahmen flankiert, die für soziale Sicherheit sorgten und durch die Hilfen ein kollektives (innerdeutsches) Wir-Gefühl erzeugten. Zugleich wurde ein Ausgleich zwischen den verschiedenen Gerechtigkeitsansprüchen aller Betroffenen geschaffen.

5.3 Exkurs: Vergleich mit Kohlekompromiss[16]

Die Kommission „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“ (im Folgenden vereinfachend „Kohlekommission“ genannt) erhielt in ihrem Einsetzungsbeschluss vom 6. Juni 2018 der Bundesregierung mehrere Aufträge. Hierzu zählte insbesondere die Erarbeitung eines gesellschaftlich tragfähigen Konsenses oder Kompromisses zur schrittweisen Reduzierung und Beendigung der Kohleverstromung (BMWi 2019).

Die ENavi-Forschenden planten die Debatte der Kommission mit den Resultaten des eigenen Prozesses zu informieren. Das systematische Gesamtergebnis der Bewertung in Form der Nachhaltigkeitsprofile wurde allerdings erst nach Veröffentlichung des Kommissionsberichtes fertiggestellt. Aus diesem Grund konnten Resultate nur in Form von Einzelbeiträgen eingebracht werden (Pahle et al. 2019). Aufgrund der ähnlichen Zielsetzung und weitgehend parallelen Erarbeitung, jedoch unterschiedlicher Verfahrensweise erscheint ein qualitativer Vergleich der Prozesse und Ergebnisse möglich und sinnvoll, um aus diesem für Folgeprojekte Lehren zu ziehen.[17] Hierfür wird nachfolgend ein kurzer Überblick zur Kommission gegeben, um wesentliche Charakteristika rasterartig den Befunden aus ENavi gegenüberzustellen.

Zielsetzung, Ergebnisse und Vorgehen der Kommission

Zur Erreichung der Zielsetzung diskutierte die Kommission verschiedene Optionen, die sie anhand von Bewertungsmaßstäben evaluierte. Als Maßstäbe für die sukzessive Beendigung der Kohleverstromung nutzte sie die Kriterien Umweltverträglichkeit, Versorgungssicherheit, Wirtschaftlichkeit (Bezahlbarkeit, Wettbewerbsfähigkeit), Energieinfrastruktur sowie Planungs- und Rechtssicherheit. Damit die Beendigung nicht zu Strukturbrüchen in den kohlefördernden Regionen führt, wählte sie zudem für die Bewertung die Kriterien Strukturentwicklung, Vermeidung von Strukturbrüchen, Sicherung der Wertschöpfung, neue Perspektiven für Innovation, neue Geschäftsmodelle und sozialer Zusammenhalt. Hierbei schätzte sie alle Aspekte als gleichrangig ein.

Die Kommission empfahl in ihrem Abschlussbericht entsprechend ihres breiteren Auftrages, der strukturwandel-, klima- und kohlebezogene Zielsetzungen enthielt, eine größere Anzahl an Maßnahmen. Im Bereich des Klimaschutzes sah sie erstens einen Kohleausstieg auf freiwilliger, einvernehmlicher Basis mit ausgehandelten Entschädigungszahlungen vor. Dieser sollte durch einen ordnungsrechtlichen Ausstieg per Vorschrift und Entschädigungszahlungen im Rahmen der rechtlichen Erfordernisse ergänzt werden, wenn keine Einigung erzielt wird. Zweitens wies sie auf die Möglichkeit hin, CO_2-Zertifikate des europäischen Emissionshandels ab 2021 auf nationaler Ebene stilllegen zu können und empfahl, diese Option bis maximal der durch den vorgezogenen Ausstieg eingesparten CO_2-Menge auch zu nutzen. Drittens legte sie nahe, die jährliche EE-Zubau-Menge soweit zu erhöhen, dass diese im Einklang mit dem 65-Prozent-Ziel bis 2030 stünde. Dies sollte zugleich marktkonform und systemdienlich geschehen. Viertens sah sie eine Weiterentwicklung, Verlängerung und Fortführung des Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetzes vor, um die Wärmeversorgung (Fern- und Prozesswärme) zu kompensieren, die aus stillzulegenden Kohlekraftwerken stammt. Daneben schlug sie Maßnahmen in weiteren Bereichen vor, um die Energiewende auf vielfältige Weise voranzubringen. Damit wollte sie mehreren Zielsetzungen gleichzeitig gerecht werden, die sie im Einsetzungsbeschluss erhalten hatte.

Die Kohlekommission tagte während ihres Bestehens vom 26. Juni 2018 bis 25. Januar 2019 insgesamt neun Mal in einem circa monatlichen Rhythmus. In ihren ersten Sitzungen hörte sie Sachverständige aus Bund, Ländern, Wirtschaft, Gewerkschaften, Wissenschaft und Zivilgesellschaft an. Ergänzend unternahm sie Exkursionen in drei Braunkohlereviere, um dort mit Vertreterinnen und Vertretern der jeweiligen Landesregierungen, Kommunen, regionalen Unternehmen, Hochschulen, Kirchen und Bürgerinitiativen zu diskutieren. Die Vorsitzenden und Mitglieder der Kommission waren hochrangige Persönlichkeiten aus Politik, Wissenschaft, Industrie, Wirtschaft und Zivilgesellschaft, die in ihrer Zusammensetzung das Spektrum der Sichtweisen und Interessen weitgehend abbildeten.

[16] Dieser Abschnitt spiegelt insbesondere die Einschätzung der Leitung und Koordination des Arbeitspaketes 11 wider. Es handelt sich hierbei um einen Exkurs, da ein Vergleich mit der Arbeit der Kohlekommission ursprünglich kein Ziel des Projektes war. Eine Gegenüberstellung erscheint jedoch nützlich, um Lehren für die Weiterentwicklung und potenziell mittelfristige Nutzung des ENavi-Prozesses in politischen Verfahren zu ziehen.

[17] Lediglich die Kriterien „Legitimität“ und „Ethische Akzeptabilität“ nehmen Bezug auf die Ergebnisse der Kohlekommission. Diese Bewertungen wurden nach Erscheinen des Kommissionsberichtes im Frühjahr 2019 ergänzt.

Gegenüberstellung von Kommission und ENavi

Im Vergleich weisen der ENavi-Prozess zum Kohleausstieg und dessen Produkt einige Parallelen, aber auch erhebliche Unterschiede zur Kohlekommission und dem Kohlekompromiss auf. Parallelen sind erstens in der inter- und transdisziplinären Herangehensweise zu finden, die verschiedene Wissensbestände integriert. Zweitens wird eine Vielzahl an Maßnahmen vorgeschlagen, die in ihrer Summe einem großen Maßnahmenbündel mit mehreren gleichrangigen Zielsetzungen entsprechen. Dabei ähneln drei Maßnahmen, die in ENavi ausführlich bewertet wurden, stark den für den Klimaschutz vorgebrachten Vorschlägen der Kohlekommission. Und drittens stimmen die Zielsetzungen und Bewertungsmaßstäbe der Kommission zu großen Teilen mit den Bewertungskriterien überein oder stellen Teilaspekte der Kriterien dar. Allerdings bestehen auch zahlreiche Differenzen, insbesondere bei genauerer Betrachtung:

1. **Zielsetzung der beiden Prozesse:** Die Kommission war unter anderem mit der Aufgabe betraut worden, der Bundesregierung einen Instrumentenmix vorzuschlagen, „[…] der wirtschaftliche Entwicklung, Strukturwandel, Sozialverträglichkeit, gesellschaftlichen Zusammenhalt und Klimaschutz zusammenbringt und zugleich Perspektiven für zukunftsfähige Energieregionen im Rahmen der Energiewende eröffnet“ (S. 109). Dies kann als Vorgabe interpretiert werden, ein Maßnahmenbündel zu schnüren, das überwiegend positive Bewertungen („grüne“ Ampeln) in den aufgezählten Zielbereichen erreicht. Die Erreichung eines normativen Soll-Zustandes wurde durch weitere Bewertungsmaßstäbe ergänzt. Diese konkretisierten die vorhandenen Ziele und beinhalteten Voraussetzungen bzw. Gelingensbedingungen und spezifische Restriktionen („rote Linien“) der Kommissionsmitglieder. Der Zielkorridor des zulässigen Maßnahmenbündels wurde damit stark eingegrenzt. In ENavi wurde ebenfalls das Ziel formuliert, alternative Maßnahmenbündel zu entwickeln, die in der Bewertung im energiepolitischen Zieldreieck bzw. Zielviereck gut abschneiden sollten. Die Forschenden hatten sich für ihren Testlauf allerdings gegen eine zu starke normative Voreingrenzung entschieden. Sie sahen methodische Herausforderungen durch ein starkes Anwachsen der Größe alternativer Maßnahmenbündel, die eine zeitgerechte Bearbeitung erschwert hätten. Hierzu zählte, dass (1) die Folgenabschätzung mit dem vorhandenen ENavi-Methodeninventar größere Lücken aufgewiesen hätte, (2) ein systematischer Vergleich der Szenarien zusätzlich erschwert, (3) der Bewertungsprozess insgesamt verlangsamt und (4) die zeitlich stark begrenzte diskursive Bewertung aufgrund der Bündelgröße mit großer Sicherheit überfrachtet worden wäre.

2. **Adressaten, Dringlichkeit und Art der Konflikte:** Während die Kohlekommission direkt von der Bundesregierung zur politischen Beratung kurz- und mittelfristig relevanter Fragestellungen eingesetzt wurde, handelt es sich bei ENavi um ein Forschungskonsortium zur wissenschaftlichen Erprobung und Weiterentwicklung eines langfristig angelegten Explorations- und Analyseinstrumentariums für eine politische Navigation innerhalb der Energiewende, das durch das BMBF beauftragt wurde. Die Aktualität des Anwendungsfalles im Konsortium durch den Kohleausstieg als Schwerpunkt war damit selbst gewählt. Die Art der Konflikte in beiden Gruppen unterschieden sich zudem recht grundsätzlich. Während im Testlauf überwiegend wissenschaftliche Fragen zur Entwicklung eines standardisierten Verfahrens zur Folgenabschätzung und Bewertung von Politikszenarien im Zentrum standen, spielten gegensätzliche Interessen, Betroffenheiten und Prioritäten in der Kohlekommission bezüglich der Maßnahmenausgestaltung eine viel größere Rolle.

3. **Breite und Tiefe der Maßnahmenausgestaltung:** Während die Maßnahmen ZS und EE+ weitgehend mit den Vorschlägen der Kommission übereinstimmen, ist KAS vielschichtiger gelagert. In der Kohlekommission wird dem Kriterium der Freiwilligkeit ein erhöhter Stellenwert beigemessen, sodass ein zweistufiger Entscheidungsprozess zur Abschaltung vorgesehen ist. Da es sich bei den ausführlich bewerteten Szenarien nur um eine exemplarische Demonstration handelt, die nicht vorgab, die tatsächlich besten Maßnahmenbündel zu entwerfen, ist dies an sich nicht problematisch. Dagegen erscheint die durchschnittliche Genauigkeit und Detailtiefe der Maßnahmen-Entwicklung in ENavi im Vergleich zu den tatsächlichen Vorschlägen politischer Gremien noch relativ niedrig. Über Subszenarien, in denen verschiedene Varianten derselben Maßnahme analysiert werden können, und Sensitivitätsanalysen einzelner Parameter wären entsprechende Differenzierungen aber durchaus realisierbar gewesen.

4. **Diversität der Maßnahmenbündel:** Das vorgeschlagene Maßnahmenset der Kohlekommission adressiert ein breites Spektrum an gleichrangigen und parallel zu verfolgenden Zielsetzungen. Die exemplarisch bewerteten Maßnahmenbündel in ENavi zielten primär auf den Schutz des Klimas und sekundär über die flankierenden Maßnahmen auf ausgewählte Aspekte der Wirtschaftlichkeit und Versorgungssicherheit ab. Zwar wurde im Projekt ebenfalls ein großes Spektrum an Maßnahmen entworfen, das auch die KWK-Komponente thematisierte (Edenhofer et al. 2018). Jedoch entschieden sich die Forschenden aus den bereits geschilderten methodischen Gründen gegen ein zu großes Maßnahmenbündel für einen ersten vollständigen Test des ENavi-Bewertungsprozesses.

5. **Transdisziplinarität:** Die transdisziplinäre Gruppenzusammensetzung garantierte in beiden Fällen den Einbezug verschiedener Wissensbestände (System-, Orientierungs- und Transformationswissen inklusive regionalem und lokalem Wissen). Dennoch waren beide Prozesse mit analogen Herausforderungen konfrontiert, die sich auf die jeweiligen Ergebnisse ausgewirkt haben dürften. Dass in ENavi vorwiegend „klassische“ Klimaschutzmaßnahmen in den ausführlich bewerteten Szenarien betrachtet wurden, kann nur teilweise auf die erwähnten methodischen Herausforderungen zurückgeführt werden. Weitere wichtige Einflussgrößen waren sicherlich die Zusammensetzung der Kompetenzen und Motivationslagen innerhalb der Forschenden, die trotz des Einbezugs sozial-, wirtschafts- und politikwissenschaftlicher sowie psychologischer Expertinnen und Experten im Kern eine starke Energie- und Klimaorientierung aufwiesen. Damit Aspekte wie eine sozialverträgliche Ausgestaltung ausreichend zur Geltung kommen, sollte daher stets auf eine ausgewogene disziplinäre Zusammensetzung der Entscheiderinnen und Entscheider geachtet werden (in diesem Fall dem Auswahlgremium der Szenarien). In der Kohlekommission äußerte sich die Problematik der Gruppenzusammensetzung auf speziellere Weise: Hier stellte Sozialverträglichkeit der Vorschläge eine Kernforderung dar. In der Gesamtschau ist mit dieser Priorisierung eine nicht unerhebliche Belastung der Steuerzahlenden und damit der zukünftigen Generationen verbunden, was ebenfalls eine Sozialverträglichkeitsprüfung erforderlich macht. Allerdings waren diese Gruppen nicht mit eigenen Mitgliedern in der Kommission vertreten, die exklusiv deren Interessen vertreten hätten. Aus Forschungsperspektive stellt sich daher die Frage, ob eine solche personelle Ergänzung einen Einfluss auf das transdisziplinäre Verhandlungsergebnis gehabt hätte. Die Legitimität der Gruppenzusammensetzung und des Resultates wäre in diesem Falle anders zu bewerten. Eine entsprechende Nachbesserung durch Berücksichtigung in der politischen Weiterverwendung der Ergebnisse scheint nach gegenwärtiger Einschätzung wünschenswert und durch die vielfältige Zusammensetzung des Parlamentes auch gesichert.

6. **Methodenwahl und Agilität:** Die Kohlekommission hatte auch den Auftrag erhalten „Maßnahmen [vorzuschlagen], die das 2030er Ziel für den Energiesektor zuverlässig erreichen, einschließlich einer umfassenden Folgenabschätzung“ (S. 109). Ergebnisse zur Folgenabschätzung sind dem Bericht vereinzelt zu entnehmen. Allerdings sind diese über die Anhörungen von Expertinnen und Experten sowie die Diskussionen der Kommission auf qualitative Weise in die Zusammensetzung der Maßnahmenbündel eingegangen. So wurde beispielsweise auf mögliche unerwünschte Folgen einer Maßnahme durch Flankierung reagiert, wie etwa im Fall der Ergänzung von ZS für KAS. Der Fokus lag demnach stärker auf der Entwicklung des Maßnahmensets als auf einer dezidierten Folgenabschätzung.[18] Der erste Schnelldurchgang bis zur Fertigstellung des ENavi-Zwischenberichtes für die Transformation des Stromsystems war hierbei ähnlich angelegt. Im vollständigen Durchlauf wurde dann jedoch eine differenzierte, systematische und quantitative Folgenabschätzung für wenig konkret ausgearbeitete Politikszenarien angeschlossen, die insbesondere auf software-basierten Energiesystemmodellen aufbaute. Die Flexibilität und Agilität des Prozesses bzgl. der Aufnahme weiterer Maßnahmen nahmen in diesem zweiten Durchgang deutlich ab. Ergänzungen und Modifikationen an diesen Bündeln waren erst im Anschluss wieder möglich. Die Kommission bewahrte sich damit aufgrund des Zeitdruckes für die Kompromissfindung eine hohe Agilität, der in ENavi aufgrund der Langfristorientierung des Vorhabens nicht derselbe Stellenwert zukam.

[18] Die Auswirkungen der Vorschläge wurden jedoch im Anschluss wissenschaftlich abgeschätzt (vgl. etwa Agora Energiewende und Aurora Energy Research 2019).

Die Unterschiede in den Resultaten sind also zum Großteil auf verschiedene Zielsetzungen und methodische Zugänge des wissenschaftlich-getriebenen gegenüber dem politisch-motivierten Prozess zurückzuführen. Ein harter Vergleich erscheint bei näherer Betrachtung also nicht zielführend. Insgesamt können aber einige „lessons learned“ formuliert werden: Der politische Betrieb war agiler, leistungsfähiger (Maßnahmenzusammenstellung) und demokratischer (Szenarioauswahl) organisiert als der erste, komplette Durchlauf des ENavi-Ansatzes. Allerdings enthielt dieser keinen systematischen Vergleich von Folgenabschätzungen und keine transparenten Bewertungen von Alternativen, der das Ergebnis zusätzlich legitimiert hätte. Dieser Vorsprung im Bereich Agilität und demokratischer Organisation kann aber durch weitere Entwicklung und Erprobung aufgeholt und ggf. bei ausreichender Entwicklungszeit sogar gänzlich wettgemacht werden.

Insgesamt scheint eine vorläufige Vorbewertung durch Expertinnen und Experten basierend auf Erfahrungen und mentalen Modellen viele Vorteile gegenüber einem engen Korsett aus quantitativen Methoden insbesondere in frühen Stadien der Maßnahmen-Entwicklung zu bieten. Gleichzeitig sollten die Resultate aber auch durch eine umfassende, systematische und transparente Folgenabschätzung validiert und auf möglicherweise übersehene Auswirkungen überprüft werden. Zudem erscheinen eine Erprobung, Weiterentwicklung und Standardisierung des ENavi-Prozesses in einem von der Politik direkt angestoßenen bzw. beauftragten Anwendungsfall unter Beteiligung von Politikerinnen und Politikern unumgänglich, um Entscheidungsprozesse im realen Politikbetrieb mittel- bis langfristig unterstützen zu können.

5.4 Erfahrungen, Empfehlungen und Forschungsbedarf[19]

Die gesammelten Erfahrungen wurden zu Projektende auch unabhängig von der Kohlekommission von den Beteiligten diskutiert und reflektiert, wie dies in Quitzow et al. 2018 für die Bewertung bereits vorgesehen war. Aus Perspektive der Leitung und Koordination des dazugehörigen Arbeitspaketes (AP11) hat sich der multikriterielle Bewertungsansatz als hilfreiche Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Praxis bewährt. Es bestehen aber verschiedene Möglichkeiten und Bedarfe für Verbesserungen, die ähnlich gelagerte Folgeprojekte berücksichtigen könnten.

Eine zentrale Herausforderung bleibt der grundsätzliche Zielkonflikt zwischen Ganzheitlichkeit und Einfachheit. Unter Orientierung an der Nachhaltigkeit sollte dem Ziel der Ganzheitlichkeit jedoch stets der Vorzug gegeben werden, um mögliche Nebenwirkungen nicht zu übersehen. Diesbezüglich sollte die Ergänzung weiterer Kriterien, Unterkriterien und Indikatoren stets geprüft werden, so etwa die politische Durch- und Umsetzbarkeit als schwer greifbare, aber zentrale Größe für die Erfolgswahrscheinlichkeit einer Maßnahme.[20] Die Einfachheit stellt demgegenüber ein nachgeordnetes Ziel dar, dem in der praktischen Arbeit dennoch ein hoher Stellenwert zukommt. Für die Erarbeitung innovativer Formate für eine optimale (visuelle) Informationsverdichtung sollten entsprechende Fachexpertinnen und -experten aus dem Bereich Kommunikationsdesign beteiligt werden.

In Anbetracht der Komplexität und Vielschichtigkeit realer Entwicklung sowie der Vielzahl an Freiheitsgraden in der Szenarioanalyse, ist es herausfordernd, auch Ganzheitlichkeit in der praktischen Arbeit umzusetzen. Die vorhandenen Beschreibungen von Szenarien und Maßnahmen reichten für eine Bewertung in einigen Fällen nicht aus und verschiedene Unterkriterien und wichtige Indikatoren konnten nur teilweise über interne und externe Datenbestände bedient werden. So war die Bewertung der zentralen Kriterien Wirtschaftlichkeit und Resilienz, aber auch weiterer Kriterien mit Datenlücken konfrontiert, die erst nach Projektende geschlossen werden können.

Zugleich traf die Szenario-Beschreibung zu verschiedenen Aspekten keine oder kaum belastbare Aussagen (z. B. nationaler und europäischer Netzausbau, wirtschaftliche Entwicklung in anderen Ländern, soziale Auswirkungen).[21,22] Zum Teil konnten zentrale Indikatoren deshalb nicht in die Bewertung miteinbezogen werden, obwohl ein Einfluss auf das Gesamtergebnis wahrscheinlich erscheint. Auch wenn die multikriterielle Bewertung insgesamt dank transdisziplinärer Zusammenarbeit ein umfangreiches,

[19] Dieser Abschnitt spiegelt insbesondere die Meinung der Leitung und Koordination des Arbeitspaketes 11 wider.

[20] Eine Sammlung und Diskussion an möglichen (weiteren) Kriterien und Zielen findet sich beispielsweise bei Gaschnig/Göllinger 2019.

[21] Während verschiedene Kriterien parallel auf ähnliche Indikatoren zurückgreifen, baut das Kriterium „Ethische Akzeptabilität“ auf Bewertungsergebnissen aller übrigen Kriterien sowie weiterführender Informationsquellen auf. Für dieses Kriterium erhöht sich die Unsicherheit überproportional.

[22] Daher wendeten nur einige Kriterien das Rang-System für die Szenarien an.

plausibel wirkendes und robust erscheinendes Gesamtergebnis ausweist, sollten vor der Verwendung in der Politikberatung entsprechende Lücken aufgefüllt werden.

Die Praxis transdisziplinärer Forschung in den Kopernikus-Projekten wurde auch in einem eintägigen Workshop zu Projektende auf den Prüfstand gestellt. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer bewerteten die Güte der in ENavi gelaufenen Prozesse insgesamt positiv. Sie verwiesen hierbei auf den Impact von Praxispartnerinnen und -partnern auf entscheidende Punkte im Forschungsprozess sowie Erkenntnisgewinn durch zum Teil überraschende Sichtweisen anderer Stakeholder. Zugleich wurde jedoch bemängelt, dass Gesamtzusammenhänge im Projekt und der Impact aller gemeinsam erarbeiteten Workshop-Ergebnisse auf die Projektziele nicht immer ausreichend ersichtlich wurden oder bestimmte Interessensgruppen für ein ausgewogenes Gesamtergebnis unterrepräsentiert waren (Dreyer et al. 2019b). Diese grundsätzliche Kritik an Transparenz, Kommunikation und Repräsentativität sollte in der Planung zukünftiger, transdisziplinärer Forschungsvorhaben proaktiv berücksichtigt werden.

Zusätzlich sollte in zukünftigen Arbeiten das Methodenspektrum erweitert und vorhandene Methoden, insbesondere computerbasierte Energiesystemmodelle, weiterentwickelt sowie die Datenbasis vereinheitlicht werden, um die Leistungsfähigkeit der Folgenabschätzung zu erhöhen. Auf der Prozessebene zählen wir hierzu bspw. eine Maximierung der Modelltransparenz und Modellintegration durch die ausschließliche Verwendung von Open-Source- und Open-Data-Modellen und deren Zusammenführung in integrierten, einfach erweiterbaren und nutzerfreundlichen Modellplattformen.[23] Zudem scheint die Logik von Optimierungsmodellen die multikriterielle und diskursive Bewertung vor besondere Herausforderungen zu stellen. Die Nachvollziehbarkeit, Kommunizierbarkeit und Integrierbarkeit von Simulationsmodellen in den ENavi-Zyklus erscheinen uns als besondere Vorteile des Verfahrens, so dass wir diesen aus Bewertungssicht Vorrang einräumen.[24] Auf inhaltlicher Ebene sind für die energiepolitischen Ziele der Wirtschaftlichkeit (Kosteneffizienz/Gesamtkosten und Planungssicherheit/Wohlfahrt), der Versorgungssicherheit (Resilienz) und der Sozialverträglichkeit (vor allem Förderung des sozialen Zusammenhalts) zusätzliche Modell-Outputs wünschenswert.

Ebenso müssen dynamische Wechselwirkungen, Interdependenzen, Zielkonflikte und Unsicherheiten umfassender in die multikriterielle Bewertung miteinbezogen werden. Sowohl die versteckten als auch die transparenten, aber vereinfachenden Annahmen bleiben ein großes Risiko für die Realitätsnähe und Glaubwürdigkeit von Folgenabschätzung und Bewertung. Für einen bestmöglichen Umgang mit diesen Herausforderungen halten wir eine starke personelle Verzahnung beider Schritte in zukünftigen Forschungsprojekten für geboten. Eine Trennung garantiert zwar eine gute Kontrollfunktion bezüglich Verständlichkeit und Qualität in beide Richtungen. Jedoch hat eine Integration die Vorteile geringer Informationskosten der Beteiligten und maximaler Identifikation mit beiden Arbeitsschritten. Zusammengenommen könnte die Geschwindigkeit des Prozesses so beträchtlich erhöht werden.

Insgesamt hat es das Team aus Forscherinnen und Forschern vermieden, ein klares politisches Votum zugunsten eines der Szenarien herauszuarbeiten. Zwei Herausforderungen waren Anlass für diese Zurückhaltung: Erstens war der hier erläuterte Weiterentwicklungsbedarf der Folgenabschätzung und Bewertung, der Einfluss auf die Ergebnisse nimmt, zum Teil bereits vor dem Bewertungsdiskurs identifiziert worden. Und zweitens deckt die geringe Anzahl an ausführlich betrachteten Szenarien, die im Bewertungsdiskurs diskutiert werden konnten, nur einen geringen Anteil der möglichen Ausstiegsvarianten ab. Die Richtung der Politikempfehlung würde durch die zwangsläufig notwendige Vorselektion der Szenarien gewollt oder ungewollt beeinflusst, da sich unbeschriebene Alternativen in einem eintägigen Workshop nicht in derselben Weise fundiert thematisieren lassen. Und die Fülle nicht thematisierter Alternativen ist groß, wie folgende vier Beispiele belegen:

1. Der Kohleausstieg kann auch durch eine ausschließliche Beschleunigung des Ausbaus erneuerbarer Energien langfristig erreicht werden, wenn deren bevorzugte Einspeisung gesetzlich beibe-

[23] Die Europäische Kommission finanziert im Rahmen des Horizon 2020 Forschungsprogramms momentan Projekte mit diesen ambitionierten Zielen (vgl. die Initiativen openENTRANCE und SENTINEL). Ein deutsches Beispiel für eine offene Plattform ist das „open energy system modelling framework" (oemof) des Reiner Lemoine Instituts.

[24] Hybride Modellvarianten, die als Simulationsmodelle angelegt sind, aber durch zusätzliche Modellstrukturen auch Optimierungsergebnisse liefern können, sind eine gute Möglichkeit Vorteile beider Modelltypen zu vereinen (heuristische Optimierung).

halten wird. Dadurch sinkt die Auslastung fossiler Kraftwerke mittelfristig und sie werden unwirtschaftlich, so dass sich ein Weiterbetrieb nicht mehr lohnen würde.

2. Deutschland könnte in der europäischen Union auf eine generell ambitioniertere Zertifikatsreduktion im Emissionshandel hinwirken, ungeachtet eines nationalen Kohleausstiegs. Das europäische Preisniveau würde so insgesamt schneller steigen, mit der Folge, dass ein nationaler politikbegleiteter Kohleausstieg und der rasche Ausbau Erneuerbarer Energien gegebenenfalls nur marginal zusätzlicher Regelungen bedürften.

3. Resilienz-Mechanismen wie rückgekoppelte Steuerung könnten in die Transformationsgesetzgebung integriert werden, um auf das gleichzeitige Erreichen mehrerer Ziele treffsicher hinzuwirken. Ein Beispiel für eine solche Regelung ist der „atmende Deckel" für die Photovoltaik-Vergütung im EEG 2009, der die Einhaltung ökologisch motivierter Ausbauziele mit dem Ziel der Kosteneffizienz verbindet. Für den Kohleausstieg wären ähnliche Regeln vorstellbar.

4. Stakeholder wie auch Forschende schlugen im Diskurs „policy sequencing" vor, also eine zeitlich gestaffelte Abfolge von Maßnahmen. Während die betrachteten Szenarien alle von einem gleichzeitigen Start aller Maßnahmen und zusätzlich von einer Dichotomie von markt- und politikgetriebenem Kohleausstieg ausgingen, wären auch Entwicklungen möglich, in denen ein ordnungsrechtlicher mit einem CO_2-preisbasierten Ausstieg kombiniert wird (zeitgleich oder versetzt).

In allen Fällen wäre zu diskutieren, in welchem Rahmen ein zusätzlich politisch vorgegebener nationaler Kohleausstieg sinnvoll und nötig wäre. Der ordnungsrechtliche Kohleausstieg wäre dann nicht mehr Kernmaßnahme, sondern flankierende Maßnahme im Szenario. Alle oben beschriebenen Vorschläge können als Verbesserung der vorhandenen oder Ergänzung neuer Maßnahmenbündel für einen erneuten Durchlauf des Zyklus verstanden werden.

Zusammengenommen können die Tiefe und Breite der Analyse, die Qualität und Quantität der Ergebnisse sowie die Durchlaufgeschwindigkeit, Flexibilität, Inter- und Transdisziplinarität des Prozesses also noch verbessert werden. Auch die multikriterielle Bewertung kann hierzu durch Formalisierung und Digitalisierung beitragen, etwa indem ein softwarebasiertes, flexibles Entscheidungsunterstützungssystem entwickelt und angewendet wird, das speziell auf die Bedürfnisse der Zielgruppe abgestimmt ist (z. B. ein Tool zur Nutzwertanalyse für die Priorisierung alternativer Szenarien).[25]

Wenn die oben beschriebenen Herausforderungen gemeistert werden, wird eine innovative Form der Politikberatung, wie sie in ENavi erprobt wurde, zunehmend leistungsfähiger und damit anschlussfähig an einen schnelllebigen Politikbetrieb. Eine systematische, wissensbasierte, robuste und nutzerorientierte „Politikberatung in Echtzeit" als mittelfristiges Ziel scheint uns daher weiterhin erstrebenswert. Da sich verschiedene Schritte jedoch nicht beliebig und nur mit großem Aufwand verkürzen lassen, bedarf es hier weiterer Anstrengungen und Innovationen. Doch selbst bei Ausschöpfung aller Potentiale gehen wir davon aus, dass verbesserte Bewertungsprozesse von Vorschlägen in der Wissenschaft die Bewertung im Politikbetrieb nie ersetzen, diese aber durch erhöhte Systematik unterstützen und ergänzen können. Insbesondere dann, wenn auf den bestehenden Erfahrungen aufgebaut wird.

Abschließend sehen wir es nunmehr als legitim an, aufgrund der großen Vielfalt an möglichen Szenarien und Maßnahmenbündeln sowie verschiedener Dringlichkeiten, insb. dem wachsenden Risiko eines gefährlichen Klimawandels, zielorientierten Szenarien (Backcasting) den Vorzug vor explorativen und deskriptiven Politikszenarien zu geben. Von einigen beteiligten Praxisakteuren und Forschenden in ENavi wurde des Öfteren der explizite Wunsch geäußert, dass sich gegenwärtige wie zukünftige Forschungstätigkeiten verstärkt auf Szenarien konzentrieren sollten, welche die Einhaltung der Pariser Klimaschutzziele gewährleisten. Durch eine derartige Eingrenzung des Untersuchungsraumes würden auch knappe Ressourcen frei, um sich lösungsorientiert intensiver mit kostengünstiger, sozial- und umweltverträglicher Ausgestaltung von Maßnahmenbündeln, praktischer Umsetzbarkeit sowie auf die Chancen einer neuen klimafreundlichen Energiezukunft konzentrieren zu können.

[25] Das Problem der endgültigen individuellen oder kollektiven Entscheidungshoheit in der Bewertung (vgl. Fußnote 13) kann durch solche Online-Tools transparent gemacht und bestenfalls in Echtzeit gelöst werden. Zudem könnten fortgeschrittene Anwendungen komplexe Entscheidungsverfahren abbilden. Eine anschauliche, lebendige Art digital gestützter Stakeholder-Einbindung stellt darüber hinaus das „Decision Theater" dar (Jaeger/Mielke 2018).

6
ANHANG: BEWERTUNGEN NACH DEN EINZELKRITERIEN

6.1 Effektivität

Armin Bangert (KIT-ITAS)

Definition des Kriteriums und seiner Unterkriterien

Mit dem Kriterium „Effektivität“ wird der Grad der Erreichung von quantitativen Zielen untersucht, die für die Energiewende in Deutschland (und der Europäischen Union) bis für das Jahr 2050 von Seiten der Bundesregierung bzw. dem Europäischen Rat gesetzt worden sind. Diese umfassen die Bereiche »Treibhausgasemissionen«, »Anteil Erneuerbarer Energien« sowie »Verbrauch und Effizienz«, die jeweils im Sinne des Effektivitätskriteriums als Unterkriterien interpretiert und mit entsprechenden Indikatoren hinterlegt werden. Ergänzt werden diese langfristigen Ziele durch kurzfristige Sektorziele für die Handlungsfelder Energiewirtschaft, Gebäude, Verkehr, Industrie und Landwirtschaft. Diese setzen den Rahmen zur anteiligen Verringerung der Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2030. In Ergänzung zu diesen offiziellen Vorgaben, wurden im Rahmen der modellgestützten Folgenabschätzung abgeleitete Sektorziele für die Energiewirtschaft für die Jahre 2040 und 2050 ergänzt, sowie eine Reduktion der gesamten Treibhausgas-Emissionen für das Jahr 2050 von 90 % festgelegt.

Datenbasis für die Bewertung

Die Bewertung der Effektivität von Maßnahmenbündeln anhand von Indikatoren stützt sich auf die Modellierungsergebnisse der Folgenabschätzung in Schwerpunktthema 1 („Transformation des Stromsystems“). Das Energiesystemmodell TIMES sowie das makroökonomische Modell REMIND können zu fast allen Indikatoren Inputs liefern und sind deshalb von besonderem Interesse. Auch das auf Investitionsentscheidungen sowie Dispatch im Stromsystem fokussierende Modell LIMES kann zu einigen Indikatoren Aussagen treffen. Aus dem Austausch mit den Modellierern hat sich außerdem ergeben, dass zwei weitere Modelle (E2M2, NEWAGE) Daten zu den betrachteten Unterkriterien und Indikatoren beisteuern können. Damit beruht die Bewertung des Kriteriums „Effektivität“ auf dem Input von insgesamt fünf Modellen, wobei auf einen einzelnen Indikator bis zu vier Modelle fallen können.

Vorschlag der Gesamtbewertung

In dem aktuellen Monitoring-Bericht des BMWi werden Indikatoren angegeben, die über den Stand der Erfüllung der oben genannten Unterkriterien Auskunft geben sollen. Die Einführung von Leitindikatoren zur besseren Operationalisier- und Kommunizierbarkeit der Bewertung erscheint hier sinnvoll. Die Auswahl der Leitindikatoren orientiert sich dabei an den Empfehlungen der Expertenkommission zum Monitoring-Prozess „Energie der Zukunft“. Für die Ermittlung der Gesamtbewertung aus den Unterkriterien wird in Anlehnung an die Expertenkommission die Reduktion der Treibhausgasemissionen als oberstes Ziel der Energiewende mit einem erhöhten Gewichtungsfaktor (2x) berücksichtigt. Ergän-

zungsindikatoren werden erst in Anschlag gebracht, sofern ein zu definierender Grenzwert unter- bzw. überschritten wird. Die Einteilung der drei Ampelfarben wurde in mehreren Abstimmungsrunden mit Modellexperten und Stakeholdern wie folgt vorgenommen:

- Grün: übertrifft die gesteckten Ziele um mindestens 5 %
- Gelb: bewegt sich in einem Bereich von ± 5 %
- Rot: verfehlt die gesteckten Ziele um mindesten 5 %

Einschätzung zur Robustheit der Bewertungsergebnisse

Die Bewertung beruht auf den Modellen E2M2, LIMES, NEWAGE, REMIND und TIMES. Diese Modellvielfalt hat es erlaubt, Ergebnisse eines einzelnen Modells in das Verhältnis zu anderen Modellergebnissen zu setzen und damit eine Einschätzung zum Grad der Unsicherheit über die getroffenen Prognosen zu gewinnen. So konnte aufgezeigt werden, wo Modellergebnisse sich deutlich voneinander unterscheiden und wo in Zukunft beim weiteren Verlauf der Entscheidungsfindung eine Abwägung zwischen optimistischeren oder pessimistischeren Prognosen erfolgen kann.

Für die Einschätzung zum Grad der Unsicherheit der Prognosen des jeweiligen Modells sei an dieser Stelle außerdem auf die einschlägigen Dokumente verwiesen, in denen die Modelle ausführlich beschrieben werden. In Kürze: Der Umgang mit Unsicherheiten innerhalb der Modelle beruht vor allem auf Sensitivitätsanalysen.

Tabelle 7: Bewertung des Kriteriums „Effektivität“

Unterkriterium	Indikator	Einheit	Bewertungs-maßstab	Ergebnis 2030	Ergebnis 2040	Ergebnis 2050	Stärken / Schwächen	Datenquellen & Robustheit
Ausgangsszenario								
Treibhausgasemissionen (gegenüber 1990)	Deutschland gesamt	%	Grad der Zielerreichung	-	-	-	• (Ambitioniertere) Klimaschutzziele zur Reduktion des anthropogen verursachten Klimawandels werden verfehlt • Die von der Bundesregierung gesteckten Sektorziele werden deutlich verfehlt • Geringe Unterstützung anderer Sektoren (Verkehr, Gebäude)	• REMIND, TIMES • Modellübergreifend max. 11 % abweichend
	Deutschland Energiewirtschaft	%	Grad der Zielerreichung	-	-	-		• TIMES
	EU 28 gesamt	%	Grad der Zielerreichung	-	/	-		• REMIND, TIMES • Modellübergreifend max. 4 % abweichend
Anteil Erneuerbarer Energien	… am Bruttoenergieverbrauch	%	Grad der Zielerreichung	0	0	+	• Das Ausbauziel für 2030 wird knapp verfehlt	• REMIND, TIMES • Modellübergreifend max. 30 % abweichend
Energieverbrauch/-effizienz (gegenüber 1990)	Primärenergieverbrauch	%	Grad der Zielerreichung	/	/	-	• Eine Orientierung an den in Klimaschutzplan 2050 beschriebenen Maßnahmen im Sinne des Ausgangsszenarios führt bloß zu schleppender Reduktion des Primärenergieverbrauches	• REMIND, TIMES • Modellübergreifend max. 25 % abweichend
Gesamtbewertung	Rang	x von 4	THG-Reduktion doppelt gewichtet	4			• THG-, EE- und Effizienz-/Verbrauchsziele werden verfehlt oder nur knapp erreicht	
KAS								
Treibhausgasemissionen (gegenüber 1990)	Deutschland gesamt	%	Grad der Zielerreichung	0	0	-	• Reduktion der THG-Emissionen gegenüber dem Ausgangsszenario • Insbesondere bis 2030 positive Effekte auf die Transformationsprozesse in weiteren Handlungsfeldern (Verkehr, Gebäude) • Wasserbetteffekt führt auf europäischer Ebene vermutlich zu geringer Reduktion von THG • Die kurzfristigen Sektorziele der Bundesregierung werden um fast 10% übertroffen	• REMIND, TIMES • Modellübergreifend max. 3 % abweichend
	Deutschland Energiewirtschaft	%	Grad der Zielerreichung	+	+	-		• TIMES
	EU 28 gesamt	%	Grad der Zielerreichung	-	/	-		• REMIND, TIMES • Modellübergreifend max. 6 % abweichend
Anteil Erneuerbarer Energien	… am Bruttoenergieverbrauch	%	Grad der Zielerreichung	0	0	0	• Ohne zusätzlich Anreize für den Ausbau von EE kommt es im Wesentlichen zu Stromimporten aus dem Ausland • Es lässt sich kein wesentlicher Unterschied zum Ausgangsszenario ausmachen	• REMIND, TIMES • Modellübergreifend max. 18 % abweichend
Energieverbrauch/-effizienz (gegenüber 1990)	Primärenergieverbrauch	%	Grad der Zielerreichung	/	/	-	• Ein schneller Ausstieg aus der Kohleverstromung führt bloß zu schleppender Reduktion des Primärenergieverbrauches, da wegfallende Kohlekraftwerkskapazitäten z.T. durch Gaskraftwerke ersetzt werden	• REMIND, TIMES • Modellübergreifend max. 18 % abweichend
Gesamtbewertung	Rang	x von 4	THG-Reduktion doppelt gewichtet	3			• THG-Ziele werden (über)erfüllt, Effizienz-/Verbrauchs und EE-Ziele weitgehend verfehlt	

(Fortsetzung der Tabelle)

Unterkriterium	Indikator	Einheit	Bewertungs-maßstab	Ergebnis 2030	Ergebnis 2040	Ergebnis 2050	Stärken / Schwächen	Datenquellen & Robustheit
KAS+								
Treibhausgasemissionen (gegenüber 1990)	Deutschland gesamt	%	Grad der Zielerreichung	0	0	0	• Deutliche Reduktion der kumulierten Treibhausgasemissionen gegenüber dem Ausgangsszenario • Positive Effekte auf die Transformationsprozesse in den Handlungsfeldern Verkehr und Gebäude • Vermeidung von Wasserbetteffekten aus KAS • Die kurzfristigen Sektorziele der Bundesregierung werden um 15% übertroffen	• REMIND, TIMES • Modellübergreifend max. 6 % abweichend
	Deutschland Energiewirtschaft	%	Grad der Zielerreichung	+	+	-		• TIMES
	EU 28 gesamt	%	Grad der Zielerreichung	0	/	-		• REMIND, TIMES • Modellübergreifend max. 8 % abweichend
Anteil Erneuerbarer Energien	… am Bruttoenergieverbrauch	%	Grad der Zielerreichung	0	+	+	• Zusätzliche Anreize für den Ausbau von EE verringern die Abhängigkeit von Stromimporten aus dem Ausland • Ausbauziele werden durchweg erreicht	• REMIND, TIMES • Modellübergreifend max. 18 % abweichend
Energieverbrauch/-effizienz (gegenüber 1990)	Primärenergieverbrauch	%	Grad der Zielerreichung	/	/	-	• Die Reduktion des Primärenergieverbrauches erfordert zusätzliche flankierende Maßnahmen • (Analog zu anderen Szenarien)	• REMIND, TIMES • Modellübergreifend max. 17 % abweichend
Gesamtbewertung	Rang	x von 4	THG-Reduktion doppelt gewichtet	1			• THG- und EE-Ziele werden (über)erfüllt, Effizienz-/Verbrauchsziele verfehlt	
COP+								
Treibhausgasemissionen (gegenüber 1990)	Deutschland gesamt	%	Grad der Zielerreichung	0	0	0	• Deutliche Reduktion der kumulierten Treibhausgasemissionen gegenüber dem Ausgangsszenario • Ggf. positive Effekte auf die Transformationsprozesse in den Handlungsfeldern Verkehr und Gebäude durch COP • Vermeidung von Wasserbetteffekten durch flankierende Maßnahmen • Die kurzfristigen Sektorziele der BuReg werden knapp erreicht	• REMIND, TIMES • Modellübergreifend max. 13 % abweichend
	Deutschland Energiewirtschaft	%	Grad der Zielerreichung	+	+	-		• TIMES
	EU 28 gesamt	%	Grad der Zielerreichung	0	/	-		• REMIND, TIMES • Modellübergreifend max. 7 % abweichend
Anteil Erneuerbarer Energien	… am Bruttoenergieverbrauch	%	Grad der Zielerreichung	0	+	+	• Zusätzliche Anreize für den Ausbau von EE verringern die Abhängigkeit von Stromimporten aus dem Ausland • Ausbauziele werden durchweg erreicht und für das Jahr 2050 sogar um fast 20% übertroffen	• REMIND, TIMES • Modellübergreifend max. 19 % abweichend
Energieverbrauch/-effizienz (gegenüber 1990)	Primärenergieverbrauch	%	Grad der Zielerreichung	/	/	-	• Die Reduktion des Primärenergieverbrauches erfordert zusätzliche flankierende Maßnahmen • (Analog zu anderen Szenarien)	• REMIND, TIMES • Modellübergreifend max. 18 % abweichend
Gesamtbewertung	Rang	x von 4	THG-Reduktion doppelt gewichtet	1			• THG- und EE-Ziele werden (über)erfüllt, Effizienz-/Verbrauchsziele verfehlt	

6.2 Kosteneffizienz/Gesamtkosten

Andreas Löschel, Oliver Kaltenegger
u. Gerald Zunker (WWU Münster, Wiwi)

Definition des Kriteriums und seiner Unterkriterien

Im Rahmen des Kriteriums „Kosteneffizienz / Gesamtkosten“ werden die monetären Auswirkungen der von der Politik ergriffenen Energiewende-Maßnahmen für Haushalte, Unternehmen und die Wirtschaft insgesamt untersucht. Relevante Indikatoren sind die Kosteneffizienz (Unterkriterium I) der Maßnahmen sowie die resultierenden Gesamtkosten (Unterkriterium II) für die betroffenen Akteure. Zusätzlich werden Preise als ergänzende Information mitgeführt. Nur in dieser Gesamtschau lassen sich daran anschließende Fragen nach Belastungswirkungen und Wettbewerbsfähigkeit untersuchen. Im Speziellen werden als Indikatoren einerseits das Verhältnis aus Mehrkosten (eines Szenarios ggü. dem Basisszenario) zu zusätzlichen Emissionsreduktionen im Stromsektor und andererseits der Anteil der aggregierten Letztverbraucherausgaben für Elektrizität am Bruttoinlandsprodukt (BIP), die totalen Stromsystemkosten, die totalen Energiesystemkosten und die Wohlfahrt betrachtet. Ergänzend werden die Strompreise und die darin enthaltenden EU ETS-CO_2-Zertifikatspreise aufgeführt.

Datenbasis für die Bewertung

Die Bewertung fußt auf einer relativ breiten Datenbasis aus den ENavi-Modellen LIMES, NEWAGE, E2M2, REMIND und TIMES. Im Unterkriterium I „Kosteneffizienz“ wird als Leitindikator das Verhältnis aus nationalen Mehrkosten (eines Szenarios ggü. dem Basisszenario) zu zusätzlichen Emissionsreduktionen im Stromsektor im EU-28-Aggregat (nicht allein in Deutschland) herangezogen, um Carbon Leakage-Effekte in das europäische Ausland zu berücksichtigen. Im Unterkriterium II „Gesamtkosten“ wird der Anteil der Letztverbraucherausgaben für Elektrizität am BIP als Leitindikator herangezogen (inkl. Zuschätzungen zu fehlenden Elektrizitätspreisbestandteilen, CO_2-Kosten und Kosten der Zertifikatestilllegungen) – die Stromsystemgesamtkosten, die totalen Energiesystemkosten sowie die Wohlfahrtsentwicklungen werden als ergänzende Informationen betrachtet. Auch die „Preise“ werden lediglich als ergänzende Information geführt: Zwar können Strom- und CO_2-Preise eine Erklärung für Unterschiede in der Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen und in der Belastung von Haushalten darstellen. Eine ökonomische Bewertung auf dieser Basis alleine ist jedoch nicht zielführend, da Preise nur einen Einflussfaktor auf die Energiekosten darstellen (wesentlich ist auch die Energieintensität bei Verbrauchern) und die ENavi-Modelle lediglich ca. 30 % der tatsächlich von den Verbrauchern gezahlten Letztverbraucherpreise modellieren.

Vorschlag der Gesamtbewertung

Mit dem Bewertungskriterium „Kosteneffizienz / Gesamtkosten“ wird eine „qualitative“ Zieldimension der Energiewende adressiert. Anders als bei den „quantitativen“ Zielen des Energiekonzepts der Bundesregierung vom September 2010 wurde für die Dimension der „Wirtschaftlichkeit des Energiesystems“ kein fester Zielwert für die Jahre 2020, 2030 oder 2050 festgelegt. Die Methode der Gesamtbewertung lehnt sich an der Vorgehensweise der Expertenkommission zum Monitoring-Prozess „Energie der Zukunft“ in ihrer „Energiewende-Ampel“ an. Bei qualitativen Zielen erfolgt die Beurteilung allein auf Basis einer Experteneinschätzung unter Einbeziehung der Entwicklung relevanter Indikatoren mittels eines dreistufigen Ampelsystems (grün = Zielerfüllung der Wirtschaftlichkeit der Energie- bzw. hier Elektrizitätsversorgung „wahrscheinlich“, gelb = „nicht sichergestellt“, rot = „unwahrscheinlich“). Die Einschätzung erfolgt von den Bearbeitern (gleichzeitig Vorsitzender der Expertenkommission zum Monitoring-Prozess und seinen wissenschaftlichen Mitarbeitern) und berücksichtigt die Einschätzungen der Modellierer im ENavi-Konsortium.

Einschätzung zur Robustheit der Bewertungsergebnisse

Eine Robustheitsprüfung des Leitindikators „Anteil der Letztverbraucherausgaben für Elektrizität am BIP“ wurde exemplarisch anhand der Variation (ceteris paribus) zweier Parameter durchgeführt, die in verschiedenen ENavi-Modellen unterschiedlich modelliert wurden: Stromnachfrage (Anstieg von 0 % bis +28 % bis 2050 ggü. heutigem Niveau) und Wirtschaftswachstum (jährliches Wirtschaftswachstum zwischen 0,5 % und 1,1 % bis 2050). Der Leitindikator zeigt sich relativ robust ggü. diesen Änderungen. Dennoch herrschen größere Unsicherheiten hinsichtlich der Preis-, Kosteneffizienz- und Gesamtkosten-Indikatoren, da vor allem die Rolle des Stromsektors im Energiesystem der Zukunft unsicher ist

(manche Studien prognostizieren, dass die Stromnachfrage mittels Power-to-X bis 2050 um über 100 % gegenüber dem heutigen Niveau ansteigt) und für einen Großteil der Entgeltbestandteile keine gesicherte Aussage zur zukünftigen Entwicklung getroffen werden kann. Externe Studien sehen auch andere Bedingungen etwa hinsichtlich BIP, Sanierungsquoten, Preisentwicklungen, als möglich an.

Ausblick

Für das gegenwärtige Indikatorensystem liegt aus den ENavi-Modellen eine erste gute Datenbasis vor, die weiterentwickelt werden kann: (1) Die Modelle können nur zu etwa 30 % der relevanten Endverbraucher-Preiselemente Aussagen treffen. Es sind jedoch die Letztverbraucherpreise, also inkl. der Entgelte, Steuern, Abgaben und Umlagen auf Energie, die von den Verbrauchern zu zahlen sind. (2) Der von der Expertenkommission für das Monitoring der Energiewende vorgeschlagene Indikator der „Energiestückkosten“ (sektorspezifische Energiekosten – ggf. inkl. Investitionskosten in Energieeffizienz – dividiert durch sektorspezifische Wertschöpfung) als Maß der Belastung der Industrie mit Energiekosten kann derzeit nicht dargestellt werden. (3) Neben den direkten Preis- und Kostenwirkungen sollten auch indirekte Effekte über die Wertschöpfungskette berücksichtigt werden. So sind beispielsweise für einen Automobilhersteller nicht nur die direkten Energiekosten aus Strom, Erdgas, etc. relevant, sondern auch die Energiekosten seiner Lieferanten. (4) Es erscheint lohnenswert die Indikatorik hinsichtlich von CO_2-Preis- und Kostenkategorien weiterzuentwickeln. (5) Um letztendlich Aussagen zur Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen zu treffen, müssten – in weitergehenden, z. B. ökonometrischen Analysen – weitere Faktoren berücksichtigt werden. Dazu gehören nationale und internationale Unterschiede im Regulierungsrahmen und klassische Standortfaktoren, wie z. B. das Steuersystem, Lohnniveau und Qualität des Personals. (6) Derzeit werden in den modellierten Systemkosten eine Reihe von „versteckten“ Folgekosten nicht berücksichtigt, da diese sich außerhalb des eigentlichen Strom- bzw. Energiesystems bewegen. Dazu zählen mögliche Entschädigungszahlungen an Kraftwerksbetreiber, Kosten des Strukturwandels oder auch die sogenannten „Ewigkeitskosten“. (7) Letztlich sollten auch Synergien und Zielkonflikte zwischen verschiedenen Kriterien mit Hilfe monetisierter Werte quantifiziert werden, um eine verbesserte Informationsbasis für politische Entscheidungsträger vorzubereiten.

Tabelle 8: Bewertung des Kriteriums „Kosteneffizienz / Gesamtkosten“

Unterkriterium	Indikator	Einheit	Bewertungsmaßstab	Ergebnis				Stärken / Schwächen	Datenquellen & Robustheit
				2020	2030	2040	2050		
Ausgangsszenario									
Kosteneffizienz	Leitindikator: Kumulierte Mehrkosten [inkl. CO_2-Kosten] in DEU / kumulierte Mehrvermeidung in EU28 ([L]: LIMES; [T]: TIMES)	EUR/t CO_2	Experteneinschätzung unter Einbeziehung der Entwicklung relevanter Indikatoren (Orientierung an Kostensätzen zu Klimafolgeschäden des CO_2-Ausstoßes)	nicht bewertbar				• Kann im Ausgangsszenario nicht durchgeführt werden, weil die Mehrkosten und die Mehrvermeidung je Szenario gerade mit diesem Szenario verglichen werden.	
Gesamtkosten	Leitindikator: Durchschnittlicher Anteil der Letztverbraucherausgaben für Elektrizität am BIP 2015-2050	%	Experteneinschätzung unter Einbeziehung der Entwicklung relevanter Indikatoren (Orientierung an heutigem Niveau von ca. 2,3 %)	2,26				• Robustheitschecks (Variation von Stromnachfrage und Wirtschaftswachstum in verschiedenen ENavi-Modellen) ergibt eine Bandbreite von 2,16 % bis 2,47 % beim Anteil der Letztverbraucherausgaben für Elektrizität am BIP. • Unsicherheit: In der langen Frist ist unklar, wie sich die Stromnachfrage tatsächlich entwickeln wird. So könnten sich neue Stromanwendungen ergeben (Stichwort Power-to-X und Sektorkopplung), die in größerem Umfang „grünen“ Strom zur Dekarbonisierung anderer Sektoren benötigen. Externe Studien gehen bis 2050 von sehr unterschiedlichen Stromnachfragen aus, teilweise mit deutlichen höheren Werten als in den ENavi-Modellen. Da Power-to-X und Sektorkopplung bei zunehmender Stromnachfrage entsprechend zu geringeren Kosten für die Bereitstellung von anderen Energieträgern führen können, ist die Betrachtung der gesamten Energieausgaben langfristig als zielführenderer Indikator zu nutzen.	
	Durchschnittliche jährliche totale Systemkosten „Strom“ (inkl. CO_2-Kosten) 2015-2050	Mrd. EUR	(Ergänzende Information, Systemkosten werden im Leitindikator berücksichtigt)	36					
	Durchschn. Anteil der disk. kum. totalen Energiesystemkosten (inkl. CO_2-Kosten) am BIP 2015-2050	%	(Ergänzende Information)	4,25					
	Entgangene jährliche Wachstumsrate der Wohlfahrtssteigerung 2015-2050 (ggü. Basisszenario)	Prozentpunkte	-	nicht bewertbar				• Kann im Ausgangsszenario nicht durchgeführt werden, weil die entgangene jährliche Wachstumsrate je Szenario gerade mit diesem Szenario verglichen wird.	
Preise	Strompreise ([L]; [T])	EUR/MWh	„Preise“ lediglich ergänzende Information – ökonomische Bewertung auf Basis dieser Indikatoren alleine nicht zielführend	[L]: 70; [T]: 70 (Durchschnitt 2020-2030)		[L]: 70; [T]: 95 (Durchschnitt 2030-2050)		• LIMES modelliert den Börsenstrompreis, inkl. CO_2-Zertifikate, plus EEG-Umlage für Neuausbau und modellierte Kosten der Systemstabilität. TIMES Pan EU modelliert den Strompreis als Grenzkosten der Bereitstellung unter Berücksichtigung der Zertifikatspreise, der Kosten der Systemstabilität sowie der verbrauchergruppenspezifischen Kosten der Stromverteilung. Damit fehlen (mindestens) die Kosten der Erneuerbaren-Energien-Bestandsanlagen (ca. 22 Mrd. EUR), der Stromsteuer (ca. 6,6 Mrd. EUR), der KWK-Umlage und der Verteilnetze (ca. 11 Mrd. EUR), sowie die Mehrwertsteuer (ca. 11 Mrd. EUR). • TIMES modelliert Strompreise als Grenzkosten der Erzeugung unter Berücksichtigung der Zertifikatspreise, der Kosten der Systemstabilität sowie der verbrauchergruppenspezifischen Kosten der Stromverteilung.	
	ETS-CO_2-Zertifikatspreise ([L]; [T])	EUR/t CO_2		[L]: 13; [T]: 0	[L]: 21; [T]: 21	[L]: 35; [T]: 49	[L]: 57; [T]: 64		
Gesamtbewertung	Rang	x von 4	-	k. A.				• Moderate Veränderungen • Bewertung begrenzt durchführbar	

(Fortsetzung der Tabelle)

Unterkriterium	Indikator	Einheit	Bewertungsmaßstab	Ergebnis				Stärken / Schwächen	Datenquellen & Robustheit
				2020	2030	2040	2050		
KAS									
Kosteneffizienz	Leitindikator: Kumulierte Mehrkosten [inkl. CO_2-Kosten] in DEU / kumulierte Mehrvermeidung in EU28 ([L]: LIMES; [T]: TIMES)	EUR/t CO_2	Experteneinschätzung unter Einbeziehung der Entwicklung relevanter Indikatoren	[L]: Kein Klimaschutz im europäischen Aggregat [T]: 70 [263]				• Schwäche: Carbon Leakage ins europäische Ausland – Emissionen werden in Deutschland vermieden, dafür im europäischen Ausland ausgestoßen („Wasserbetteffekt“)	
Gesamtkosten	Leitindikator: Durchschnittlicher Anteil der Letztverbraucherausgaben für Elektrizität am BIP 2015-2050	%	Experteneinschätzung unter Einbeziehung der Entwicklung relevanter Indikatoren	2,27				• Vgl. oben. • Bandbreite: 2,16-2,48	
	Durchschnittliche jährliche totale Systemkosten „Strom“ (inkl. CO_2-Kosten) 2015-2050	Mrd. EUR		36					
	Durchschn. Anteil der disk. kum. totalen Energiesystemkosten (inkl. CO_2-Kosten) am BIP 2015-2050	%		4,26					
	Entgangene jährliche Wachstumsrate der Wohlfahrtssteigerung 2015-2050 (ggü. Basisszenario)	Prozentpunkte		0,0					
Preise	Strompreise ([L]; [T])	EUR/MWh	Ergänzende Information	[L]: 70; [T]: 74 (2020-2030)		[L]: 70; [T]: 101 (2030-2050)		• Vgl. oben.	
	ETS-CO_2-Zertifikatspreise ([L]; [T])	EUR/t CO_2		[L]: 9; [T]: 0	[L]: 15; [T]: 10	[L]: 25; [T]: 44	[L]: 41; [T]: 57		
Gesamtbewertung	Rang	x von 4	-	k. A.				• Moderate Veränderungen • Bewertung begrenzt durchführbar	

(Fortsetzung der Tabelle)

Unterkriterium	Indikator	Einheit	Bewertungsmaßstab	Ergebnis				Stärken / Schwächen	Datenquellen & Robustheit
				2020	2030	2040	2050		
KAS+									
Kosteneffizienz	Leitindikator: Kumulierte Mehrkosten [inkl. CO_2-Kosten] in DEU / kumulierte Mehrvermeidung in EU28 ([L]: LIMES; [T]: TIMES)	EUR/t CO_2	Experteneinschätzung unter Einbeziehung der Entwicklung relevanter Indikatoren	Effektiver Klimaschutz im europäischen Aggregat [L]: 44 [3] (+ 28 für Zertifikatestilllegungen) [T]: 6 [24]				• Stärke: Durch Zertifikatestilllegungen wird Carbon Leakage vermieden	
Gesamtkosten	Leitindikator: Durchschnittlicher Anteil der Letztverbraucherausgaben für Elektrizität am BIP 2015-2050	%	Experteneinschätzung unter Einbeziehung der Entwicklung relevanter Indikatoren	2,32 (+ ca. 0,05 für Zertifikatestilllegungen)				• Vgl. oben. • Bandbreite: 2,16 (+ ca. 0,05 für ZS) bis 2,54 (+ ca. 0,05 für ZS*) • *) Stellen entgangene Einnahmen der Bundesregierung dar, vgl. Langfassung für die Berechnung.	
	Durchschnittliche jährliche totale Systemkosten „Strom“ (inkl. CO_2-Kosten) 2015-2050	Mrd. EUR		36 (+ ca. 1,5 für Zertifikatestilllegungen)					
	Durchschn. Anteil der disk. kum. totalen Energiesystemkosten (inkl. CO_2-Kosten) am BIP 2015-2050	%		4,27					
	Entgangene jährliche Wachstumsrate der Wohlfahrtssteigerung 2015-2050 (ggü. Basisszenario)	Prozentpunkte		nicht bewertbar				• Keine Daten vorhanden	
Preise	Strompreise ([L]; [T])	EUR/MWh	Ergänzende Information	[L]: 74; [T]: 74 (2020-2030)		[L]: 73; [T]: 97 (2030-2050)		• Vgl. oben.	
	ETS-CO_2-Zertifikatspreise ([L]; [T])	EUR/t CO_2		[L]: 12; [T]: 0	[L]: 20; [T]: 23	[L]: 33; [T]: 50	[L]: 54; [T]: 66		
Gesamtbewertung	Rang	x von 4	-	k. A.				• Moderate Veränderungen • Bewertung begrenzt durchführbar	
COP+									
Kosteneffizienz	Leitindikator: Kumulierte Mehrkosten [inkl. CO_2-Kosten] in DEU / kumulierte Mehrvermeidung in EU28 ([L]: LIMES; [T]: TIMES)	EUR/t CO_2	Experteneinschätzung unter Einbeziehung der Entwicklung relevanter Indikatoren	Effektiver Klimaschutz im europäischen Aggregat [L]: 37 [51] (+ 33 für Zertifikatestilllegungen) [T]: 19 [38]				• Stärke: Durch Zertifikatestilllegungen wird Carbon Leakage vermieden	
Gesamtkosten	Leitindikator: Durchschnittlicher Anteil der Letztverbraucherausgaben für Elektrizität am BIP 2015-2050	%	Experteneinschätzung unter Einbeziehung der Entwicklung relevanter Indikatoren	2,37 (+ ca. 0,09 für Zertifikatestilllegungen)				• Vgl. oben. • Bandbreite: 2,16 (+ ca. 0,07 für ZS) - 2,59 (+ ca. 0,07 für ZS*) • *) Stellen entgangene Einnahmen der Bundesregierung dar, vgl. Langfassung für die Berechnung.	
	Durchschnittliche jährliche totale Systemkosten „Strom“ (inkl. CO_2-Kosten) 2015-2050	Mrd. EUR		40 (+ ca. 2,6 für Zertifikatestilllegungen)					
	Durchschn. Anteil der disk. kum. totalen Energiesystemkosten (inkl. CO_2-Kosten) am BIP 2015-2050	%		4,32					
	Entgangene jährliche Wachstumsrate der Wohlfahrtssteigerung 2015-2050 (ggü. Basisszenario)	Prozentpunkte		nicht bewertbar				• Keine Daten vorhanden	
Preise	Strompreise ([L]; [T])	EUR/MWh	Ergänzende Information	[L]: 79; [T]: 62 (2020-2030)		[L]: 75; [T]: 93 (2030-2050)		• Vgl. oben.	
	ETS-CO_2-Zertifikatspreise ([L]; [T])	EUR/t CO_2		[L]: 14; [T]: 0	[L]: 24; [T]: 27	[L]: 39; [T]: 50	[L]: 64; [T]: 67		
Gesamtbewertung	Rang	x von 4	-	k. A.				• Moderate Veränderungen • Bewertung begrenzt durchführbar	

6.3 Resilienz

Pablo Thier (Universität Bremen)

Definition des Kriteriums und seiner Unterkriterien

Resilienz beschreibt die Fähigkeit eines Systems, seine Leistungsfähigkeit auch unter Stress und unter turbulenten Bedingungen aufrechtzuerhalten. Ein resilientes Energiesystem liefert also zuverlässig Energie für die verschiedenen nachgefragten Dienstleistungen wie Licht, Wärme, Fahrzeugantrieb usw., selbst wenn äußere Störungen oder innere Ausfälle das System belasten. Resiliente Energiesysteme sind also vom Design her besonders gut auf Überraschungen und Unvorhergesehenes vorbereitet und reagieren adäquat auf Störungen. Das Bewertungskriterium „Resilienz" überprüft, ob politische Maßnahmen zumindest sechs Unterkriterien (auch förderliche Resilienz-Gestaltungsprinzipien genannt) bei der Transformation des Energiesystems berücksichtigen. Diese Unterkriterien entsprechen Erfahrungswerten aus evolutionär erprobten Ökosystemen, Risikomanagement u. bewährten Maßnahmen zum Schutz kritischer Infrastrukturen. Ihre Berücksichtigung fördert und gestaltet auf vielfältige Art und Weise die Widerstandfähigkeit, Anpassungsfähigkeit, Innovationsfähigkeit und Improvisationsfähigkeit der betreffenden Systeme.

Diversität trägt dazu bei, dass Störungen sich unterschiedlich auf Elemente und ihre Funktion im System auswirken. Zum Beispiel sollten die Energiemengen des Systems aus unterschiedlichen und in ihrer Verteilung ausgeglichenen Erzeugungskraftwerken stammen (Shannon-Weaver Index). Redundanz beschreibt das geplante mehrfache Vorhandensein von Elementen in einem System. Die gesicherte installierte Leistung des Systems sollte zum Beispiel den maximalen prognostizierten Leistungsbedarf um einen möglichst großzügigen Faktor übertreffen. Über Feedbackmechanismen können aktive oder passive Kommunikationsstrukturen aufgebaut werden, die bei der Erzielung von ‚dynamischen Gleichgewichtszuständen', Anpassung und Lernen helfen. Damit ist das System auch bei unvorbereiteten Ereignissen reaktionsfähig, z.B. bei vorzeitiger Abschaltung der Kohlekraftwerke aufgrund verschärfter politischer Rahmenbedingungen, wirtschaftlicher Gründe oder bei deutlich höheren Kosten für CO_2-Emissionen. Eine flexible bzw. lose Kopplung zwischen Komponenten oder Subsystemen lässt sich bei Bedarf auch im Störfall lösen. Dadurch kann das System flexibler gefahren und kaskadierende Fortsetzungen von Störungen verhindert werden. Durch die Berücksichtigung des Prinzips der Subsidiarität bei der Gestaltung von Systemen wird das Augenmerk auf dezentrale Strukturen gelegt. Diese haben vor Ort Kenntnisse und können sich selbst versorgen, z.B. regionale Zellen, Prosumer oder Nachbarschaftsstrommodelle. Durch die Verlagerung von Systemdienstleistungen auf untere Ebenen wird den Systemen ermöglicht auftretende Störungen vornehmlich auf der Ebene zu lösen, auf der sie entstehen. Modularität als Bauprinzip erleichtert die Austauschbarkeit von Systemkomponenten, indem für diese Standard-Schnittstellen festgelegt werden. Es ergänzt die Kriterien flexible/lose Kopplung und Subsidiarität.

Datenbasis für die Bewertung

Die Bewertung mit Indikatoren baut auf Modelle und Ergebnisse der Folgenabschätzung, welche die Auswirkungen des Kohleausstieges auf das Stromsystem untersucht hat. Hierzu zählen das auf Investitionsentscheidungen und Dispatch im Stromsystem ausgerichtete Modell LIMES (**L**ong-term **I**nvestment **M**odel for the **E**lectricity **S**ector) des PIK, das Stromoptimierungsmodell E2M2 und das europäische Energiesystemmodell TIMES PanEU der Universität Stuttgart sowie die makroökonomischen Modelle REMIND des PIKs, und NEWAGE (**N**ational **E**uropean **W**orldwide **A**pplied **G**eneral **E**quilibrium) der Universität Stuttgart.

Für die Bewertung der Unterkriterien Diversität und Redundanz wurden stark vereinfachende, aber dafür quantifizierbare Indikatoren definiert, die nachfolgend beschrieben werden. Der Grad an Diversität soll anhand des Shannon-Weaver Indexes ermittelt werden, der Aussagen zu Varietät und Verteilung macht. Der Indikator wird für jedes Szenario aus den Modellergebnissen zur Stromerzeugungsleistung, zu Primärenergieträgern und Energieträgern beim Strom-Endverbrauch in Deutschland errechnet. Die Redundanz wird als Faktor des Verhältnisses der Jahresstrommengen zum Jahresstrombedarf und als Verhältnis der installierten gesicherten Leistung zur benötigten maximalen bzw. durchschnittlichen Leistung ermittelt. Das Unterkriterium Feedbackmechanismen wird durch eigene Ein-

schätzung bewertet. Als Bewertungsskala dient eine dreistufige Ampel (rot: verringert, gelb: belässt gleich, grün: erhöht – die Resilienz) ergänzt um die Farbe grau, die dann zum Tragen kommt, wenn eine Bewertung nicht möglich ist. Die Unterkriterien flexible / lose Kopplung, Subsidiarität und Modularität konnten auf der Basis der verfügbaren Modelldaten nicht bewertet werden.

Vorschlag der Gesamtbewertung

Die Gesamtbewertung wird über eine Durchschnittsbildung der Indikatorergebnisse aller Modelle ermittelt. Fokussiert wurde dabei auf die Ergebnisse der Betrachtungsjahre 2020, 2030, 2040 und 2050. Die Einzelergebnisse der verschiedenen Modelle für einen Indikator streuen stark. Dies liegt zum einen daran, dass den Modell-Eingangsdaten verschiedene Annahmen zugrunde lagen aber auch am breiten Spektrum an Modelltypen. Bei der finalen Bewertung wurde festgelegt, dass kleine Ausschläge der verschiedenen Modelle, bis 10% Abweichung, die Einschätzung des Indikators nicht verändern. Es konnte keine Fehler- oder Ungenauigkeitstoleranz ermittelt werden, jedoch sollten einige Ergebnisse aufgrund großer Diskrepanzen zwischen den Modellen als unsicher bzw. fehlerbehaftet eingestuft werden.

Alle Szenarien bekommen die Ampelfarbe gelb zugewiesen, da nicht eindeutig ermittelt werden konnte ob sich Diversität, Redundanz oder die Feedbackmechanismen in Summe in Richtung einer höheren Resilienz verändern. Das hier vorliegende Ergebnis ist trotz der Bemühungen um Quantifizierung letztendlich als qualitative Bewertung einzustufen. Die verwendeten Indikatoren haben dabei lediglich die Bewertung unterstützt.

Einschätzung zur Robustheit der Bewertungsergebnisse

Die Datenlage der betrachteten Szenarien erlaubte nur eine Bewertung von drei von sechs Unterkriterien - Diversität, Redundanz sowie Feedbackmechanismen. Die Ergebnisse der Modelle zeigten modellübergreifend größere Schwankungen, die bis zu 40% der Ausgabewerte betragen. Dies ist nicht verwunderlich, da die Modelle auch für die Eingangsparameter unterschiedliche Annahmen getroffen haben. Außerdem werden Ergebnisse verschiedener Modellarchitekturen verglichen. Weiter wurden, z.B. bei der Diversität, die berücksichtigten Technologien über alle Modelle vereinheitlicht, um Abweichungen aufgrund von unterschiedlichen Detailgraden der Modelle zu vermeiden. Dies führt beispielsweise zu einer Unterschätzung der Diversität, die bei den Strommarktmodellen sonst höher ausgefallen wäre. Weiter muss bei der Interpretation der Bewertungsergebnisse berücksichtigt werden, dass die Ergebnisse lediglich auf der Hälfte der durch den Ansatz geforderten Unterkriterien basiert. Um dem entgegenzutreten wurden Einschätzungen zu den Ergebnissen durch unabhängige Wissenschaftler unterschiedlicher Disziplinen und Stakeholdern eingeholt und deren Kommentare berücksichtigt. Für eine vollständige Bewertung werden jedoch detailliertere Daten benötigt, die eine vollständige Anwendung des Ansatzes und einen erweiterten Review-Prozess erlauben.

Ausblick, Wechselwirkungen und Zielkonflikte

Der aktuelle Stand der Resilienzbewertung bleibt unbefriedigend, unter anderem auch deshalb, weil es sich als schwierig erwiesen hat, eine systemische Eigenschaft wie die Resilienz mit wenigen Unterkriterien zu bewerten. Bei den vorliegenden Bewertungsergebnissen fehlen Einschätzungen zu den Unterkriterien Subsidiarität, flexible Kopplungen und Modularität. Einen Weg, um die Lücken zu füllen, würde die Durchführung von Stresstests eröffnen. Hierzu müssen Ausfall-Szenarien konzipiert und Verwundbarkeiten über Analysen und Befragung von Experten ermittelt werden. Die durch diese Schritte ermittelten Maßnahmen zur Überwindung der Verwundbarkeiten würden dann die Resilienzbewertung ergänzen. Das geschilderte Vorgehen war im Projektplan nicht vorgesehen und konnte aus Zeit- und Kapazitätsgründen nicht kurzfristig nachgeholt werden. Der Bewertungsansatz zur Ermittlung der Auswirkungen politischer Maßnahmen auf die Resilienz des Energiesystems sollte entsprechend überarbeitet werden, damit dieser unabhängiger von quantitativen Modelldaten wird.

Hinsichtlich der Trade-Offs mit anderen Kriterien steht die Resilienz im Zielkonflikt mit der Kosteneffizienz. Maßnahmen, die zu einer Erhöhung der Unterkriterien Diversität und Redundanz führen, ziehen meistens ein Anwachsen der kurzfristigen Kosten nach sich. Auf lange Zeiträume betrachtet, ist jedoch ein resilientes System volkswirtschaftlich kostengünstiger als ein System, bei dem die Systemleistungen immer wieder einbrechen. Das Unterkriterium Diversität führt zu einer Offenheit gegenüber jegli-

chen Technologien. Je größer die Bandbreite an Möglichkeiten Strom zu produzieren, desto eher ist das System bei unerwarteten Einbrüchen oder Ereignissen in der Lage zu improvisieren und die Systemleistung zur Verfügung zu stellen. Dies hat zur Folge, dass Diversität sich schlecht mit restriktiven Maßnahmen, z.B. Verbote bestimmter Technologien oder Ressourcen, wie Sie häufig von Umwelt- und Klimaschützern gefordert werden, verträgt. Entsprechend gibt es auch Wechselwirkungen mit dem Kriterium „Umwelt- und Ressourcenschonung“. Die genannten Zielkonflikte oder „Trade-Offs“ aufzulösen ist eine gesellschaftliche Aufgabe, die im Rahmen von ENavi nicht abgeschlossen werden konnte.

Tabelle 9: Bewertung des Kriteriums „Resilienz“

Unterkriterium	Indikator	Einheit	Bewertungs-maßstab	Ergebnis	Stärken / Schwächen	Datenquellen & Robustheit
Ausgangsszenario						
Diversität	Zusammenfassende Bewertung der Indikatoren: Diversität der Stromerzeugungsleistung (gesamt) Diversität der Stromerzeugungsleistung (EE) Diversität der Primärenergieträger für die Stromerzeugung Diversität der Primärenergieträger für die Stromerzeugung (EE) Diversität der Energieträger beim Strom-Endverbrauch	Ohne Einheit; Shannon-Weaver Index	Veränderungen bezogen auf das Jahr 2020 des Ausgangs-szenarios	0	• Die Diversität bleibt in etwa gleich • Es sind große Unterschiede zwischen den Modell-Ergebnissen festzustellen	• LIMES, E2M2, REMIND, TIMES PanEU • Abweichung modellübergreifend zwischen 10-30 %
Redundanz	Zusammenfassende Bewertung der Indikatoren: Redundanz an potentiell erzeugbarer Jahresstrommenge Redundanz bei durchschnittlichem Leistungsbedarf Redundanz bei maximalem Leistungsbedarf	Ohne Einheit	Veränderungen bezogen auf das Jahr 2020 des Ausgangs-szenarios	0	• Das Redundanzniveau ist relativ niedrig. Erstrebenswert wären höhere Werte	• LIMES, E2M2, REMIND, TIMES PanEU • Abweichung modellübergreifend bis zu 40 %
Feedbackmechanismen	Ohne Indikator	-	-	/	-	• Eigene Einschätzung
Gesamtbewertung	Rang	x von 4	-	k. A.	• Diversität und Redundanz leicht verringert • Große Streuung bei Modellen • Hohe Risiken durch verfehlte CO_2-Minderungsziele • Bewertung begrenzt durchführbar	• Eigene Einschätzung
KAS						
Diversität	Zusammenfassende Bewertung der Indikatoren: Diversität der Stromerzeugungsleistung (gesamt) Diversität der Stromerzeugungsleistung (EE) Diversität der Primärenergieträger für die Stromerzeugung Diversität der Primärenergieträger für die Stromerzeugung (EE) Diversität der Energieträger beim Strom-Endverbrauch	Ohne Einheit; Shannon-Weaver Index	Bezogen auf das Ausgangsszenario	0	• Durch den Kohleausstieg sinkt die Diversität etwas • Es gibt große Unterschiede bei den Modellergebnissen	• LIMES, E2M2, REMIND, TIMES PanEU • Abweichung modellübergreifend zwischen 10-30 %
Redundanz	Zusammenfassende Bewertung der Indikatoren: Redundanz an potentiell erzeugbarer Jahresstrommenge Redundanz bei durchschnittlichem Leistungsbedarf Redundanz bei maximalem Leistungsbedarf	Ohne Einheit	Bezogen auf das Ausgangsszenario	0	• Leichte Steigerung der Redundanz in Mehrzahl der Modelle • Erst in späteren Jahren erhöht sich die Redundanz deutlich • Aufgrund der Sicherheitsbereitschaft / Reserve sollte aber die Redundanz auch in den Zwischenjahren hoch sein	• LIMES, E2M2, REMIND, TIMES PanEU • Abweichung modellübergreifend bis zu 40 %
Feedbackmechanismen	Ohne Indikator	-	Bezogen auf das Ausgangsszenario	0	• Die Einrichtung einer Sicherheitsreserve und die Einsetzung der Kohlekommission können als ausgleichende Maßnahmen verstanden werden	• Eigene Einschätzung
Gesamtbewertung	Rang	x von 4	-	k. A.	• Steigende Importe bei Strom und Gas • Geringe Wirkung von KAS auf Resilienz durch Langzeitreserven/ Verbundnetz • Bewertung begrenzt durchführbar	• Eigene Einschätzung

(Fortsetzung der Tabelle)

Unterkriterium	Indikator	Einheit	Bewertungs-maßstab	Ergebnis	Stärken / Schwächen	Datenquellen & Robustheit
KAS+						
Diversität	Zusammenfassende Bewertung der Indikatoren: Diversität der Stromerzeugungsleistung (gesamt) Diversität der Stromerzeugungsleistung (EE) Diversität der Primärenergieträger für die Stromerzeugung Diversität der Primärenergieträger für die Stromerzeugung (EE) Diversität der Energieträger beim Strom-Endverbrauch	Ohne Einheit; Shannon-Weaver Index	Bezogen auf das Ausgangsszenario	0	• Durch den Kohleausstieg sinkt die Diversität etwas • Es gibt große Unterschiede zwischen den Modellen	• LIMES, E2M2, TIMES PanEU • Abweichung modellübergreifend bis max. 40 %
Redundanz	Zusammenfassende Bewertung der Indikatoren: Redundanz an potentiell erzeugbarer Jahresstrommenge Redundanz bei durchschnittlichem Leistungsbedarf Redundanz bei maximalem Leistungsbedarf	Ohne Einheit	Bezogen auf das Ausgangsszenario	0	• In etwa gleichbleibende Redundanz-Ergebnisse. Unterschiede bei den Modellen • Aufgrund der Sicherheitsreserve sollte aber die Redundanz auch in den Zwischenjahren hoch sein	• LIMES, E2M2, TIMES PanEU • Abweichung modellübergreifend bis zu 40 %
Feedbackmechanismen	Ohne Indikator	-	Bezogen auf das Ausgangsszenario	0	• Die Maßnahmen EE+ und ZS tragen dazu bei CO_2 zielgerichtet zu reduzieren • Bedarfsgerechte Anpassung EE Ausbau und Menge an Zertifikaten • EE verringern mit Speichern Importabhängigkeiten; Monitoringmaßnahmen fehlen	• Eigene Einschätzung
Gesamtbewertung	Rang	x von 4	-	k. A.	• Diversität und Redundanz gleich (AGS) • Verringerte Importe nicht ausschlaggebend • Bewertung begrenzt durchführbar	• Eigene Einschätzung
COP+						
Diversität	Zusammenfassende Bewertung der Indikatoren: Diversität der Stromerzeugungsleistung (gesamt) Diversität der Stromerzeugungsleistung (EE) Diversität der Primärenergieträger für die Stromerzeugung Diversität der Primärenergieträger für die Stromerzeugung (EE) Diversität der Energieträger beim Strom-Endverbrauch	Ohne Einheit; Shannon-Weaver Index	Bezogen auf das Ausgangsszenario	0	• Durch den Kohleausstieg sinkt insgesamt die Diversität etwas • Es gibt große Unterschiede bei den Modellergebnissen	• LIMES, E2M2 • Abweichung modellübergreifend zwischen 10-30 %
Redundanz	Zusammenfassende Bewertung der Indikatoren: Redundanz an potentiell erzeugbarer Jahresstrommenge Redundanz bei durchschnittlichem Leistungsbedarf Redundanz bei maximalem Leistungsbedarf	Ohne Einheit	Bezogen auf das Ausgangsszenario	0	• Leichte Verbesserung der Redundanz im System • Die potentiell im Jahresdurchschnitt erzeugbare Strommenge steigt • Der geringe Speicherzubau führt dazu, dass die steigenden potentiellen Erzeugungsmengen keine Leistungsreserve darstellen	• LIMES, E2M2 • Abweichung modellübergreifend bis zu 20 %
Feedbackmechanismen	Ohne Indikator	-	Bezogen auf das Ausgangsszenario	0	• Die Maßnahmen EE+ und ZS tragen dazu bei CO_2 zielgerichtet zu reduzieren • Bedarfsgerechte Anpassung EE Ausbau und Menge an Zertifikaten	• Eigene Einschätzung
Gesamtbewertung	Rang	x von 4	-	k. A.	• Verringerte Strom-/Gasimporte (AS) • Zu geringer Speicherzubau • Sicherung von Kraftwerksleistung nicht dargestellt • Maßnahmen ohne Wirkung auf Resilienz • Bewertung begrenzt durchführbar	• Eigene Einschätzung

6.4 Umwelt- und Ressourcenschonung

Volker Stelzer (KIT-ITAS)

Definition des Kriteriums und seiner Unterkriterien

Sowohl die Verfügbarkeit natürlicher Ressourcen in ausreichender Menge und Qualität („Quellen“) als auch die Erhaltung der Funktionsfähigkeit von Ökosystemen („Senken“) sind essenziell für die Überlebens- und Entwicklungsfähigkeit heutiger und kommender Generationen. Aus diesem Grund werden im vorgestellten Bewertungsansatz die Verbräuche erneuerbarer und nicht-erneuerbarer Ressourcen adressiert.

Der Auffassung im Brundtland-Bericht folgend, wird der Schutz der Natur nicht um ihrer selbst willen angestrebt, sondern aus anthropozentrischer Sicht beurteilt. Allerdings wird dabei eine sehr weitgehende Funktion der Natur für den Menschen zugrunde gelegt. So wird unter anderem über die Funktionen der Natur zum Erhalt des Lebens und des Wirtschaftssystems hinaus die Funktion der Natur als lebensbereicherndes Element in die Betrachtungen miteinbezogen.

Datenbasis für die Bewertung

Es liegen nur zum Teil Daten vor, aus denen die Umweltschutz- und die Ressourcenwirkungen der Ener-giewende direkt abgelesen werden können. Dies ist zum einen der Indikator „Wasserentnahme“ der durch TIMES zur Verfügung gestellt wird. Er wird deutlich dominiert durch die Entnahmen, die für die Wasserhaltung im Braunkohlebergbau vorgenommen werden. Zum anderen ist dies der Indikator „Kumulierte Bedarfe an Cadmium, Indium, Selen und Tellur in Relation zu ihren jeweiligen Reserven“, der von Carbon Piot zur Verfügung gestellt wird. Die Szenarienergebnisse beruhen auf den Abschätzungen in den unterschiedlichen Fachpublikationen in Kombination mit den Rahmenszenarienvorgaben. In dem Modell sind unterschiedliche technologische Entwicklungspfade berechnet worden, wie z.B. die Ausweitung der Dünnschichtphotovoltaik. Für die Bewertung wurden aus Vorsorgegründen die Szenarienergebnisse verwendet, die die höchsten Materialverbräuche der jeweiligen Stoffe aufweisen. Auch wurden die heutigen Reserven als Referenz für die Bewertung zu Grunde gelegt, obwohl es aus der historischen Erfahrung zu anderen Rohstoffen sehr wahrscheinlich ist, dass sich die Technologie in der Hinsicht weiter entwickelt, dass heute unwirtschaftliche Ressourcen der Stoffe in Zukunft ökonomisch nutzbar sind und damit zu Reserven werden. Allerdings wollten wir aus dem schon genannten Vorsorgegesichtspunkt diesen Effekt nicht einbeziehen. Auch werden die möglichen Knappheiten, die sich daraus ergeben, dass seltenen und notwendigen Rohstoffe in einzelnen Ländern konzentriert vorkommen und damit ein relativ hohes Potenzial für eine künstliche Verknappung des Marktes möglich ist, nicht berücksichtigt.

Einer der aussagekräftigsten Indikatoren wäre „Dauerhafte Bodenzerstörung“. Im Gegensatz zu der temporären Zerstörung z.B. im Braunkohleabbau, bei dem nach der Nutzungsphase wieder eine Umwandlung in Wasserfläche oder in eine mit Boden bedeckte Landoberfläche erfolgt, existiert bei den Flächen für Energieanlagen in der Regel über deutlich längere Zeiträume kein Boden mehr. Hierdurch wird Kohlenstoff freigesetzt, die Kohlenstoffbindung reduziert, die Fläche als Standort für Pflanzen und Lebensraum für Tiere verringert, die Puffer-, Filter- und Rückhaltekapazität für Niederschlagswasser verringert, um nur die wichtigsten zu nennen. Leider wird von diesen Faktoren nur die Versiegelungsfläche für Windenergieanlagen erhoben (von TIMES). Andere Versiegelungen wie die von Fundamenten für Freiflächensolaranlagen, Biogasanlagen oder die Standflächen von fossilen Kraftwerken inklusive der Lagerflächen für Kohle und Öl bzw. für Verdichterstationen von Gaspipelines werden nicht ermittelt.

Von ähnlicher Bedeutung wäre der Indikator der „Gesamtmaterialentnahme“. Hierbei würden zum einen die Entnahmen für die Rohstoffe Kohle, Öl und Gas, aber auch das Abtragen der Deckgebirge und die Gewinnung von Rohstoffen für Wind-, Solar- und Biomasseanlagen bilanziert. Gerade die seltenen Erden liegen oft nur in geringen Konzentrationen vor, so dass für die Gewinnung der notwendigen Mengen eine große Menge an Material bewegt werden muss. Alle Materialbewegung ist ein Eingriff in die Natur. Sie zerstört natürliche Wirkungszusammenhänge, beeinflusst den Wasserhaushalt, führt zu Oberflächen- und Landschaftsveränderungen und erhöht den Energieverbrauch. Leider ist auch dieser Indikator im Konsortium nicht modellierbar.

Für die Landschaftsbeeinflussung durch Windenergieanlagen gibt es Angaben aus TIMES. Allerdings sind in die Annahmen für die Wirkung der Einzelanlagen relativ starke Vereinfachungen vorgenommen worden, so dass die Werte nur Anhaltspunkte geben. Ganz abgesehen davon, dass es sich bei der Bewertung der Landschaftsveränderung um einen Indikator von hoher Subjektivität handelt, da der Anblick derartiger Anlagen von einigen Personen als negativ, von anderen aber positiv und von wider anderen auch neutral gesehen wird. Es gibt Überlegungen dieses Unterkriterium und damit auch den Indikator von diesem Kriterium in das Kriterium „Förderung des sozialen Zusammenhalts“ zu verschieben.

Ein anderer Indikator, der für die Bewertung von Interesse wäre, wäre die Modellierung, wieviel Wirbeltiere pro Jahr getötet werden. Hierzu gibt es Abschätzungen für die heutige Situation. Einbezogen werden dabei nicht nur Tiere, die durch Windrotoren ums Leben kommen, sondern auch solche, die durch Ölunfälle, Vergiftungen von Ökosystemen durch Luftschadstoffe oder den Klimawandelanteil der Emissionen umkommen.

Vorschlag der Gesamtbewertung

In der Regel erfolgt eine relative Bewertung zu den anderen Szenarien. Der beste der vier Szenarienwerte wird mit 100% eingeordnet. Alle Szenarien mit 100% werden als grün klassifiziert. Die Werte der anderen Szenarien, die bis zu fünf Prozentpunkte von dem 100%-Wert abweichen, werden mit gelb klassifiziert. Alle Szenarienwerte die mehr als fünf Prozentpunkte abweichen, erhalten eine rote Farbe. Im Folgenden werden die Indikatoren pro Unterkriterium zusammengefasst. Beim Unterkriterium 2 gibt es im Referenzszenario die Situation, dass ein Indikator gelb und ein anderer grün bewertet wird. Für die zusammenfassende Bewertung des Unterkriteriums wird die Bodenzerstörung durch Braunkohleabbau als etwas gravierender eingeschätzt als die Fläche für Energiepflanzen, so dass die Bewertung der Braunkohleabbauflächen übernommen wird. Da in allen Szenarien Bewertungen von Unterkriterienjahren mit rot und grün erfolgen, resultieren für fast alle Szenarien gelbe Bewertungen mit Ausnahme des KAS-Szenarios, dass mit grün bewertet wird. Allerdings ist anzumerken, dass erkennbar ist, dass das COP+ deutlich weniger grüne und mehr rote Bewertungen aufweist.

Einschätzung zur Robustheit der Bewertungsergebnisse

Die Bewertung beruht auf Ergebnissen der Modelle TIMES und Carbon Piot. Die Robustheit der Ergebnisse ist damit eng korreliert mit der Robustheit dieser Modelle.

Ausblick

Für kommende Projekte wäre es ein Gewinn, wenn die Indikatoren „Entwicklung der versiegelten Fläche“, „getötete Wirbeltiere pro Jahr“ und „Gesamtmaterialentnahme“ modelliert werden könnten.

Tabelle 10: Bewertung des Kriteriums „Umwelt- und Ressourcenschonung“

Unterkriterium	Indikator	Einheit	Bewertungsmaßstab	Ergebnis			Stärken / Schwächen	Datenquellen & Robustheit
				2030	2040	2050		
Ausgangsszenario								
Erneuerbare Ressourcen	Wasserentnahme	m^3/Jahr	Vergleich zwischen den Szenarien	-	-	-	• Während in allen anderen Szenarien die Wasserentnahmen deutlich zurückgehen, bleiben sie in diesem Szenario auf hohem Niveau.	• TIMES
Erhalt der Funktionen der Natur	Flächen mit dauerhafter Bodenzerstörung	ha	Vergleich zwischen den Szenarien	/	/	/	• Dieser Indikator repräsentiert am besten das Kriterium.	• Nicht modelliert
	Flächen mit Bodenzerstörung durch Braunkohleabbau	ha	Vergleich zwischen den Szenarien / Leitindikator	+	0	0	• Die Flächen für Braunkohleabbau sind zwar höher als in den anderen Szenarien, aber unter 5%.	• TIMES
	Anbau von Energiepflanzen	ha	Vergleich zwischen den Szenarien	0	0	+	• Das Niveau Energiepflanzenanbaus ist über die zeitliche Entwicklung relativ konstant, nimmt aber nach 2040 deutlich ab.	• TIMES
	Anzahl der Wildtiere, die pro Jahr durch Stromerzeugungsanlagen und die Energievorketten getötet werden	Tiere/Jahr	Vergleich zwischen den Szenarien	/	/	/	-	• Nicht modelliert
	Bewertung Unterkriterium	-	Da die Bodenzerstörung durch Braunkohleabbau als etwas gravierender eingeschätzt wird, wird der Bewertung der Braunkohleabbauflächen gefolgt.	+	0	0	-	-
Erhalt der kulturellen Funktion der Natur	Veränderung der Landschaft durch Windenergieanlagen	ha	Vergleich zwischen den Szenarien	+	+	+	• In diesem Szenario steigt die Anzahl der Windenergieanlagen und damit potenziell die Landschaftsfläche, die verändert wird, allerdings sind in diesem Szenario die Anstiege am geringsten von allen Szenarien.	• TIMES
Nicht-erneuerbare Ressourcen	Kumulierte Bedarfe an Cadmium, Indium, Selen und Tellur in Relation zu ihren Reserven	%	Vergleich der kumulierten Inanspruchnahmen zu den Reserven	+	+	+	• Bei allen aufgeführten seltenen Erden übersteigt der kumulierte Bedarf bis 2050 in den Extremszenarien die heutigen Reserven zum Teil deutlich.	• Modellergebnisse Carbon Piot berechnet die Verbräuche in den vorgegebenen Szenarien. In unterschiedlichen Varianten. In denen oft die kumulierten Verbräuche unter den Reserven bleiben. In den Extremszenarien liegen sie allerdings i.d.R. mehr als 100% über den Reserven.
	Kumulierte Materialentnahmen (temporär und dauerhaft)	m^3	Vergleich zwischen den Szenarien	-	-	-	• Die Gesamtmaterialentnahmen ist ein sehr guter Indikator, um die Stärke des Eingriffs in die Natur und die Landschaft zu bewerten.	• Nicht modelliert
	Bewertung Unterkriterium	-	Da nur für einen Indikator Werte vorliegen, folgt die Bewertung des Unterkriteriums dieser Bewertung.	+/-	+/-	+/-	-	-
Gesamtbewertung	Rang	x von 4	Da sich rote und grüne Bewertungen der Unterkriterien in etwa die Waage halten, erfolgt eine gelbe Bewertung.	k. A.			• Langfristige Schonung (nationaler) Kohlebestände, abgebaggerter Flächen und Wasserentnahmen durch Kohleförderung und -verstromung • Geringster Flächen- und Materialeinsatz für EE (AS)	

(Fortsetzung der Tabelle)

Unterkriterium	Indikator	Einheit	Bewertungsmaßstab	Ergebnis			Stärken / Schwächen	Datenquellen & Robustheit
				2030	2040	2050		
KAS								
Erneuerbare Ressourcen	Wasserentnahme	m^3/Jahr	Vergleich zwischen den Szenarien	+	+	+	• Die Wasserentnahmen vor allem im Zusammenhang mit der Braunkohlenutzung gehen bis auf 0 zurück.	• TIMES
Erhalt der Funktionen der Natur	Flächen mit dauerhafter Bodenzerstörung	ha	Vergleich zwischen den Szenarien	/	/	/	• Dieser Indikator repräsentiert am besten das Kriterium.	• Nicht modelliert
	Flächen mit Bodenzerstörung durch Braunkohleabbau	ha	Vergleich zwischen den Szenarien / Leitindikator	+	+	+	• Die Flächen für Braunkohleabbau nehmen zu, aber weniger als im Ausgangsszenario.	• TIMES
	Anbau von Energiepflanzen	ha	Vergleich zwischen den Szenarien	+	+	-	• Das Niveau Energiepflanzenanbaus nimmt deutlich zu.	• TIMES
	Anzahl der Wildtiere, die pro Jahr durch Stromerzeugungsanlagen und die Energievorketten getötet werden	Tiere/Jahr	Vergleich zwischen den Szenarien	/	/	/	-	• Nicht modelliert
	Bewertung Unterkriterium	-	Es wird der Mittelwert aus den beiden bewertbaren Indikatoren gebildet..	+	+	0	-	-
Erhalt der kulturellen Funktion der Natur	Veränderung der Landschaft durch Windenergieanlagen	ha	Vergleich zwischen den Szenarien	+	+	0	• Auch in diesem Szenario steigt die Anzahl der Windenergieanlagen und damit potenziell die Landschaftsfläche, die verändert wird und die Werte liegen ca. 10 bis 16 Prozentpunkt über den niedrigsten Werten.	• TIMES
Nicht-erneuerbare Ressourcen	Kumulierte Bedarfe an Cadmium, Indium, Selen und Tellur in Relation zu ihren Reserven	%	Vergleich der kumulierten Inanspruchnahmen zu den Reserven	-	-	-	• Bei allen aufgeführten seltenen Erden übersteigt der kumulierte Bedarf bis 2050 in den Extremszenarien die heutigen Reserven zum Teil deutlich.	• Modellergebnisse Carbon Piot berechnet die Verbräuche in den vorgegebenen Szenarien. In unterschiedlichen Varianten. In denen oft die kumulierten Verbräuche unter den Reserven bleiben. In den Extremszenarien liegen sie allerdings i.d.R. mehr als 100% über den Reserven.
	Kumulierte Materialentnahmen (temporär und dauerhaft)	m^3	Vergleich zwischen den Szenarien	+/-	+/-	+/-	• Die Gesamtmaterialentnahmen ist ein sehr guter Indikator um die Stärke des Eingriffs in die Natur und die Landschaft zu bewerten.	• Nicht modelliert
	Bewertung Unterkriterium	-	Da nur für einen Indikator Werte vorliegen, folgt die Bewertung des Unterkriteriums dieser Bewertung.	-	-	-	-	-
Gesamtbewertung	Rang	x von 4	Da die grünen Bewertungen überwiegen wird das Szenario mit hellgrün bewertet.	k. A.			• Mittelfristige Schonung (nationaler) Kohlebestände, abgebaggerter Flächen sowie Grund- und Oberflächenwasser • Mäßige Zunahme von Flächen- und Materialeinsatz für EE (AS)	

(Fortsetzung der Tabelle)

Unterkriterium	Indikator	Einheit	Bewertungsmaßstab	Ergebnis			Stärken / Schwächen	Datenquellen & Robustheit
				2030	2040	2050		
KAS+								
Erneuerbare Ressourcen	Wasserentnahme	m^3/Jahr	Vergleich zwischen den Szenarien	+	+	+	• Die Wasserentnahmen vor allem im Zusammenhang mit der Braunkohlenutzung gehen bis auf 0 zurück.	• TIMES
Erhalt der Funktionen der Natur	Flächen mit dauerhafter Bodenzerstörung	ha	Vergleich zwischen den Szenarien	/	/	/	• Dieser Indikator repräsentiert am besten das Kriterium.	• Nicht modelliert
	Flächen mit Bodenzerstörung durch Braunkohleabbau	ha	Vergleich zwischen den Szenarien / Leitindikator	+	+	+	• Die Flächen für Braunkohleabbau nehmen zu, aber weniger als im Ausgangsszenario.	• TIMES
	Anbau von Energiepflanzen	ha	Vergleich zwischen den Szenarien	-	-	-	• Das Niveau Energiepflanzenanbaus nimmt deutlich zu.	• TIMES
	Anzahl der Wildtiere, die pro Jahr durch Stromerzeugungsanlagen und die Energievorketten getötet werden	Tiere/Jahr	Vergleich zwischen den Szenarien	/	/	/	-	• Nicht modelliert
	Bewertung Unterkriterium	-	Es wird der Mittelwert aus den beiden bewertbaren Indikatoren gebildet.	0	0	0	-	-
Erhalt der kulturellen Funktion der Natur	Veränderung der Landschaft durch Windenergieanlagen	ha	Vergleich zwischen den Szenarien	-	-	-	• Auch in diesem Szenario steigt die Anzahl der Windenergieanlagen und damit potenziell die Landschaftsfläche, die verändert wird und die Werte liegen ca. 10 bis 16 Prozentpunkt über den niedrigsten Werten.	• TIMES
Nicht-erneuerbare Ressourcen	Kumulierte Bedarfe an Cadmium, Indium, Selen und Tellur in Relation zu ihren Reserven	%	Vergleich der kumulierten Inanspruchnahmen zu den Reserven	-	-	-	• Bei allen aufgeführten seltenen Erden übersteigt der kumulierte Bedarf bis 2050 in den Extremszenarien die heutigen Reserven zum Teil deutlich.	• Modellergebnisse Carbon Piot berechnet die Verbräuche in den vorgegebenen Szenarien. In unterschiedlichen Varianten. In denen oft die kumulierten Verbräuche unter den Reserven bleiben. In den Extremszenarien liegen sie allerdings i.d.R. mehr als 100% über den Reserven.
	Kumulierte Materialentnahmen (temporär und dauerhaft)	m^3	Vergleich zwischen den Szenarien	+/-	+/-	+/-	• Die Gesamtmaterialentnahmen ist ein sehr guter Indikator um die Stärke des Eingriffs in die Natur und die Landschaft zu bewerten.	• Nicht modelliert
	Bewertung Unterkriterium	-	Da nur für einen Indikator Werte vorliegen, folgt die Bewertung des Unterkriteriums dieser Bewertung.	-	-	-	-	-
Gesamtbewertung	Rang	x von 4	Die deutlich häufigere rote als grüne Bewertung ergibt eine gelbe Bewertung mit einer Tendenz zu rot.	k. A.			• Mittelfristige Schonung (nationaler) Kohlebestände, abgebaggerter Flächen sowie Grund- und Oberflächenwasser • Starke Zunahme von Flächen- und Materialeinsatz für EE+ (AS)	

(Fortsetzung der Tabelle)

Unterkriterium	Indikator	Einheit	Bewertungsmaßstab	Ergebnis			Stärken / Schwächen	Datenquellen & Robustheit
				2030	2040	2050		
COP+								
Erneuerbare Ressourcen	Wasserentnahme	m^3/Jahr	Vergleich zwischen den Szenarien	-	+	+	• Die Wasserentnahmen vor allem im Zusammenhang mit der Braunkohlenutzung gehen bis auf 0 zurück.	• TIMES
Erhalt der Funktionen der Natur	Flächen mit dauerhafter Bodenzerstörung	ha	Vergleich zwischen den Szenarien	/	/	/	• Dieser Indikator repräsentiert am besten das Kriterium.	• Nicht modelliert
	Flächen mit Bodenzerstörung durch Braunkohleabbau	ha	Vergleich zwischen den Szenarien / Leitindikator	+	+	+	• Die Flächen für Braunkohleabbau nehmen zu, aber weniger als im Ausgangsszenario.	• TIMES
	Anbau von Energiepflanzen	ha	Vergleich zwischen den Szenarien	-	-	-	• Das Niveau Energiepflanzenanbaus nimmt zwar nach 2040 ab. Bleibt aber deutlich über dem Ausgangsszenario.	• TIMES
	Anzahl der Wildtiere, die pro Jahr durch Stromerzeugungsanlagen und die Energievorketten getötet werden	Tiere/Jahr	Vergleich zwischen den Szenarien	/	/	/	-	• Nicht modelliert
	Bewertung Unterkriterium	-	Es wird der Mittelwert aus den beiden bewertbaren Indikatoren gebildet.	0	0	0	-	-
Erhalt der kulturellen Funktion der Natur	Veränderung der Landschaft durch Windenergieanlagen	ha	Vergleich zwischen den Szenarien	-	-	-	• Auch in diesem Szenario steigt die Anzahl der Windenergieanlagen und damit potenziell die Landschaftsfläche, die verändert wird.	• TIMES
Nicht-erneuerbare Ressourcen	Kumulierte Bedarfe an Cadmium, Indium, Selen und Tellur in Relation zu ihren Reserven	%	Vergleich der kumulierten Inanspruchnahmen zu den Reserven	-	-	-	• Bei allen aufgeführten seltenen Erden übersteigt der kumulierte Bedarf bis 2050 in den Extremszenarien die heutigen Reserven zum Teil deutlich.	• Modellergebnisse Carbon Piot berechnet die Verbräuche in den vorgegebenen Szenarien. In unterschiedlichen Varianten. In denen oft die kumulierten Verbräuche unter den Reserven bleiben. In den Extremszenarien liegen sie allerdings i.d.R. mehr als 100% über den Reserven.
	Kumulierte Materialentnahmen (temporär und dauerhaft)	m^3	Vergleich zwischen den Szenarien	+/-	+/-	+/-	• Die Gesamtmaterialentnahmen ist ein sehr guter Indikator um die Stärke des Eingriffs in die Natur und die Landschaft zu bewerten.	• Nicht modelliert
	Bewertung Unterkriterium	-	Da nur für einen Indikator Werte vorliegen, folgt die Bewertung des Unterkriteriums dieser Bewertung.	-	-	-	-	-
Gesamtbewertung	Rang	x von 4	Die deutlich häufigere rote als grüne Bewertung ergibt eine gelbe Bewertung mit einer Tendenz zu rot.	k. A.			• Langfristig eintretende Schonung (nationaler) Kohlebestände, abgebaggerter Flächen sowie Grund- und Oberflächenwasser • Starke Zunahme von Flächen- und Materialeinsatz für EE+ (AS)	

6.5 Schutz der menschlichen Gesundheit

Volker Stelzer (KIT-ITAS)

Definition des Kriteriums und seiner Unterkriterien

Die Erhaltung der menschlichen Gesundheit stellt ein zentrales und existenzielles Schutzziel nachhaltiger Entwicklung dar. Gegenstand des hier formulierten Kriteriums ist die Vermeidung von Gesundheitsproblemen, die im Zusammenhang mit der Produktion, dem Transport oder der Nutzung von Kohle zur Stromerzeugung stehen. Darüber, dass für den wegfallenden Kohlestrom entweder durch Effizienzmaßnahmen die Stromnachfrage reduziert oder aber Strom durch andere Energieträger erzeugt werden muss, werden auch die Gesundheitsauswirkungen dieser Maßnahmen beleuchtet.

Mit Blick auf das Gesundheitssystem wird die „Output-Seite“, d. h. die (negativen) Gesundheitswirkungen, betrachtet und nicht die Input-Seite (Gesundheits-Grundversorgung, Ausgaben für Gesundheit usw.). Aus Gründen der Datenverfügbarkeit und Zuordenbarkeit von Informationen zum Energiesektor bzw. zu einem Maßnahmenbündel werden dabei, soweit es die Datenverfügbarkeit zulässt, die Folgen von Gesundheitsbeeinträchtigungen (z. B. Verringerung der Lebenserwartung) adressiert, wo hierzu keine ausreichenden Daten zur Verfügung stehen, werden die Ursachen der Gesundheitsbeeinträchtigungen wie z. B. Feinstaub-Emissionen für die Bewertung herangezogen.

Datenbasis für die Bewertung

Es liegen nur z.T. Daten vor, aus denen die Gesundheitswirkungen der Energiewende direkt abgelesen werden können. Dies ist im Wesentlichen der Indikator Humantoxizität, der durch Carbon Piot zur Verfügung gestellt wird. Da sowohl die Schwermetall- als auch die Feinstaubemissionen in die Berechnung des Indikators Humantoxizität eingeflossen sind, sind dieses nur Teilindikatoren, die zur Erklärung der Bewertung bzw. für die Definition von Maßnahmen herangezogen werden können. Die eigentliche Ampelbewertung des Unterkriteriums erfolgt auf der Grundlage des Indikators Humantoxizität. Eine noch bessere Informationsbasis für die Bewertung wäre es, wenn die Ergebnisse für DALYs (verringerte Lebenszeit) vorliegen würden, die prinzipiell von REMIND berechnet werden können. Leider war es im bisherigen Projektverlauf noch nicht möglich, die Werte für die vorgegebenen Szenarien zu ermitteln.

Um die vorliegenden Daten zu ergänzen wurden Hilfskonstruktionen gewählt. Ein Teil der Gesundheitsbelastungen für den Menschen erfolgt aus der Belastung von Lebensmitteln wie Fisch und Pilze durch Schwermetalle. Hauptverursacher in dem von uns betrachteten Untersuchungsfeld hierfür sind die Emissionen aus den Kohlekraftwerken. Durch ihre dominierende Rolle in diesem Feld wurde die Belastung mit Schwermetallen mit den Emissionen der Kohlekraftwerke als positiv korreliert angesehen. Da keine Werte für die Emissionen vorliegen wurde vereinfacht die Menge an Strom, die aus Kohlekraftwerken emittiert wird, betrachtet und angenommen, dass eine Veränderung dieses Parameters mit einer Veränderung der Schwermetallemissionen positiv korreliert.

Da in zwei Modellen die Strommengen der Kohlekraftwerke berechnet werden, wurden beide Ergebnisse für die Bewertung herangezogen. Da wo die Modelle zu unterschiedlichen Bewertungen führten, wurden die Ergebnisse neutralisiert.

Da der allergrößte Teil des Lärms in unserem Feld von Windenergieanlagen hervorgerufen wird, wurde die wahrscheinliche Belastung mit Lärm mit der Anzahl der Windenergieanlagen positiv korreliert. Auch für die Anzahl der Windenergieanlagen wurde mit zwei Modellen berechnet. Auch bei diesem Indikator wurden beide Modellergebnisse herangezogen und bei unterschiedlicher Klassifizierung neutralisiert.

Vorschlag der Gesamtbewertung

In der Regel erfolgt eine relative Bewertung zu den anderen Szenarien. Der beste der vier Szenarienwerte wird mit 100% eingeordnet. Alle Szenarien mit 100% werden als grün klassifiziert. Die Werte der anderen Szenarien, die bis zu fünf Prozentpunkte von dem 100%-Wert abweichen, werden mit gelb klassifiziert. Alle Szenarienwerte die mehr als fünf Prozentpunkte abweichen, erhalten eine rote Farbe.

In einem ersten Schritt wurden die Indikatoren pro Unterkriterium zusammengefasst. Hierbei wurden zum einen die Indikatoren, für die es zwei Modellergebnisse gab, nur einfach gewertet, da sie ja nur für ein Charakteristikum der Belastung der menschlichen Gesundheit stehen. Für die Ermittlung der Bewertung des Unterkriteriums „Gesundheitsbelastung aus Luft und Nahrungsmitteln“ wurde der Bewertung des Indikators Humantoxizität gefolgt, da sowohl die Schwermetall- als auch die Feinstaubemissionen in ihm berücksichtigt werden. Da die Schwermetallemissionen bei der Bestimmung des Indikators

Humantoxizität einfließen, wurde auch das Unterkriterium Gesundheitsbelastung durch die Nahrung nicht selbständig gewertet.
Der Lärm durch Windenergieanlagen geht deutlich geringer gewichtet als die Gesundheitsbelastung durch die Luft ein, da deutlich weniger Personen betroffen werden und auch die Wirkungen auf die Gesundheit in der Regel deutlich geringer ist.

Einschätzung zur Robustheit der Bewertungsergebnisse
Die Bewertung beruht auf Ergebnissen der Modelle TIMES, Carbon Piot und REMIND. Die Robustheit der Ergebnisse ist damit eng korreliert mit der Robustheit dieser Modelle. Die Ergebnisse zu den Strommengen aus Kohlekraftwerken und aus Windenergieanlagen gehen in den Modellen Times und REMIND prinzipiell in die gleiche Richtung, differieren aber doch soweit, dass sie z.T. zu unterschiedlichen Bewertungsergebnissen führen.

Ausblick
Für kommende Projekte wäre es ein Gewinn, wenn die Modellierung der DALY zur Verfügung stehen würde. Für die Interpretation wäre es allerdings wichtig, wenn nicht einfach der Endwert für das Szenario und Jahr zur Verfügung gestellt würde, sondern es auch Informationen darüber geben würde, welche der Faktoren in den Rechenprozeduren zur Berechnung des DALYs für die größten Veränderungen verantwortlich sind. Hierdurch würde zum einen die Interpretation der Daten vereinfacht und zum anderen gäben erst diese Informationen ausreichend Hinweise darauf, welche Maßnahmen ergriffen werden sollten, um mögliche negative Effekte auf die Gesundheit zu verringern und damit das betrachtete Maßnahmenbündel zu optimieren.

Tabelle 11: Bewertung des Kriteriums „Schutz der menschlichen Gesundheit“

Unterkriterium	Indikator	Einheit	Bewertungsmaßstab	Ergebnis			Stärken / Schwächen	Datenquellen & Robustheit
				2030	2040	2050		
Ausgangsszenario								
Gesundheitsgefährdung über die Luft und die Nahrung	Emission von Schwermetallen (Quecksilber, Cadmium, Arsen, Blei) (Teilindikator)	t	Vergleich zwischen den Szenarien	-	-	-	• Während in allen anderen Szenarien die Quellen für Schwermetallemissionen deutlich zurückgehen, bleiben sie in diesem Szenario auf einem sehr hohen Niveau.	• Modellergebnisse TIMES für Strommenge pro Jahr aus Kohlekraftwerken. Da von den betrachteten Emissionen diejenigen aus Kohlekraftwerken den weitaus größten Teil ausmachen, wurde die relative Entwicklung der Menge an Strom aus Kohle mit der Höhe der Schwermetallemissionen gleichgesetzt.
	Emission von Schwermetallen (Quecksilber, Cadmium, Arsen, Blei) (Teilindikator)	t	Vergleich zwischen den Szenarien	-	-	-	• Während in allen anderen Szenarien die Quellen für Schwermetallemissionen deutlich zurückgehen, bleiben sie in diesem Szenario auf einem sehr hohen Niveau.	• Modellergebnisse REMIND für Strommenge pro Jahr aus Kohlekraftwerken. Da von den betrachteten Emissionen diejenigen aus Kohlekraftwerken den weitaus größten Teil ausmachen, wurde die relative Entwicklung der Menge an Strom aus Kohle mit der Höhe der Schwermetallemissionen gleichgesetzt.
	Zusammenfassung der Modelle	-	Da die Bewertung aus beiden Modellen die gleiche ist, entspricht dem auch die Unterkriteriumsbewertung.	-	-	-	-	-
	DALY (Entgangene Lebenszeit)	k. A.	Vergleich zwischen den Szenarien	/	/	/	• Dieser Indikator repräsentiert am besten das Kriterium.	• Modellierungsprobleme
	Humantoxizität (Emissionen, die die Gesundheit des Menschen schädigen können)	1.000 t 1,4-DB-eq.	Vergleich zwischen den Szenarien	-	/	-	• Während in allen anderen Szenarien die Quellen für gesundheitsbelastende Emissionen deutlich zurückgehen, bleiben sie in diesem Szenario auf einem sehr hohen Niveau.	• Modellergebnisse aus Carbon Piot. Keine Werte für 2040 vorhanden.
	Staub als PM10 (Teilindikator)	t	Vergleich zwischen den Szenarien	+	/	0	• Das Niveau der Staubemissionen ist über die zeitliche Entwicklung und die Szenarien relativ konstant.	• Modellergebnisse aus Carbon Piot. Keine Werte für 2040 vorhanden.
	Bewertung Unterkriterium	-	Da die Bewertung der DALYs nicht vorliegt und wird für die Gesamtbewertung den Ergebnissen der Humantoxizität gefolgt.	-	/	-	-	-
Gesundheitsgefährdung über Lärm	Lärmbelastete Personen	Personen	Vergleich zwischen den Szenarien	+	+	+	• Auch in diesem Szenario steigt die Anzahl der Windenergieanlagen und damit potenziell die Anzahl der lärmbelasteten Personen, allerdings sind in diesem Szenario die Anstiege am geringsten.	• Modellergebnisse TIMES für Strommenge pro Jahr aus Windkraftwerken. Da von den betrachteten Geräuschemissionen diejenigen aus Windkraftwerken den weitaus größten Teil ausmachen, wurde die relative Entwicklung der Menge an Strom aus Wind mit der Höhe der Lärmemissionen gleichgesetzt.
	Lärmbelastete Personen	Personen	Vergleich zwischen den Szenarien	-	-	-	• Auch in diesem Szenario steigt die Anzahl der Windenergieanlagen und damit potenziell die Anzahl der lärmbelasteten Personen. Die Anstiege sind höher als in KAS.	• Modellergebnisse REMIND für Strommenge pro Jahr aus Windkraftwerken. Da von den betrachteten Geräuschemissionen diejenigen aus Windkraftwerken den weitaus größten Teil ausmachen, wurde die relative Entwicklung der Menge an Strom aus Wind mit der Höhe der Lärmemissionen gleichgesetzt.
	Bewertung Unterkriterium	-	Da die beiden Modelle unterschiedliche Ergebnisse aufweisen, wird das Ergebnis neutralisiert.	+/-	+/-	+/-	-	-
Gesamtbewertung	Rang	x von 4	Da die Humantoxizität der gravierendste Indikator bezüglich der Gesundheit des Menschen ist, und dazu die Unterschiede zu den anderen Szenarien hier erheblich sind, erfolgt eine rote Bewertung.	k. A.			• Gesundheitsschädliche Kraftwerksemissionen besonders hoch (AS)	

(Fortsetzung der Tabelle)

Unterkriterium	Indikator	Einheit	Bewertungsmaßstab	Ergebnis			Stärken / Schwächen	Datenquellen & Robustheit
				2030	2040	2050		
KAS								
Gesundheitsgefährdung über die Luft und die Nahrung	Emission von Schwermetallen (Quecksilber, Cadmium, Arsen, Blei) (Teilindikator)	t	Vergleich zwischen den Szenarien	+	+	+	• Da der Kohlestrom stark reduziert wird und schon seit vor 2040 bei 0% liegt, sind die Schwermetallemissionen entsprechend deutlich reduziert.	• Modellergebnisse TIMES für Strommenge pro Jahr aus Kohlekraftwerken. Da von den betrachteten Emissionen diejenigen aus Kohlekraftwerken den weitaus größten Teil ausmachen, wurde die relative Entwicklung der Menge an Strom aus Kohle mit der Höhe der Schwermetallemissionen gleichgesetzt.
	Emission von Schwermetallen (Quecksilber, Cadmium, Arsen, Blei) (Teilindikator)	t	Vergleich zwischen den Szenarien	+	+	+	• Da der Kohlestrom stark reduziert wird und schon seit vor 2040 bei 0% liegt, sind die Schwermetallemissionen entsprechend deutlich reduziert.	• Modellergebnisse REMIND für Strommenge pro Jahr aus Kohlekraftwerken. Da von den betrachteten Emissionen diejenigen aus Kohlekraftwerken den weitaus größten Teil ausmachen, wurde die relative Entwicklung der Menge an Strom aus Kohle mit der Höhe der Schwermetallemissionen gleichgesetzt.
	Zusammenfassung der Modelle	-	Da die Bewertung aus beiden Modellen die gleiche ist, entspricht dem auch die Unterkriteriumsbewertung.	+	+	+	-	-
	DALY (Entgangene Lebenszeit)	k. A.	Vergleich zwischen den Szenarien	/	/	/	• Dieser Indikator repräsentiert am besten das Kriterium.	• Modellierungsprobleme
	Humantoxizität (Emissionen, die die Gesundheit des Menschen schädigen können)	1.000 t 1,4-DB-eq.	Vergleich zwischen den Szenarien	+	/	+	• Die Werte für Humantoxizität gehen um über 40% zurück.	• Modellergebnisse aus Carbon Piot. Keine Werte für 2040 vorhanden.
	Staub als PM10 (Teilindikator)	t	Vergleich zwischen den Szenarien	0	/	+	• Das Niveau der Staubemissionen ist über die zeitliche Entwicklung und die Szenarien relativ konstant.	• Modellergebnisse aus Carbon Piot. Keine Werte für 2040 vorhanden.
	Bewertung Unterkriterium	-	Da die Bewertung der DALYs nicht vorliegt und wird für die Gesamt-bewertung den Ergebnissen der Humantoxizität gefolgt.	+	/	+	-	-
Gesundheitsgefährdung über Lärm	Lärmbelastete Personen	Personen	Vergleich zwischen den Szenarien	0	0	0	• Auch in diesem Szenario steigt die Anzahl der Windenergieanlagen und damit potenziell die Anzahl der lärmbelasteten Personen, allerdings sind sie kaum höher als im Ausgangsszenario.	• Modellergebnisse TIMES für Strommenge pro Jahr aus Windkraftwerken. Da von den betrachteten Geräuschemissionen diejenigen aus Windkraftwerken den weitaus größten Teil ausmachen, wurde die relative Entwicklung der Menge an Strom aus Wind mit der Höhe der Lärmemissionen gleichgesetzt.
	Lärmbelastete Personen	Personen	Vergleich zwischen den Szenarien	+	+	+	• Auch in diesem Szenario steigt die Anzahl der Windenergieanlagen und damit potenziell die Anzahl der lärmbelasteten Personen, allerdings sind in diesem Szenario die Anstiege am geringsten.	• Modellergebnisse REMIND für Strommenge pro Jahr aus Windkraftwerken. Da von den betrachteten Geräuschemissionen diejenigen aus Windkraftwerken den weitaus größten Teil ausmachen, wurde die relative Entwicklung der Menge an Strom aus Wind mit der Höhe der Lärmemissionen gleichgesetzt.
	Bewertung Unterkriterium	-	Da das Unterkriterium nur durch einen Indikator repräsentiert wird und die beiden Modelle unterschiedliche Ergebnisse aufweisen, wird das Ergebnis neutralisiert.	+/-	+/-	+/-	-	-
Gesamtbewertung	Rang	x von 4	Die nahezu durchweg grüne Bewertung der Unterkriterien ergibt eine hellgrüne Gesamtbewertung.	k. A.			• Starke Abnahme von gesundheitsschädlichen Emissionen • Lärm durch Windkraftausbau fällt kaum ins Gewicht	

(Fortsetzung der Tabelle)

Unterkriterium	Indikator	Einheit	Bewertungsmaßstab	Ergebnis			Stärken / Schwächen	Datenquellen & Robustheit
				2030	2040	2050		
KAS+								
Gesundheitsgefährdung über die Luft und die Nahrung	Emission von Schwermetallen (Quecksilber, Cadmium, Arsen, Blei) (Teilindikator)	t	Vergleich zwischen den Szenarien	+	+	+	• Da der Kohlestrom stark reduziert wird und schon seit vor 2040 bei 0% liegt, sind die Schwermetallemissionen entsprechend deutlich reduziert.	• Modellergebnisse TIMES für Strommenge pro Jahr aus Kohlekraftwerken. Da von den betrachteten Emissionen diejenigen aus Kohlekraftwerken den weitaus größten Teil ausmachen, wurde die relative Entwicklung der Menge an Strom aus Kohle mit der Höhe der Schwermetallemissionen gleichgesetzt.
	Emission von Schwermetallen (Quecksilber, Cadmium, Arsen, Blei) (Teilindikator)	t	Vergleich zwischen den Szenarien	+	+	+	• Da der Kohlestrom stark reduziert wird und schon seit vor 2040 bei 0% liegt, sind die Schwermetallemissionen entsprechend deutlich reduziert.	• Modellergebnisse REMIND für Strommenge pro Jahr aus Kohlekraftwerken. Da von den betrachteten Emissionen diejenigen aus Kohlekraftwerken den weitaus größten Teil ausmachen, wurde die relative Entwicklung der Menge an Strom aus Kohle mit der Höhe der Schwermetallemissionen gleichgesetzt.
	Zusammenfassung der Modelle	-	Da die Bewertung aus beiden Modellen die gleiche ist, entspricht dem auch die Unterkriteriumsbewertung.	+	+	+	-	-
	DALY (Entgangene Lebenszeit)	k. A.	Vergleich zwischen den Szenarien	/	/	/	• Dieser Indikator repräsentiert am besten das Kriterium.	• Modellierungsprobleme
	Humantoxizität (Emissionen, die die Gesundheit des Menschen schädigen können)	1.000 t 1,4-DB-eq.	Vergleich zwischen den Szenarien	+	/	0	• Die Werte für Humantoxizität gehen um über 40% zurück, in 2050 beträgt der Abstand zum Ausgangsszenario zu KAS+ nur 2 Prozentpunkte.	• Modellergebnisse aus Carbon Piot. Keine Werte für 2040 vorhanden.
	Staub als PM10 (Teilindikator)	t	Vergleich zwischen den Szenarien	0	/	0	• Das Niveau der Staubemissionen ist über die zeitliche Entwicklung und die Szenarien relativ konstant.	• Modellergebnisse aus Carbon Piot. Keine Werte für 2040 vorhanden.
	Bewertung Unterkriterium	-	Da die Bewertung der DALYs nicht vorliegt und wird für die Gesamt-bewertung den Ergebnissen der Humantoxizität gefolgt.	+	/	0	-	-
Gesundheitsgefährdung über Lärm	Lärmbelastete Personen	Personen	Vergleich zwischen den Szenarien	-	-	-	• In diesem Szenario steigt die Anzahl der Windenergieanlagen sehr deutlich.	• Modellergebnisse TIMES für Strommenge pro Jahr aus Windkraftwerken. Da von den betrachteten Geräuschemissionen diejenigen aus Windkraftwerken den weitaus größten Teil ausmachen, wurde die relative Entwicklung der Menge an Strom aus Wind mit der Höhe der Lärmemissionen gleichgesetzt.
	Lärmbelastete Personen	Personen	Vergleich zwischen den Szenarien	-	-	-	• In diesem Szenario steigt die Anzahl der Windenergieanlagen sehr deutlich.	• Modellergebnisse REMIND für Strommenge pro Jahr aus Windkraftwerken. Da von den betrachteten Geräuschemissionen diejenigen aus Windkraftwerken den weitaus größten Teil ausmachen, wurde die relative Entwicklung der Menge an Strom aus Wind mit der Höhe der Lärmemissionen gleichgesetzt.
	Bewertung Unterkriterium	-	Da die Bewertung aus beiden Modellen die gleiche ist, entspricht dem auch die Unterkriteriumsbewertung.	-	-	-	-	-
Gesamtbewertung	Rang	x von 4	Die Mischung der unterschiedlichen Bewertungen ergibt eine gelbe Wertung, auch wenn die potenzielle Lärmbelastung durch Windanlagen deutlich geringer als die Humantoxizitätsbewertung gewichtet wird.	k. A.			• Starke Abnahme von gesundheitsschädlichen Emissionen • Lärm durch Windkraftausbau fällt stärker ins Gewicht	

(Fortsetzung der Tabelle)

Unterkriterium	Indikator	Einheit	Bewertungsmaßstab	Ergebnis			Stärken / Schwächen	Datenquellen & Robustheit
				2030	2040	2050		
COP+								
Gesundheitsgefährdung über die Luft und die Nahrung	Emission von Schwermetallen (Quecksilber, Cadmium, Arsen, Blei) (Teilindikator)	t	Vergleich zwischen den Szenarien	-	+	+	• Der Kohlestrom erst relativ wenig, aber dann stark reduziert. Die Schwermetallemissionen werden entsprechend deutlich reduziert.	• Modellergebnisse TIMES für Strommenge pro Jahr aus Kohlekraftwerken. Da von den betrachteten Emissionen diejenigen aus Kohlekraftwerken den weitaus größten Teil ausmachen, wurde die relative Entwicklung der Menge an Strom aus Kohle mit der Höhe der Schwermetallemissionen gleichgesetzt.
	Emission von Schwermetallen (Quecksilber, Cadmium, Arsen, Blei) (Teilindikator)	t	Vergleich zwischen den Szenarien	-	-	+	• Da der Kohlestrom stark reduziert wird und schon seit vor 2040 bei 0% liegt, sind die Schwermetallemissionen entsprechend deutlich reduziert.	• Modellergebnisse REMIND für Strommenge pro Jahr aus Kohlekraftwerken. Da von den betrachteten Emissionen diejenigen aus Kohlekraftwerken den weitaus größten Teil ausmachen, wurde die relative Entwicklung der Menge an Strom aus Kohle mit der Höhe der Schwermetallemissionen gleichgesetzt.
	Zusammenfassung der Modelle	-	Da die Bewertung aus beiden Modellen unterschiedliche Ergebnisse aufweisen, wird das Ergebnis teilweise neutralisiert.	-	/	+	-	-
	DALY (Entgangene Lebenszeit)	k. A.	Vergleich zwischen den Szenarien	/	/	/	• Dieser Indikator repräsentiert am besten das Kriterium.	• Modellierungsprobleme
	Humantoxizität (Emissionen, die die Gesundheit des Menschen schädigen können)	1.000 t 1,4-DB-eq.	Vergleich zwischen den Szenarien	-	/	-	• Die Werte für Humantoxizität liegen rd. 20 Prozentpunkte höher als die KAS-Szenarienwerte.	• Modellergebnisse aus Carbon Piot. Keine Werte für 2040 vorhanden.
	Staub als PM10 (Teilindikator)	t	Vergleich zwischen den Szenarien	0	/	0	• Das Niveau der Staubemissionen ist über die zeitliche Entwicklung und die Szenarien relativ konstant.	• Modellergebnisse aus Carbon Piot. Keine Werte für 2040 vorhanden.
	Bewertung Unterkriterium	-	Da die Bewertung der DALYs nicht vorliegt und wird für die Gesamt-bewertung den Ergebnissen der Humantoxizität gefolgt.	-	/	-	-	-
Gesundheitsgefährdung über Lärm	Lärmbelastete Personen	Personen	Vergleich zwischen den Szenarien	-	-	-	• In diesem Szenario steigt die Anzahl der Windenergieanlagen sehr deutlich.	• Modellergebnisse TIMES für Strommenge pro Jahr aus Windkraftwerken. Da von den betrachteten Geräuschemissionen diejenigen aus Windkraftwerken den weitaus größten Teil ausmachen, wurde die relative Entwicklung der Menge an Strom aus Wind mit der Höhe der Lärmemissionen gleichgesetzt.
	Lärmbelastete Personen	Personen	Vergleich zwischen den Szenarien	-	-	-	• In diesem Szenario steigt die Anzahl der Windenergieanlagen sehr deutlich.	• Modellergebnisse REMIND für Strommenge pro Jahr aus Windkraftwerken. Da von den betrachteten Geräuschemissionen diejenigen aus Windkraftwerken den weitaus größten Teil ausmachen, wurde die relative Entwicklung der Menge an Strom aus Wind mit der Höhe der Lärmemissionen gleichgesetzt.
	Bewertung Unterkriterium	-	Da die Bewertung aus beiden Modellen die gleiche ist, entspricht dem auch die Unterkriteriumsbewertung.	-	-	-	-	-
Gesamtbewertung	Rang	x von 4	Die ausschließlich roten Unterkriterienbewertungen ergeben eine rote Wertung.	k. A.			• Abnahme von gesundheitsschädlichen Emissionen etwas später als in KAS+ • Lärm durch Windkraftausbau fällt stärker ins Gewicht	

6.6 Förderung des sozialen Zusammenhalts

Jürgen Kopfmüller (KIT-ITAS)

Definition des Kriteriums und seiner Unterkriterien

Sozialer Zusammenhalt wird hier aus drei Perspektiven betrachtet, die unterschiedliche, aber miteinander in Beziehung stehende gesellschaftliche Akteursebenen betreffen und die drei Unterkriterien definieren. Für die individuelle/Haushaltsebene werden die beiden Indikatoren „Strompreis für private Haushalte“ und „Anteil der Energiekosten in Haushalten mit geringem Einkommen an deren verfügbarem Einkommen“ herangezogen und gemeinsam betrachtet. Hiermit wird ein seit Jahren zentrales Thema der sozialverträglichen Ausgestaltung der Energiewende bzw. ihrer sozialen Folgewirkungen – und damit ihrer gesellschaftlichen Akzeptanz – in den Blick genommen. Die zivilgesellschaftliche Ebene (Indikator „Anzahl der Energiegenossenschaften im Bereich EE“), bei der es um die Bereitschaft der Bevölkerung geht, durch gemeinschaftliche Aktivitäten zur Erreichung der Energiewendeziele beizutragen, kann aufgrund mangelnder Daten aktuell nicht betrachtet werden. Schließlich wird für die gesamtgesellschaftliche Ebene der Indikator „Auswirkungen auf öffentliche Haushalte“ herangezogen. Er adressiert die Möglichkeiten des Staates, die Daseinsvorsorge für die Mitglieder der Gesellschaft zu gewährleisten und damit eine Voraussetzung für die Förderung sozialen Zusammenhalts zu schaffen.

Datenbasis für die Bewertung

Indikator „Strompreis für private Haushalte“: verwendet wurden Ergebnisse der Modelle LIMES, E2M2 und TIMES für den Börsenstrompreis; ergänzend wurden Annahmen zu den anderen Preis-Elementen (Steuern, Umlagen, Netzentgelte, ...) getroffen, die in den vergangenen Jahren nominal um 5 % pro Jahr und real um 4,5 % gestiegen sind: für 2016-2030 wurden, aufgrund unterschiedlicher Entwicklungen der einzelnen Elemente, für alle Szenarien 2 % Anstieg pro Jahr angenommen, für 2031-2040 1,5 % pro Jahr und für 2041-2050 1 % pro Jahr.

Indikator „Anteil der Energiekosten in ärmeren Haushalten“: er wurde genutzt, um den dort vielfach als kritisch angesehenen Wert von 10 % als Orientierung für eine gemeinsame Bewertung beider Indikatoren zu verwenden. Zusätzlich werden die Mehrkosten im Energiesystem insgesamt (kumuliert und pro Jahr) in den Blick genommen, um einen ergänzenden Hinweis zu den erwartbaren Mehrbelastungen für Haushalte (z. B. durch steigende Konsumgüterpreise) zu erhalten.

Für das Unter-Kriterium der gesamtgesellschaftlichen Ebene mit dem Indikator zu den öffentlichen Haushalten konnte aufgrund nicht vorliegender Modell-Daten keine systematische Bewertung durchgeführt werden, es wurden jedoch, soweit möglich, grobe plausibilitätsbasierte Abschätzungen auf Basis der Szenarienbeschreibungen vorgenommen.

Als Bewertungsskala wurde für die Unterkriterien die Dreier-Skala der Ampel (rot-grün-gelb) verwendet, für die Gesamtbewertung eine Skala mit zusätzlich zwei Zwischenfarbstufen.

Vorschlag der Gesamtbewertung

Basierend auf Literaturstudien wurde für das Unter-Kriterium individuelle/Haushaltsebene beim Indikator zum Anteil der Energiekosten in ärmeren Haushalten zunächst eine gelbe Ampel bezogen auf die heutige, bereits problematische Situation vergeben, da die 10 %-Marke teilweise überschritten wird. Gemeinsam mit den in den Modellen für die Szenarien ermittelten Steigerungen des Börsenstrompreises, den Annahmen zur Steigerung der restlichen Preis-Elemente (insgesamt 0,5-2 ct/kWh), modellbasierten Abschätzungen zur durchschnittlichen Mehrbelastung der Haushalts-Budgets aufgrund steigender Energiesystemkosten sowie der Annahme, dass keine flankierenden sozialen Maßnahmen getroffen werden, wurde eine durchgehend rote Ampelbewertung für alle Szenarien ab 2020 vorgenommen, da die ärmeren Haushalte in einem Ausmaß negativ betroffen würden, das den allgemein als noch vertretbar angesehenen Rahmen noch weiter als bereits bisher übersteigt.

Aufgrund der beim Unterkriterium der gesamtgesellschaftlichen Ebene deutlich weniger belastbaren und nicht systematisch vorliegenden Ergebnisse wird dieses in der Bewertung wesentlich weniger stark gewichtet als das erste Unter-Kriterium. Einzig im Fall des COP-plus-Szenarios wird aufgrund der

dort abschätzbaren substanziellen Steigerung der Staatseinnahmen eine Veränderung der auf dem ersten Unter-Kriterium beruhenden Bewertung vorgenommen (von rot auf rot/gelb=orange), wodurch dieses zum bestbewerteten Szenario wird.

Einschätzung zur Robustheit der Bewertungsergebnisse

Die Bewertung beruht auf Ergebnissen der Modelle LIMES, E2M2, TIMES und REMIND, getroffenen Annahmen (literatur-basiert, aus Szenarien- und PP-Beschreibungen) und Schätzungen basierend auf Szenarienbeschreibungen. Annahmen und Schätzungen sind stets normativ und hinterfragbar. So kann bspw. die Annahme keiner weiteren sozialpolitischen Maßnahmen als etwas unrealistisch kritisiert werden, damit können jedoch „reine“ Effekte von Maßnahmen aufgezeigt und somit bei den sich einstellenden Ergebnissen die Dringlichkeit der Einführung flankierender Maßnahmen besser verdeutlicht werden. Die Modell-Ergebnisse unterscheiden sich beim Indikator Strompreis graduell, in der Tendenz sind sie ähnlich; bei den gesamten Energiesystem-Mehrkosten liegen die Ergebnisse zwischen TIMES und REMIND deutlicher auseinander, was jedoch nichts am Kern der daraus ableitbaren Aussage hinsichtlich zusätzlicher Belastungsrisiken für insbesondere ärmere Haushalte und nichts an den Gesamtbewertungen ändert. Unsicherheiten bestehen hinsichtlich der Validität der getroffenen Annahmen. Vor diesem Hintergrund und angesichts für einige Indikatoren nicht verfügbarer Daten sind die Ergebnisse als vorläufig und unvollständig zu charakterisieren.

Ausblick

Für einige der hier nicht direkt bzw. nicht anhand modell-basierter Ergebnisse adressierten Indikatoren (Anteil der Energiekosten ärmerer Haushalte an deren verfügbarem Einkommen, öffentliche Haushalte, Gini-Koeffizient) sind Arbeiten an Modellen „in Entwicklung“, die ggf. in kommenden Projekten verfügbar sein werden; NEWAGE-Ergebnisse zu einigen Vergleichs-Szenarien können im Rahmen des Projektes nicht, möglicherweise aber für kommende Arbeiten geliefert werden. Angesichts der vorliegenden Daten und Bewertungen sollte der Fokus in allen Szenarien auf eine angemessene Gestaltung und Umsetzung von gezielten flankierenden Maßnahmen gelegt werden, mit denen die negativen Effekte einer mehr oder weniger tiefgreifenden Klimaschutzpolitik im Strom- und auch im gesamten Energiesystem, insbesondere für ärmere Haushalte, abgemildert werden können. Solche Maßnahmen umfassen auf der individuellen Ebene vor allem zwei Typen: zum einen sozialpolitische (z. B. Transferleistungserhöhungen, eine an sozialen Kriterien orientierte Stromtarifreform usw.), zum anderen solche, die auf einen effizienteren Energieverbrauch abzielen und somit zu Ausgabensenkungen in Haushalten beitragen können (z. B. Ausgabe stromsparender Geräte an ärmere Haushalte, intensivierte und verbesserte Energieberatungsangebote oder ähnliches). Maßnahmen beider Ansätze müssen in geeigneter Weise ausgestaltet und im Zeitverlauf so kombiniert werden, dass Klimaschutzbemühungen nicht konterkariert werden. Auf der gesamtwirtschaftlichen Ebene wären z. B. Strukturhilfen für besonders betroffene Regionen und dort besonders bedürftige Personengruppen in Erwägung zu ziehen, um bspw. negative Beschäftigungseffekte, insbesondere mit Blick auf die Qualität von Arbeitsplätzen, zu mindern, was zu entsprechenden Mehrausgaben bei den jeweils verantwortlichen gebietskörperschaftlichen Ebenen führen würde.

Um eine möglichst sozial gerechte Energiewendepolitik und -finanzierung realisieren zu können, wäre etwa an eine bundesweit einheitliche Regelung der Netzentgelte zu denken, bei der stärker zwischen unbedingter (d. h. uneingeschränkter) und bedingter Netznutzung unterschieden wird.

Für einige der hier relevanten Indikatoren, z. B. zu Arbeitsplätzen oder Lebenszufriedenheit, sind die Effekte eines Kohleausstiegs regional sehr unterschiedlich und insbesondere in den drei Kohle-Regionen Rheinland, Lausitz und Mitteldeutschland relevant. Dies gilt auch für Fragen zur Akzeptanz bestimmter Maßnahmenbündel-Elemente wie etwa den verstärkten EE-Ausbau, der in manchen Regionen mit Blick auf die Anzahl bereits vorhandener Anlagen an Belastungsgrenzen stoßen und zu Konflikten zwischen Befürwortern und Gegnern führen könnte. Wie vermutlich in allen Kriterien wären hier regional differenzierte Informationen sehr hilfreich, die jedoch mit den hier verwendeten Modellen nicht bereitgestellt werden konnten. Jenseits der Frage, ob bzw. wann solche Informationen aus den Modellergebnissen ableitbar sein werden, könnte hier den Reallaboren/-experimenten eine wichtige Funktion als Informationsquelle zukommen, die in Folgeprojekten systematisch genutzt werden sollten. Hier bestehen zumindest gute Voraussetzungen, zu in Statistiken bislang nicht adressierten Aspekten/Indikatoren Informationen, z. B. über Befragungen, zu generieren.

Tabelle 12: Bewertung des Kriteriums „Förderung des sozialen Zusammenhalts“

Unterkriterium	Indikator	Einheit	Bewertungsmaßstab	Ergebnis			Stärken / Schwächen	Datenquellen & Robustheit
				2030	2040	2050		
Ausgangsszenario								
Individuelle/ Haushaltsebene	Strompreis für private Haushalte	€	Vergleich zur heutigen Situation; gelbe Bewertung aufgrund des geringeren Anstiegs bis 2050 verglichen mit den Jahren 2006-2015 (grün wäre bei noch deutlich geringerem Anstieg oder Rückgang, rot bei deutlich stärkerem Anstieg)	0	0	0	• Anstieg der modellierten Teile des Strompreises um 50-90 % verglichen mit heute, je nach Modell und Jahr • Bei Berücksichtigung der getroffenen Annahmen zu den nicht-modellierten Preis-Elementen steigt der Endverbraucherpreis um 40-60 %	• Modellergebnisse aus LIMES, E2M2, TIMES für Börsenstrompreis und einige weitere Preiselemente • Annahmen zu übrigen Preiselementen basierend auf Literatur, die Unsicherheiten aufweisen • Abweichung zwischen den Modellen 30-40 % bei den modellierten Strompreiselementen, 5-10 % beim Gesamtpreis
	Anteil der Energiekosten in Haushalten mit geringem Einkommen an deren verfügbarem Einkommen	%	Vergleich zur heutigen bereits problematischen Situation, d. h. Absolut-Bewertung gemessen am Zielwert 10%	-	-	-	• Ceteris paribus, d. h. ohne kompensierende Maßnahmen, weitere Verschlechterung zur heutigen (bereits problematischen) Situation	• Literatur zu den Energieausgaben der ärmeren Haushalte • Modellergebnisse zum Strompreis (s.o.) • Modellergebnisse TIMES
	Bewertung Unterkriterium	-	stärkere Gewichtung des zweiten Indikators aufgrund seiner direkteren Orientierung an sozialer Problemlage	-	-	-	-	-
Zivilgesellschaftliche Ebene	Anzahl Energiegenossenschaften im Bereich Erneuerbarer Energien	n	k. A.	/	/	/	-	-
Gesamtgesellschaftliche Ebene	Auswirkungen auf öffentliche Haushalte	€	Vergleich zur heutigen Situation und zwischen den Szenarien	0	0	0	• Geschätzt kein substanzieller Effekt auf die öffentlichen Finanzen	• Abschätzungen basierend auf Szenariobeschreibung
Gesamtbewertung	Rang	x von 4	Höher-Gewichtung des ersten Unterkriteriums gegenüber dem zweiten aufgrund besserer Datenlage	2			• Weitere Verschlechterung der bereits heute kritischen Situation, insb. für Haushalte mit geringem Einkommen • Mittelhohe Belastung für öffentliche Haushalte	
KAS								
Individuelle/ Haushaltsebene	Strompreis für private Haushalte	€	Vergleich zur heutigen Situation; gelbe Bewertung aufgrund des weiterhin geringeren Anstiegs bis 2050 verglichen mit 2006-2015	0	0	0	• Weiterer Anstieg der modellierten Preiselemente um 5-10 % und des Gesamtpreises um 2-4 %	• Modellergebnisse aus LIMES, E2M2, TIMES für Börsenstrompreis und einige weitere Preiselemente • Annahmen zu übrigen Preiselementen basierend auf Literatur, die Unsicherheiten aufweisen • Abweichung zwischen den Modellen 20-30 % bei den modellierten Strompreiselementen, 3-5 % beim Gesamtpreis
	Anteil der Energiekosten in Haushalten mit geringem Einkommen an deren verfügbarem Einkommen	%	Vergleich zur heutigen bereits problematischen Situation, d. h. Absolut-Bewertung gemessen am Zielwert 10%	-	-	-	• Entsprechende zusätzliche Verschlechterung verglichen zur heutigen, bereits kritischen Situation	• Literatur zu den Energiekosten der ärmeren Haushalte • Modellergebnisse TIMES
	Bewertung Unterkriterium	-	stärkere Gewichtung des zweiten Indikators aufgrund seiner direkteren Orientierung an der sozialen Problemlage	-	-	-	-	-
Zivilgesellschaftliche Ebene	Anzahl Energiegenossenschaften im Bereich Erneuerbarer Energien	n	k. A.	/	/	/	-	-
Gesamtgesellschaftliche Ebene	Auswirkungen auf öffentliche Haushalte	€	Vergleich zur heutigen Situation und zwischen den Szenarien	-	-	-	• Mehrausgaben aufgrund notwendiger Kompensationsleistungen an Kraftwerksbetreiber und für betroffene Regionen zur Förderung eines erforderlichen Strukturwandels	• Abschätzungen basierend auf Szenariobeschreibung
Gesamtbewertung	Rang	x von 4	Höher-Gewichtung des ersten Unterkriteriums gegenüber dem zweiten aufgrund besserer Datenlage	3			• Weitere Verschlechterung der kritischen Situation, insb. für Haushalte mit geringem Einkommen • Stärkere Belastung für öffentliche Haushalte (AGS)	

(Fortsetzung der Tabelle)

Unterkriterium	Indikator	Einheit	Bewertungsmaßstab	Ergebnis			Stärken / Schwächen	Datenquellen & Robustheit
				2030	2040	2050		
KAS+								
Individuelle/ Haushaltsebene	Strompreis für private Haushalte	€	Vergleich zur heutigen Situation; gelbe Bewertung aufgrund des nach wie vor geringeren Anstiegs bis 2050 verglichen mit 2006-2015	0	0	0	• Nochmaliger Anstieg des Endverbraucher-Preises um rund 5 %	• Modellergebnisse aus LIMES, E2M2, TIMES für Börsenstrompreis und einige weitere Preiselemente • Annahmen zu übrigen Preiselementen basierend auf Literatur, die Unsicherheiten aufweisen • Abweichung zwischen den Modellen 20-50 % bei den modellierten Strompreiselementen, 2-10 % beim Gesamtpreis
	Anteil der Energiekosten in Haushalten mit geringem Einkommen an deren verfügbarem Einkommen	%	Vergleich zur heutigen bereits problematischen Situation, d. h. Absolut-Bewertung gemessen am Zielwert 10%	-	-	-	• Entsprechende zusätzliche Verschlechterung zur heutigen, bereits kritischen Situation	• Literatur zu den Energiekosten der ärmeren Haushalte • Modellergebnisse TIMES
	Bewertung Unterkriterium	-	stärkere Gewichtung des zweiten Indikators aufgrund seiner direkteren Orientierung an der sozialen Problemlage	-	-	-	-	-
Zivilgesellschaftliche Ebene	Anzahl Energiegenossenschaften im Bereich Erneuerbarer Energien	n	k. A.	/	/	/	-	-
Gesamtgesellschaftliche Ebene	Auswirkungen auf öffentliche Haushalte	€	Vergleich zur heutigen Situation und zwischen den Szenarien	-	-	-	• Zusätzlich zu den genannten Kompensationsleistungen sind öffentliche Mehrausgaben für die EE-Förderung sowie Mindereinnahmen durch die Zertifikatsstilllegung (im Umfang abhängig vom jeweils aktuellen Zertifikatpreis) zu erwarten	• Abschätzungen basierend auf Szenariobeschreibung
Gesamtbewertung	Rang	x von 4	Höher-Gewichtung des ersten Unterkriteriums gegenüber dem zweiten aufgrund besserer Daten	3			• Weitere Verschlechterung der kritischen Situation, insb. für Haushalte mit geringem Einkommen • Stärkste Belastung für öffentliche Haushalte (AS	
COP+								
Individuelle/ Haushaltsebene	Strompreis für private Haushalte	€	Vergleich zur heutigen Situation; gelbe Bewertung aufgrund des immer noch geringeren Anstiegs bis 2015 verglichen mit 2006-2015	0	0	0	• Stärkste Preissteigerung aller Szenarien	• Modellergebnisse aus LIMES, E2M2, TIMES für Börsenstrompreis und einige weitere Preiselemente • Annahmen zu übrigen Preiselementen basierend auf Literatur, die Unsicherheiten aufweisen • Abweichung zwischen den Modellen 10-30 % bei den modellierten Strompreiselementen, 2-10 % beim Gesamtpreis
	Anteil der Energiekosten in Haushalten mit geringem Einkommen an deren verfügbarem Einkommen	%	Vergleich zur heutigen bereits problematischen Situation, d. h. Absolut-Bewertung gemessen am Zielwert 10%	-	-	-	• Stärkste Verschlechterung zur heutigen Situation von allen Szenarien	• Literatur zu den Energiekosten der ärmeren Haushalte plus Modellergebnisse TIMES
	Bewertung Unterkriterium	-	stärkere Gewichtung des zweiten Indikators aufgrund seiner direkteren Orientierung an der sozialen Problemlage	-	-	-	-	-
Zivilgesellschaftliche Ebene	Anzahl Energiegenossenschaften im Bereich Erneuerbarer Energien	n	k. A.	/	/	/	-	-
Gesamtgesellschaftliche Ebene	Auswirkungen auf öffentliche Haushalte	€	Vergleich zur heutigen Situation und zwischen den Szenarien	+	+	+	• Steigende Staatseinnahmen durch CO_2-Preis (bis 2050 brutto 12-14 Mrd. Euro, netto abhängig von EE-Ausgaben und Zertifikatspreis)	• Abschätzungen basierend auf Szenariobeschreibung
Gesamtbewertung	Rang	x von 4	Höher-Gewichtung des ersten Unterkriteriums gegenüber dem zweiten (daher orange statt gelb)	1			• Stärkste Verschlechterung der kritischen Situation, insb. für Haushalte mit geringem Einkommen • Geringere Belastung für öffentliche Haushalte (AS) durch Einnahmen für den Staat	

6.7 Wirtschaftliche Planungssicherheit und Beitrag zur gesellschaftlichen Wohlfahrt

Jürgen Kopfmüller (KIT-ITAS)

Definition des Kriteriums und seiner Unterkriterien

Die in diesem Kriterium betrachteten wirtschaftlichen Wohlfahrtsaspekte der Bewertung von Maßnahmen zur Umsetzung eines Kohleausstiegs werden an zwei Unterkriterien festgemacht: an der Frage der Planungssicherheit für Wirtschaftsakteure sowie an ökonomischen Elementen gesellschaftlicher Wohlfahrt wie Wirtschaftsleistung, Wettbewerbsfähigkeit oder Beschäftigung. Planungssicherheit als wichtiger Faktor für Investitionsentscheidungen wirtschaftlicher Akteure wird am Grad der Bestimmtheit der politisch-institutionellen Rahmenbedingungen für die (Energie)Wirtschaft oder auch für von Maßnahmen betroffene Regionen (soweit bekannt) gemessen. Die ökonomischen Aspekte gesellschaftlicher Wohlfahrt werden zunächst anhand der gesamtwirtschaftlichen Wertschöpfung, der netto neu geschaffenen Arbeitsplätze und der Entwicklung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands betrachtet (Letztere gemessen über die RCA- bzw. RWTS-Werte, die sich auf Exporte bzw. Welthandelsanteile beziehen, sowie die Energie-Stückkosten, definiert als Verhältnis zwischen Letztverbraucherausgaben für Strom und BIP). Angesichts der Bedeutung, die in den Debatten um die Energiewende möglichen negativen ökonomischen Effekten beigemessen wird, werden auch die aufgrund von Energiewendemaßnahmen vermeidbaren Schadenskosten, insbesondere solche infolge des Klimawandels, angeführt, um sie – als positive Effekte - den durch die Maßnahmen induzierten Mehrkosten gegenüberzustellen und somit einen ganzheitlicheren Eindruck von ihren Kosten und Nutzen vermitteln zu können.

Datenbasis für die Bewertung

Informationen zum Indikator zu den politisch-institutionellen Rahmenbedingungen wurden ausschließlich aus den Beschreibungen der Szenarien bzw. der Maßnahmenbündel gewonnen. Diese beziehen sich primär auf die energiewirtschaftlichen Akteure, kaum auf die von den Maßnahmen betroffenen Regionen. Für die Indikatoren zu Beschäftigung und Wettbewerbsfähigkeit werden Ergebnisse des Modells NEWAGE verwendet, für den Wertschöpfungs-Indikator Modellergebnisse aus NEWAGE und REMIND. Bei den vermiedenen Klimaschäden werden für die ersten beiden Szenarien Ergebnisse aus TIMES, NEWAGE und REMIND verwendet, für die beiden andern Szenarien Ergebnisse aus TIMES und REMIND. Beim Modell NEWAGE liegen nur Ergebnisse für das Ausgangs- und das KAS-Szenario vor, für zwei Vergleichsszenarien konnten diese während der Projektlaufzeit nicht bereitgestellt werden, was für die Indikatoren zu Beschäftigung und Wettbewerbsfähigkeit eine entsprechende Einschränkung der Datenbasis bedeutet, da hier nur NEWAGE-Daten verfügbar sind. Bezugspunkt beim Klimakosten-Indikator sind die jeweils ermittelten Emissionsreduktionen, die mit den in der aktuellen Methoden-Konvention des UBA von 2019 festgelegten Euro-Beträgen pro Tonne Klimagas multipliziert werden. Dort werden für 2016 180 $Euro_{2016}$ pro t CO_2-Äquivalent, für 2030 205 Euro und für 2050 240 Euro an Folgekosten veranschlagt. Anders als beim Effektivitäts-Kriterium wird hier für die Bewertung nicht der Grad der Erreichung des Emissions-Reduktionsziels betrachtet, sondern allein der Umfang der insgesamt vermiedenen Kosten zu Grunde gelegt und den entstehenden Kosten gegenübergestellt.

Als Bewertungsskala wurde für die Unterkriterien die Dreier-Skala der Ampel (rot-grün-gelb) verwendet, für die Gesamtbewertung eine Skala mit zusätzlich zwei Zwischenfarbstufen.

Vorschlag der Gesamtbewertung

Das Unterkriterium Planungssicherheit wird geringer gewichtet als die gesellschaftliche Wohlfahrt, bedingt durch die geringere Verfügbarkeit und Qualität von Daten wie auch die geringere Anzahl der zu Grunde gelegten Indikatoren. Innerhalb des Unterkriteriums der gesellschaftlichen Wohlfahrt werden die vier verwendeten Indikatoren gleich gewichtet. Dabei wird meist ein Vergleich zur heutigen Situation angestellt, zusätzlich werden die Szenarien untereinander verglichen. Im Ergebnis schneiden das KAS+ und das COP+ Szenario am besten ab, allerdings auf Basis weniger Indikatoren als die anderen beiden Szenarien. Dabei gestalten sich die gesamtwirtschaftlichen Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte bis 2040 positiv, danach stellt sich eine Verschlechterung ein, allerdings immer noch auf höherem Niveau als aktuell. Die gesamtwirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit wird teils eher positiv (Indikator Energiestückkosten, teils eher negativ beeinflusst (Indikator RCA-/RWTS-Wert). Ein Nettoef-

fekt ist schwer abschätzbar. Die aus umweltökonomischen Überlegungen begründete Berücksichtigung des Indikators der vermiedenen Klimawandelfolgekosten hat einen dergestalt positiven Effekt auf die Bewertung aller Szenarien, dass eine kosten-bezogen ganzheitliche Bewertung eines Kohleausstiegs jeweils positiv ausfällt.

Einschätzung zur Robustheit der Bewertungsergebnisse

Beim Unterkriterium Planungssicherheit beruht die Bewertung mangels anderer Informationsquellen alleine auf den Szenarienbeschreibungen – eine im vorliegenden Fall eher dünne, aber ausbaufähige Grundlage. Beim Unterkriterium zur gesellschaftlichen Wohlfahrt werden Ergebnisse aus den Modellen NEWAGE, TIMES und REMIND verwendet. Angesichts der für einige Indikatoren und zwei Vergleichsszenarien nicht verfügbarer Daten sind die Ergebnisse als vorläufig und unvollständig zu charakterisieren und die Robustheit des Gesamtergebnisses als eher mittelmäßig einzuschätzen, da die Einbeziehung noch fehlender Daten die Teilergebnisse und das Gesamtergebnis verändern könnten.

Ausblick

Die für einige Indikatoren und Szenarien noch fehlenden Daten können, soweit überhaupt möglich, erst in Folgeprojekten ergänzt werden. Bezogen auf problematische Wirkungen der Maßnahmen wären im Bereich Planungssicherheit Verbesserungen durch detailliertere Festlegungen von politischen Rahmenbedingungen erzielbar. Hier könnte weiter differenziert werden zwischen der eher betriebswirtschaftlichen Ebene (wo COP tendenziell besser abschneidet aufgrund der direkter und klarer über die Zeit festgelegten CO_2-Preise, verglichen mit den Kraftwerksabschaltungsplänen und den daraus nur mittelbar abschätzbaren Kosten in KAS) und einer eher planerischen bzw. gesellschaftlichen Ebene (welche Folgen entstehen wann für den Staat oder Stromanbieter durch Kraftwerksabschaltungen, etwa bzgl. Folgen von Arbeitslosigkeit oder anderweitig bereitzustellende Kraftwerksleistung (hier schneidet KAS besser ab aufgrund der direkter abschätzbaren Effekte verglichen mit COP). Bei den Themen Wertschöpfung und Beschäftigung sollte, soweit möglich, zwischen direkten und indirekten Effekten unterschieden werden. Einzelne besonders betroffene Unternehmen oder auch Branchen (z. B. Stahl, dem gerade auch für bestimmte erneuerbare Energietechnologien Bedeutung zukommt) können hier in den Mittelpunkt des Interesses rücken und Auslöser für politischen Handlungsdruck sein. In Verbindung damit wären auch mit Blick auf die internationale Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands zusätzliche proaktive industriepolitische Maßnahmen in Betracht zu ziehen, falls eine existenzielle Gefährdung größerer Unternehmen oder von Branchen droht. Dies kann in Form von Unterstützung bei der Umstellung von Industriestandorten – innerhalb des Energiesektors (zu EE, Speichertechnologien oder Wasserstoff) oder auch in Richtung anderer Branchen - geschehen oder auch durch das Bereitstellen von erfahrungsbasiertem Wissen zu vergleichbaren Transformationsprozessen. Des Weiteren dürften sich auch in diesem Kriterium die Effekte der betrachteten Maßnahmen regional unterschiedlich darstellen und insbesondere in den drei Kohle-Regionen Rheinland, Lausitz und Mitteldeutschland relevant sein. Auch hier könnte den Reallaboren/-experimenten in möglichen Folgeprojekten eine wichtige Rolle zukommen, um zu in Statistiken bislang nicht adressierten regionalen Ausprägungen von Indikatoren, etwa Beschäftigungseffekten oder Akzeptanzgraden zur Energiewende im Allgemeinen bzw. bestimmten Maßnahmen, Informationen zu generieren.

Tabelle 13: Bewertung des Kriteriums „Wirtschaftliche Planungssicherheit und Beitrag zur gesellschaftlichen Wohlfahrt“

Unterkriterium	Indikator	Einheit	Bewertungsmaßstab	Ergebnis			Stärken / Schwächen	Datenquellen & Robustheit
				2030	2040	2050		
Ausgangsszenario								
Wirtschaftliche Planungssicherheit	Grad der Bestimmtheit der politisch-institutionellen Rahmenbedingungen	-	Vergleich zur Situation ohne Maßnahmen und zwischen den Szenarien	0	0	0	• Schwäche: geringste Konkretisierung von Rahmenbedingungen von allen Szenarien • Stärke: geringere Stringenz in den politischen Vorgaben gibt den Akteuren mehr Zeit für Anpassungsmaßnahmen	• Szenarienbeschreibungen
Beitrag zur gesellschaftlichen Wohlfahrt	Gesamtwirtschaftliche Wertschöpfung (BIP)	€	Vergleich zur derzeitigen Situation und zwischen den Szenarien	+	+	0	• NEWAGE: Anstieg bis 2040 um 25 %, danach Rückgang bis 2050 um 4 % • REMIND (technologisch optimistischer): Anstieg bis 2050 um 45 % → der Bewertung zu Grunde gelegt wurden die REMIND-Ergebnisse • Bei Verwendung der NEWAGE-Ergebnisse würde in 2050 die Ampel von grün auf rot springen, was jedoch an der Unterkriteriums- und Kriteriumsbewertung nichts ändern würde	• Modellergebnisse NEWAGE, REMIND • Unterschiede zwischen den Modellen erst ab 2040 (ca. 25 %)
	Anzahl Beschäftigte	n	Vergleich zur derzeitigen Situation und zwischen den Szenarien	+	+	0	• Zuwachs bis 2030 um 2,7 Mio., bis 2040 konstant, danach Rückgang bis 2050 um 1,7 Mio.	• Modellergebnisse NEWAGE
	Wettbewerbsfähigkeit: Energie-Stückkosten national	%	Vergleich zur derzeitigen Situation und zwischen den Szenarien	0	+	+	• Deutlicher Rückgang der Wettbewerbsfähigkeit bis 2020, dann kontinuierlicher Anstieg (bis 2040 um 25 % gegenüber heute, bis 2050 um 30 %)	• Modellergebnisse NEWAGE
	Wettbewerbsfähigkeit: • RCA-Wert (Revealed Comparative Advantage) • RWTS-Wert (Relative World Trade Share)	n	Vergleich zur derzeitigen Situation und zwischen den Szenarien	0	-	-	• Sinkende Wettbewerbsfähigkeit (um ca. 30 % bis 2050), dabei stärkster Rückgang zwischen 2040 und 2050; Ergebnis stark dominiert durch die Effekte in den Branchen Eisen/Stahl und nicht-metallische Mineralien.	• Modellergebnisse NEWAGE
	Vermiedene Kosten für Klimaschäden	€	Vergleich zur derzeitigen Situation und zwischen den Szenarien	0	0	0	• Geringster Wert aller Szenarien entsprechend der Emissionsreduktionen (36 Mrd. Euro bis 2030 = 2,4 Mrd. pro Jahr; weitere 80 Mrd. Euro bis 2050 = 4 Mrd. pro Jahr)	• Modellergebnisse TIMES, NEWAGE, REMIND
	Bewertung Unterkriterium	-	Gleichgewichtung der Indikatoren	0	+	0	-	-
Gesamtbewertung	-	-	Differenzierung nach Jahrzehnt				• Geringe Planungssicherheit aufgrund offener Rahmenbedingungen • Kurzfristig höhere Wertschöpfung, aber langfristig sinkende Wettbewerbsfähigkeit und erhöhte Klimafolgekosten	
	Rang	x von 4	Höher-Gewichtung des zweiten Unterkriteriums aufgrund breiterer Datenlage	3				

(Fortsetzung der Tabelle)

Unterkriterium	Indikator	Einheit	Bewertungsmaßstab	Ergebnis			Stärken / Schwächen	Datenquellen & Robustheit
				2030	2040	2050		
KAS								
Wirtschaftliche Planungssicherheit	Grad der Bestimmtheit der politisch-institutionellen Rahmenbedingungen	-	Vergleich zur Situation ohne Maßnahmen und zwischen den Szenarien	+	+	+	• In Abhängigkeit von der konkreten Roadmap für die Abschaltung von Kraftwerken klarere Rahmenbedingungen als im Ausgangsszenario (etwa bzgl. der zu erwartenden Arbeitsplatzverluste und erforderlicher kompensatorischer Maßnahmen)	• Szenarienbeschreibungen
Beitrag zur gesellschaftlichen Wohlfahrt	Gesamtwirtschaftliche Wertschöpfung (BIP)	€	Vergleich zur derzeitigen Situation und zwischen den Szenarien	+	+	0	• NEWAGE: Anstieg bis 2040 um 25 %, danach Rückgang bis 2050 um 4 % • REMIND (technologisch optimistischer): kontinuierlicher Anstieg bis 2050 um 45 %	• Modellergebnisse NEWAGE, REMIND • Unterschied zwischen den Modellen erst ab 2040 (ca. 25 %)
	Anzahl Beschäftigte	n	Vergleich zur derzeitigen Situation und zwischen den Szenarien	+	+	0	• Zuwachs bis 2030 um 2,7 Mio., bis 2040 konstant, danach Rückgang bis 2050 um 1,7 Mio.	• Modellergebnisse NEWAGE
	Wettbewerbsfähigkeit: Energie-Stückkosten national	%	Vergleich zur derzeitigen Situation und zwischen den Szenarien	0	+	+	• Deutliche Rückgang der Wettbewerbsfähigkeit bis 2020, dann kontinuierlicher Anstieg (bis 2040 um 25 % gegenüber heute, bis 2050 um 30 %)	• Modellergebnisse NEWAGE
	Wettbewerbsfähigkeit: • RCA-Wert (Revealed Comparative Advantage) • RWTS-Wert (Relative World Trade Share)	n	Vergleich zur derzeitigen Situation und zwischen den Szenarien	-	-	-	• Sinkende Wettbewerbsfähigkeit um ca. 30 % bis 2050, dabei stärkster Rückgang zwischen 2040 und 2050 • Ergebnis stark dominiert durch die Branchen Eisen/Stahl und nicht-metallische Mineralien.	• Modellergebnisse NEWAGE
	Vermiedene Kosten für Klimaschäden	€	Vergleich zwischen den Szenarien	+	+	+	• Bessere Werte als im Ausgangsszenario (1,7 Mrd. Euro mehr pro Jahr bis 2030, 1,3 Mrd. Euro mehr pro Jahr bis 2050)	• Modellergebnisse TIMES, NEWAGE, REMIND
	Bewertung Unterkriterium	-	Gleichgewichtung der Indikatoren	+	+	0	-	-
Gesamtbewertung	-	-	Differenzierung nach Jahrzehnt				• Hohe Planungssicherheit durch KA • Kurzfristig höhere Wertschöpfung, aber langfristig sinkende Wettbewerbsfähigkeit bei verringerten Klimafolgekosten (AS)	
	Rang	x von 4	Höher-Gewichtung des zweiten Unterkriteriums (breitere Datenlage)	2				

(Fortsetzung der Tabelle)

Unterkriterium	Indikator	Einheit	Bewertungsmaßstab	Ergebnis			Stärken / Schwächen	Datenquellen & Robustheit
				2030	2040	2050		
KAS+								
Wirtschaftliche Planungssicherheit	Grad der Bestimmtheit der politisch-institutionellen Rahmenbedingungen	-	Vergleich zur Situation ohne Maßnahmen und zwischen den Szenarien	+	+	+	• In Abhängigkeit von der konkreten Ausgestaltung von ZS und EE+ weiter erhöhte Konkretisierung von Rahmenbedingungen	• Szenarienbeschreibungen
Beitrag zur gesellschaftlichen Wohlfahrt	Gesamtwirtschaftliche Wertschöpfung (BIP)	€	Vergleich zur derzeitigen Situation und zwischen den Szenarien	+	+	+	• REMIND: Anstieg bis 2050 um 45 % (am stärksten zwischen 2040 und 2050)	• Modellergebnisse REMIND
	Anzahl Beschäftigte	n	Vergleich zur derzeitigen Situation und zwischen den Szenarien	/	/	/	-	-
	Wettbewerbsfähigkeit: Energie-Stückkosten national	%	Vergleich zur derzeitigen Situation und zwischen den Szenarien	/	/	/	-	-
	Wettbewerbsfähigkeit: • RCA-Wert (Revealed Comparative Advantage) • RWTS-Wert (Relative World Trade Share)	n	Vergleich zur derzeitigen Situation und zwischen den Szenarien	/	/	/	-	-
	Vermiedene Kosten für Klimaschäden	€	Vergleich zwischen den Szenarien	+	+	+	• Noch bessere Werte (ca. 400 Mio. Euro mehr pro Jahr als in KAS, ca. 100 Mio. Euro mehr pro Jahr bis 2050)	• Modellergebnisse TIMES, REMIND
	Bewertung Unterkriterium	-	Gleichgewichtung der Indikatoren	+	+	+	-	-
Gesamtbewertung	Rang	x von 4	Höher-Gewichtung des zweiten Unterkriteriums	1			• Durchgehend positive Werte für Planungssicherheit und gesellschaftliche Wohlfahrt	
COP+								
Wirtschaftliche Planungssicherheit	Grad der Bestimmtheit der politisch-institutionellen Rahmenbedingungen	-	Vergleich zur Situation ohne Maßnahmen und zwischen den Szenarien	+	+	+	• Mit der zusätzlich zu ZS und EE angenommenen kontinuierlichen CO_2-Preiserhöhung über die Zeit ähnlich weitgehende Konkretisierung von Rahmenbedingungen wie in KAS+	• Szenarienbeschreibungen
Beitrag zur gesellschaftlichen Wohlfahrt	Gesamtwirtschaftliche Wertschöpfung (BIP)	€	Vergleich zur derzeitigen Situation und zwischen den Szenarien	+	+	+	• REMIND: Anstieg bis 2050 um 45 % (am stärksten zwischen 20040 und 2050)	• Modellergebnisse REMIND
	Anzahl Beschäftigte	n	Vergleich zur derzeitigen Situation und zwischen den Szenarien	/	/	/	-	-
	Wettbewerbsfähigkeit: Energie-Stückkosten national	%	Vergleich zur derzeitigen Situation und zwischen den Szenarien	/	/	/	-	-
	Wettbewerbsfähigkeit: • RCA-Wert (Revealed Comparative Advantage) • RWTS-Wert (Relative World Trade Share)	n	Vergleich zur derzeitigen Situation und zwischen den Szenarien	/	/	/	-	-
	Vermiedene Kosten für Klimaschäden	€	Vergleich zwischen den Szenarien	+	+	+	• Höchste Werte aller Szenarien entsprechend der Emissionsreduktionen (55 Mrd. Euro bis 2030 = 3,9 Mrd. pro Jahr; weitere 96 Mrd. Euro bis 2050 = 4,8 Mrd. pro Jahr)	• Modellergebnisse TIMES, REMIND
	Bewertung Unterkriterium	-	Gleichgewichtung der Indikatoren	+	+	+	-	-
Gesamtbewertung	Rang	x von 4	Höher-Gewichtung des zweiten Unterkriteriums	1			• Durchgehend positive Werte für Planungssicherheit und gesellschaftliche Wohlfahrt	

6.8 Legalität

Prof. Dr. Sabine Schlacke / Wiss. Mit. Daniel Schnittker
(Institut für Umwelt- und Planungsrecht, WWU Münster)

Definition des Kriteriums und seiner Unterkriterien

Der Begriff der Legalität als Bewertungskriterium beschreibt grundsätzlich die Eigenschaft einer Maßnahme dahingehend, ob sie mit dem *geltenden* Recht vereinbar oder unvereinbar ist (Definition). Insofern bedeutet Legalität eine klassische Rechtmäßigkeitsprüfung, die eine bereits konturierte Maßnahme als Gegenstand besagter Vereinbarkeitsprüfung voraussetzt.

Hierdurch bedingt lässt sich das Kriterium der Legalität in vier Teilbereiche differenzieren. Im Rahmen der Rechtmäßigkeitsprüfung werden der rechtsetzende Akteur und sein Kompetenzbereich (1), die zulässige Handlungsform (2), das rechtlich erforderliche Verfahren (3) sowie in Abhängigkeit dazu die jeweiligen Anforderungen und Grenzen des materiellen Rechts (4) erfasst.

Zu ermitteln ist zunächst, in welchen Kompetenzbereich eine beabsichtigte Maßnahme fallen würde. In Anlehnung an die Normenhierarchie ist insbesondere an die Europäische Union, den Bund und die Länder sowie die Kommunen zu denken. Erfasst werden muss ferner die rechtliche Form, in der eine Maßnahme umgesetzt werden soll oder kann. Hierbei kommen grundsätzlich alle in der Rechtsordnung vorgesehenen Handlungsformen in Betracht.

Im Anschluss sind die Verfahren, die für die Rechtsetzung einzuhalten sind, aufzuzeigen und schließlich die einschlägigen inhaltlichen Anforderungen sowie Grenzen höherrangigen Rechts zu untersuchen. Hierbei wird die materiell-rechtliche Zulässigkeit einer Maßnahme geprüft. Da primär die Bindungen aus höherrangigem Recht relevant sind, hängt das Resultat dieser Prüfung von den vorab gefundenen Ergebnissen ab.

Datenbasis für die Bewertung

Die Anwendung des Kriteriums „Legalität“ im Rahmen des Schwerpunktthemas 1 „Transformation des Stromsystems“ folgt keinen Indikatoren oder Modellen im hier verstandenen Sinn. Soweit möglich, wurden die zu bewertenden Maßnahmen anhand juristischer Literatur und Rechtsprechung einer Legalitätsprüfung unterzogen. Eine sonstige Datenbasis, deren Validität zu berücksichtigen wäre, existiert nicht.

Vorschlag der Gesamtbewertung

Da innerhalb der hier zu bewertenden Szenarien Maßnahmen enthalten sind, die sich einer Legalitätsprüfung aufgrund ihres Abstraktionsniveaus entziehen, findet lediglich eine Bewertung bestimmter einzelner Maßnahmen statt. Eine Bewertung von Szenarien im Sinne einer abschließenden Gesamtbewertung kann jedoch nicht erfolgen. Die Ampelbewertung visualisiert ansatzweise, welcher Grad an Rechtsänderungen zur Umsetzung einer Maßnahme notwendig bzw. welcher rechtliche Widerstand hierfür zu überwinden wäre.

Einschätzung zur Robustheit der Bewertungsergebnisse

Bezüglich der juristischen Fachliteratur werden die hier vertretenen Auffassungen weit überwiegend gestützt. Nur vereinzelte Stimmen sehen die Gefahr der Verfassungswidrigkeit eines schnellen Kohleausstiegs. Eine „Streubreite“ besteht am ehesten hinsichtlich der Erforderlichkeit von Entschädigungsregelungen zugunsten der Kraftwerksbetreiber. Während eine solche teilweise verneint wird, gehen die wohl überwiegenden Stimmen in der Literatur von deren Notwendigkeit aus.

Ausblick

Aus der Reihe der anhand des Kriteriums „Legalität“ bewertbaren Maßnahmen bedarf die Zertifikatsstilllegung weiterer Untersuchungen, da diese Maßnahme erst zu Beginn des Jahres 2019 in deutsches Recht umgesetzt wurde und im Detail noch mit Unsicherheiten hinsichtlich Ihrer praktischen Umsetzung behaftet ist.

1) Maßnahme: KAS (Ordnungsrechtlicher, schneller Kohleausstieg)

Ein „Kohleausstiegsgesetz“, in welchem anlagenspezifische Abschaltzeitpunkte für Kohlekraftwerke festgelegt werden, kann durch den Bund kompetenzgerecht erlassen werden. Im Einzelfall kann jedoch eine Entschädigungsregelung notwendig sein.

Der Kanon der ordnungsrechtlichen Instrumente bietet dem Bundesgesetzgeber zulässige Handlungsoptionen für einen umfassenden Kohleausstieg. Der gesetzliche Ausschluss der Neuzulassung von Kohlekraftwerken begegnet dabei den geringsten Hürden und ist aus national- und unionsrechtlicher Sicht keinen durchgreifenden Bedenken ausgesetzt. Von den geprüften Optionen für den Umgang mit Bestandsanlagen erweist sich ein Gesetz zur Festlegung fester anlagenbezogener Abschaltzeitpunkte als mit Blick auf unions- und verfassungsrechtliche Vorgaben rechtssicherste Variante. Sie bietet zudem einen Gestaltungsspielraum, da sachliche Differenzierungskriterien Berücksichtigung finden können. Gleichwohl muss der Gesetzgeber etwaige im Einzelfall eintretende Härten letztlich durch Entschädigungsregelungen auf ein verhältnismäßiges Maß abmildern, soweit dies nicht durch Übergangsregelungen möglich ist. Wird von einem langsamen Kohleausstieg ausgegangen, vermindert sich zumindest abstrakt der Bedarf an Entschädigungsregelungen bzw. ihr Umfang kann geringer ausfallen. Je kurzfristiger ein ordnungsrechtlicher Kohleausstieg durch Abschaltzeitpunkte erfolgt, desto größer ist der Bedarf an umfassenden Entschädigungsregelungen. Zudem kommt es auf eine verfassungsrechtliche Bewertung des Einzelfalls, insbesondere der einzelnen Anlage (Alter, Amortisation etc.) an. Schließlich ist nicht völlig auszuschließen, dass ab einem bestimmten Punkt ein Verstoß gegen den Grundsatz der Bestandsgarantie des Eigentums angenommen wird. Die Maßnahme ist im Sinne einer Ampelbewertung am ehesten mit einem gelben Farbcode zu versehen, da sie zwar durch den Bund umgesetzt werden kann, aber nach überwiegender Auffassung flankierende Entschädigungsregelungen notwendig macht.

2) Maßnahme: ZS (Zertifikatsstilllegung)

Eine Löschung von Emissionszertifikaten ist bereits nach geltendem Recht durch die Bundesregierung möglich, wenn Stromerzeugungskapazitäten aufgrund nationaler Maßnahmen stillgelegt werden.

Die Möglichkeit der Zertifikatsstilllegung ist mittlerweile unions- und bundesrechtlich umgesetzt. Es besteht gleichwohl kein Automatismus, sondern es ist ein Beschluss der Bundesregierung zur Durchführung der Maßnahme erforderlich. Art. 12 Abs. 4 der Emissionshandelsrichtlinie (EH-RL) sieht nunmehr vor, dass im Fall der Stilllegung von Stromerzeugungskapazitäten in einem Mitgliedstaat aufgrund zusätzlicher nationaler Maßnahmen Zertifikate aus der Gesamtmenge der zu versteigernden Zertifikate gelöscht werden können. Die Menge ist begrenzt auf die Höhe der Durchschnittsmenge der geprüften Emissionen der betreffenden Anlage während eines Zeitraums von fünf Jahren vor ihrer Stilllegung. Deutschland hat diese Änderung der Richtlinie in § 8 Abs. 1 des Treibhausgas-Emissionshandelsgesetzes (TEHG) umgesetzt und stellt damit einerseits klar, dass die Versteigerung der Zertifikate für die vierte Handelsperiode nach den Regeln der EU-Auktionsverordnung stattfindet (§ 8 Abs. 1 S. 1 TEHG). § 8 Abs. 1 S. 2 TEHG sieht andererseits vor, dass die Bundesregierung im Fall der Stilllegung von Stromerzeugungskapazitäten aufgrund zusätzlicher nationaler Maßnahmen festlegen kann, dass Berechtigungen aus der zu versteigernden Menge an Berechtigungen gelöscht werden, soweit dies den Vorgaben des Art. 12 Abs. 4 der EH-RL entspricht. Ausweislich der Gesetzesbegründung ist bei dieser Ermessensentscheidung insbesondere auch der Überschussabbau zu berücksichtigen, der bereits durch die ab dem 1.1.2019 EU-weit in Kraft getretene Marktstabilitätsreserve bewirkt wird. Technisch setzt die Löschung einen Beschluss der Bundesregierung voraus, bei dem die einschlägigen haushaltsrechtlichen Rahmenbedingungen zu berücksichtigen sind. Da die erstmalige Anwendung der Vorschrift noch bevorsteht, bleibt abzuwarten, welche Erwägungen die Bundesregierung in ihre Entscheidung einbeziehen wird. Die Maßnahme als solche ist insoweit mit einem grünen Farbcode zu versehen, da sie grundsätzlich keine Rechtsänderung mehr voraussetzt, sondern mit dem politischen Willen der Bundesregierung steht und fällt. Abzugrenzen ist die (nationale) Maßnahme von der bereits beschlossenen Verschiebung der Versteigerung von 900 Millionen Emissionszertifikaten aus 2014 bis 2016 in 2019 und 2020 (backloading) bzw. deren letztlicher Überführung in die neu installierte Marktstabilitätsreserve (inklusive weiterer, nicht zugeteilter Zertifikate). In der Marktstabilitätsreserve selbst findet zudem ab 2023 eine Zertifikatslöschung dadurch statt, dass ihr Umfang durch die Versteigerungsmenge des Vorjahres begrenzt wird und überschüssige Zertifikate somit gelöscht wer-

den. Im Gegensatz hierzu handelt es sich bei einem auf § 8 Abs. 1 S. 2 TEHG gestützten Vorgehen um eine freiwillige Löschung durch den Mitgliedstaat Deutschland.

3) Maßnahme: CO_2-Mindestpreis

Einen CO_2-Mindestpreis kann der Bund durch eine Reform des Energiesteuerrechts herbeiführen, die sich an der CO_2-Intensität von Energieträgern orientiert.

Die Ein- bzw. Herbeiführung eines CO_2-Mindestpreises erfolgt durch Instrumente, die ein gewünschtes CO_2-Preissignal – also eine Verteuerung – erzeugen können. Im Rahmen des SP 1 werden in diesem Zusammenhang mehrere Ausgestaltungsmöglichkeiten in den Blick genommen. Als Variante einer CO_2-Bepreisung kommt zunächst eine direkte Besteuerung von CO_2-Emissionen in Betracht. Ferner können entsprechend des CO_2-Gehaltes eines Energieträgers (wie z. B. Kohle) die bestehenden Energiesteuern zu einer indirekten CO_2-Steuer oder einer kombinierten CO_2-/Energiesteuer erweitert werden. Zudem werden zwei Ausgestaltungsmöglichkeiten einer nichtsteuerlichen Abgabe untersucht. Die Ergebnisse der Prüfung zeigen, dass eine direkte CO_2-Bepreisung unionsrechtlich verankert werden müsste, damit kein verfassungsrechtliches Hindernis besteht. Ein nationaler Alleingang wäre verfassungsrechtlich zudem nicht ohne Grundgesetzänderung zulässig. Das größte Potenzial bietet im Optionenvergleich eine Energiesteuerrechtsreform hin zu einer, zumindest anteilig, indirekten CO_2-Steuer, die sich an der CO_2-Intensität des jeweiligen Energieträgers orientiert. Sie müsste allerdings die Vorgaben des Unionsrechts, insbesondere der EnergieStRL, berücksichtigen. Nichtsteuerliche Instrumente wie Lenkungs- und Vorteilsabschöpfungsabgaben hängen bzgl. ihrer rechtlichen Zulässigkeit von ihrer konkreten Ausgestaltung ab und sind mit Rechtsunsicherheiten behaftet. Die Einführung eines CO_2-Mindestpreises ist daher jedenfalls mit Blick auf eine Reform des Energiesteuerrechts bei unterstelltem politischem Willen umsetzbar und daher insoweit mit einem grünen Farbcode zu versehen.

Tabelle 14: Bewertung des Kriteriums „Legalität“

Unterkriterium	Indikator	Bewertungs-maßstab	Ergebnis				Stärken / Schwächen	Datenquellen & Robustheit
			KAS**	EE+**	ZS**	COP**		
Ausgangsszenario								
Einzelbewertung*	-	Rechtliche Bewertung Einzelmaßnahme	nicht enthalten	nicht enthalten	nicht enthalten	nicht enthalten	• Ausschließlich geltendes Recht	• Szenario-Beschreibung • Robust, da geltende Rechtslage
Gesamtbewertung	Rang	x von 4	k. A.				• Nur geltendes Recht (rechtssicher)	
KAS								
Einzelbewertung*	-	Rechtliche Bewertung Einzelmaßnahme	0	nicht enthalten	nicht enthalten	nicht enthalten	• Ein „Kohleausstiegsgesetz“, in welchem anlagenspezifische Abschaltzeitpunkte für Kohlekraftwerke festgelegt werden, kann durch den Bund kompetenzgerecht erlassen werden. Im Einzelfall kann jedoch eine Übergangs- und/oder Entschädigungsregelung notwendig sein.	• Szenario-Beschreibung • In der juristischen Fachliteratur werden die hier vertretenen Auffassungen weit überwiegend gestützt. Nur vereinzelte Stimmen sehen die Gefahr der Verfassungswidrigkeit eines schnellen Kohleausstiegs. Eine „Streubreite“ besteht am ehesten hinsichtlich der Erforderlichkeit von Entschädigungsregelungen zugunsten der Kraftwerksbetreiber. Während eine solche teilweise verneint wird, gehen die wohl überwiegenden Stimmen in der Literatur von deren Notwendigkeit aus.
Gesamtbewertung	Rang	x von 4	k. A.				• KAS rechtssicher durch Bundesgesetz • Weniger schonende Übergangsfristen und erhöhter Bedarf an Entschädigungsregelungen gegenüber einem langsamem Ausstieg	
KAS+								
Einzelbewertung*	-	Rechtliche Bewertung Einzelmaßnahme	0	nicht bewertbar	+	nicht enthalten	• Eine Löschung von Emissionszertifikaten ist bereits nach geltendem Recht durch die Bundesregierung möglich, wenn Stromerzeugungs-kapazitäten aufgrund nationaler Maßnahmen stillgelegt werden.	• Szenario-Beschreibung • Robust, da die Möglichkeit der Zertifikatstilllegung der geltenden Rechtslage entspricht, diese unionsrechtlich abgesichert ist und keine Anhaltspunkte für eine Verfassungswidrigkeit erkennbar sind. • Rechtliche Bewertung von EE+ ist auf Basis der Szenario-Beschreibung nicht möglich.
Gesamtbewertung	Rang	x von 4	k. A.				• KAS und ZS relativ rechtssicher • EE+ nicht bewertbar	
COP+								
Einzelbewertung*	-	Rechtliche Bewertung Einzelmaßnahme	nicht enthalten	nicht bewertbar	+	+	• Zur Herbeiführung eines CO_2-Preises kommen steuer- und abgabenrechtliche Optionen in Betracht. Eine Reform des Energiesteuerrechts ist hierbei die rechtssicherste durch den Bund umsetzbare Variante. • Eine Löschung von Emissionszertifikaten ist ebenfalls rechtlich zulässig, allerdings ist wie oben beschrieben eine Stilllegung von Stromerzeugungskapazitäten hierfür Voraussetzung.	• Szenario-Beschreibung • In der juristischen Fachliteratur werden die hier vertretenen Auffassungen weit überwiegend gestützt. • Zu den Voraussetzungen der Zertifikatstilllegung besteht im Kontext eines CO_2-Mindestpreises weiterer Forschungsbedarf. • Rechtliche Bewertung von EE+ ist auf Basis der Szenario-Beschreibung nicht möglich.
Gesamtbewertung	Rang	x von 4	k. A.				• COP und ZS relativ rechtssicher • EE+ nicht bewertbar	

*) Keine Unterkriterien im eigentlichen Sinne (vgl. Definition)
**) Bewertung der Einzelmaßnahme

6.9 Legitimität/Akzeptanz

Rainer Quitzow (IASS Potsdam)

Definition des Kriteriums und seiner Unterkriterien

Zur Bewertung der Legitimität von Energiepolitik-Maßnahmen werden grundsätzlich drei Unterkriterien von Legitimität berücksichtigt: die empirische Legitimität / Akzeptanz des Politikinhaltes (Unterkriterium 1); die Legitimität der verantwortlichen Institutionen (Unterkriterium 2); prozedurale Legitimität / Prozesslegitimität (Unterkriterium 3). Aufgrund des hohen Aggregationsniveaus der Szenarien wurde die Ebene der Politikumsetzung nicht im Detail definiert. Aus diesem Grund ist eine Bewertung der verantwortlichen Institutionen für die Politikumsetzung nicht möglich. Dies hat zur Folge, dass sich die Bewertung auf die prozedurale Legitimität und die empirische Legitimität des Politikinhaltes beschränkt. Die normative Dimension von Legitimität wird wiederum im Rahmen des Kriteriums „ethische Akzeptabilität“ behandelt. Schließlich wurde bei der Bewertung nicht berücksichtigt, dass die Szenarien ggf. noch Defizite aufweisen. Beispielsweise ist davon auszugehen, dass die Legitimität eines Kohleausstieges von flankierenden Maßnahmen zur sozialen Abfederung abhängig wäre, die bisher in den Szenarien nicht vorgesehen sind. Es handelt sich ausschließlich um eine Bewertung der Kernmaßnahmen, bei denen davon ausgegangen wird, dass sie durch weitere flankierende Maßnahmen zu ergänzen wären.

Für die Bewertung der prozeduralen Legitimität wird auf der Annahme aufgebaut, dass Interventionen, die im Bericht der „Kommission für Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“ (Kohlekommission) vorgeschlagen werden, aufgrund der Beteiligung vielfältiger Akteure am Diskussionsprozess im Rahmen der Kommission eine zusätzliche Legitimation haben. Im Rahmen der Bewertung wurde daher ein Abgleich der Szenarien mit den Vorschlägen der Kohlekommission vorgenommen. Darauf basierend wurden alle Szenarien in folgende Kategorien eingeteilt:

- Im Einklang mit den Vorschlägen der Kohlekommission (starke prozedurale Legitimität)
- Nur partiell im Einklang mit den Vorschlägen der Kohlekommission (prozedurales Legitimitätsdefizit)
- Nicht im Einklang mit den Vorschlägen der Kohlekommission (keine prozedurale Legitimität)

Für die Bewertung der empirischen Legitimität wurde darüber hinaus geprüft, zu welchem Grade Vorschläge mit den Narrativen und Positionen wichtiger Stakeholder im Politikfeld im Einklang sind. Zu diesem Zweck werden die Politikvorschläge in Anlehnung an Montpetit (2008) in drei Felder eingeteilt:

- Im Einklang mit grundsätzlichen Narrativen im Politikfeld sowie mit den Positionen der wichtigsten Akteursgruppen (starke empirische Legitimität);
- Im Einklang mit grundsätzlichen Narrativen im Politikfeld trotz Divergenzen mit den Positionen wichtiger Akteursgruppen (empirisches Legitimitätsdefizit);
- Nicht im Einklang mit grundsätzlichen Narrativen im Politikfeld sowie Divergenzen mit den Positionen wichtiger Akteursgruppen (keine empirische Legitimität).

Bei der Bewertung der Legitimität kann anders als bei einigen anderen Kriterien keine Unterscheidung zwischen verschiedenen zeitlichen Perspektiven vorgenommen werden. Es kann nur auf der Grundlage der aktuellen Präferenzen der Bevölkerung bzw. betroffener Stakeholder erfolgen.

Datenbasis für die Bewertung

Die prozedurale Legitimität wird auf der Basis einer systematischen Prüfung der Vorschläge der Kohlekommission und eines anschließenden Abgleichs mit den Interventionen der Szenarien bewertet. Die Einordnung nach Montpetit (empirische Legitimtität) erfolgt auf der Grundlage von repräsentativen Haushaltsbefragungen, insbesondere im Rahmen des Sozialen Nachhaltigkeitsbarometers der Energiewende des IASS Potsdam (Setton, 2019), sowie der Analyse von schriftlich formulierten Stakeholder-Positionen. Hierfür wurden alle veröffentlichten Stellungnahmen zum Kohleausstieg gesammelt und im Anschluss ausgewertet. Dabei wurde sowohl die allgemeine Zustimmung oder Ablehnung zum Kohleausstieg als auch die Zustimmung oder Ablehnung einzelner Maßnahmen oder Gestaltungsoptionen ausgewertet. Im Anschluss an die Auswertung wurde eine Umfrage durchgeführt, bei der die berücksichtigten Stakeholder gebeten wurden, ihre Position in Bezug auf den Kohleausstieg und mögliche Ausgestaltungsoptionen anzugeben. In diesem Zusammenhang konnten die Einschätzungen für eine Reihe von Stakeholdern zusätzlich validiert werden.

Vorschlag der Gesamtbewertung
Bei der Gesamtbewertung werden die Einzelbewertungen zur empirischen und zur prozeduralen Legitimität mit gleicher Gewichtung aggregiert.

Einschätzung zur Robustheit der Bewertungsergebnisse
Die Bewertung der Kernmaßnahmen ohne Zertifikatsstillegung und ohne einen verstärkten Ausbau der erneuerbaren Energien ist als robust anzusehen. Sowohl die Haushaltsbefragung als auch die Auswertung der Stakeholder-Positionen zeigen ein eindeutiges Bild. Die Umfrage zur Validierung der Einordnung der Stakeholder-Positionen bestätigt dies für die teilnehmenden Akteure. Diese umfassen relevante Industrieverbände (BDI, BDEW, DEBRIV, Gesamtverband Steinkohle), wichtige Gewerkschaften bzw. Gewerkschaftsverbände (DGB, verdi, IG Metall) sowie zwei Umweltverbände und den Think Tank Agora Energiewende. Damit ist das volle Spektrum an wichtigen Akteurstypen abgedeckt. Nur die Gewerkschaft IGBCE ist als wichtiger Akteur zu nennen, der nicht an der Umfrage teilgenommen hat. Das Ergebnis basiert allerdings ausschließlich auf einer Analyse auf nationaler Ebene. Regionale Akteure wurden nicht umfassend berücksichtigt.

Ausblick
Die prozedurale Legitimität des Kohleausstiegs ist an die Vorschläge der Kohlekommission geknüpft. Allerdings ist dies nur der Ausgangspunkt für die Entwicklung eines Maßnahmenpaketes für den Kohleausstieg. Insbesondere die Ausgestaltung der flankierenden Maßnahmen für die soziale Abfederung des Kohleausstiegs bzw. zur Förderung des Strukturwandels in den betroffenen Regionen wird die Legitimität der Kohleausstiegspolitik stark beeinflussen. Tendenziell führen höhere Aufwendungen, sofern sie sich innerhalb des von der Kommission vorgeschlagenen Rahmens bewegen, dabei zu einer höheren Legitimität. Dabei ist zu berücksichtigen, dass entsprechende Ausgaben wiederum wichtige Wechselwirkungen mit anderen Bewertungskriterien aufweisen. Insbesondere besteht ein Zielkonflikt zwischen der Finanzierung umfangreicher Strukturwandelmaßnahmen und dem Ziel der Kosteneffizienz. Dies trifft auch auf die Kompensation betroffener Unternehmen zu.

Auch die Stilllegung von Zertifikaten als flankierende Maßnahme stärkt die Legitimität eines Kohleausstiegs. Dies ist unmittelbar mit der Stärkung der Effektivität verknüpft, die durch die Stilllegung von Zertifikaten auf europäischer Ebene erreicht wird. Allerdings bestehen gewisse Unsicherheit bzgl. der Legalität sowie der Kosten dieser Maßnahmen. Aus diesem Grund besteht auch eine mögliche negative Wechselwirkung der Maßnahme mit den Kriterien Kosteneffizienz und Legalität.

Insgesamt genießt der ordnungsrechtliche Kohleausstieg, zumindest für die kurzfristige Reduzierung der Kohlekapazitäten in Deutschland, eine höhere Legitimität als ein CO_2-Preis. Dies leitet sich nicht nur aus den Positionen der Stakeholder, sondern auch aus den Vorschlägen der Kohlekommission ab. Allerdings wäre es denkbar, dass mittelfristig auch eine stärkere Steuerung über einen CO_2-Preis in einer noch zu definierenden Form an Legitimität gewinnen könnte. Insbesondere im Rahmen einer europäischen Vorreiterallianz wäre dies denkbar.

Tabelle 15: Bewertung des Kriteriums „Legitimität/Akzeptanz“

Unterkriterium	Indikator	Bewertungs-maßstab	Ergebnis				Stärken / Schwächen	Datenquellen & Robustheit
			KAS	EE+*	ZS*	COP		
Ausgangsszenario								
Prozedurale Legitimität	Ergebnisse der Kohlekommission	Vergleich des Szenarios mit Kohlekompromiss	nicht enthalten	nicht enthalten	nicht enthalten	nicht enthalten	• Das Szenario widerspricht den Vorschlägen der Kohlekommission.	• Szenario-Beschreibung • Endbericht der Kohlekommission (BMWi 2019)
Empirische Legitimität	Akzeptanz in der Gesellschaft	Einordung nach Montpetit	nicht enthalten	nicht enthalten	nicht enthalten	nicht enthalten	• Das Szenario entspricht nicht dem grundsätzlichen gesellschaftlichen Konsens über die Notwendigkeit eines Kohleausstiegs.	• Szenario-Beschreibung • Haushaltsbefragungen in der Bevölkerung (Setton 2019) • Auswertung von schriftlichen Stakeholder-Positionen mit einem Fokus auf nationalen Akteuren, die teilweise durch eine anschließende Umfrage validiert wurden (eigene Erhebung) • Größere Abweichungen der Bewertung sind nicht anzunehmen. • Lokale Akteure wurden nicht systematisch betrachtet.
Gesamtbewertung	Rang	x von 4	k. A.				• Grundsätzlicher Konsens über die Notwendigkeit eines KA politisch nicht reflektiert	
KAS								
Prozedurale Legitimität	Ergebnisse der Kohlekommission	Vergleich der Maßnahmen mit Kohlekompromiss	+	nicht enthalten	nicht enthalten	nicht enthalten	• Ein ordnungsrechtlicher Kohleausstieg in dem vorgesehenen Zeitrahmen ist mit den Vorschlägen der Kohlekommission vereinbar.	• Wie im Ausgangsszenario.
Empirische Legitimität	Akzeptanz wichtiger Stakeholder	Einordung nach Montpetit	0	nicht enthalten	nicht enthalten	nicht enthalten	• Der Kohleausstieg wird grundsätzlich gesellschaftlich nicht in Frage gestellt. • Einzelne Stakeholder-Gruppen aus Industrie und Gewerkschaften warnen vor den Folgen eines schnellen Kohleausstiegs.	• Wie im Ausgangsszenario.
Gesamtbewertung	Rang	x von 4	k. A.				• Durch Kohlekommission legitimiert • Akzeptanz des KA-Konsenses, aber z. T. Warnungen vor KAS-Folgen	

*) Bewertung der Kernmaßnahme inkl. der jeweiligen flankierenden Maßnahme

(Fortsetzung der Tabelle)

Unterkriterium	Indikator	Bewertungs-maßstab	Ergebnis				Stärken / Schwächen	Datenquellen & Robustheit
			KAS	EE+*	ZS*	COP		
KAS+								
Prozedurale Legitimität	Ergebnisse der Kohlekommission	Vergleich der Maßnahmen mit Kohlekompromiss	+	0	+	nicht enthalten	• Ein ordnungsrechtlicher Kohleausstieg in dem vorgesehenen Zeitrahmen ist mit den Vorschlägen der Kohlekommission vereinbar. • Zertifikatsstillegung wird von der Kohlekommission gefordert. • Der Ausbau der erneuerbaren Energien im Bericht der Kohlekommission orientiert sich an den vorhandenen Zielen der Bundesregierung. Die ambitionierteren Ziele des Szenarios sind durch die Kommission nicht vorgesehen.	• Wie im Ausgangsszenario.
Empirische Legitimität	Akzeptanz wichtiger Stakeholder	Einordung nach Montpetit	0	nicht bewertet	0	nicht enthalten	• Der Kohleausstieg wird grundsätzlich nicht in Frage gestellt. • Der Ausbau der erneuerbaren Energien wird grundsätzlich nicht in Frage gestellt. • Einzelne Stakeholder-Gruppen aus Industrie und Gewerkschaften lehnen einen schnellen Kohleausstieg sowie einen verstärkten Ausbau der erneuerbaren Energien ab. • Einzelne Umweltverbände und der BDEW unterstützen Zertifikatstillegungen explizit.	• Wie im Ausgangsszenario. • Ein verstärkter Ausbau der erneuerbaren Energien kann auf Basis der vorliegenden Analyse nicht abschließend bewertet werden.
Gesamtbewertung	Rang	x von 4	k. A.				• Durch Kohlekommission legitimiert • Akzeptanz des KA-Konsenses, aber z. T. Warnungen vor KAS-Folgen	
COP+								
Prozedurale Legitimität	Ergebnisse der Kohlekommission	Vergleich der Maßnahmen mit Kohlekompromiss	nicht enthalten	nicht bewertet	0	0	• Ein Kohleausstieg in dem vorgesehenen Zeitrahmen ist mit den Vorschlägen der Kohlekommission vereinbar. • Eine CO_2-Bepreisung wird nur im Rahmen von nicht-ETS Sektoren zur Prüfung vorgeschlagen. • Zertifikatsstillegung wird von der Kohlekommission gefordert. • Der Ausbau der erneuerbaren Energien im Bericht der Kohlekommission orientiert sich an den vorhandenen Zielen der Bundesregierung. Ein ambitionierterer Ausbau der erneuerbaren Energien ist nicht vorgesehen.	• Wie im Ausgangsszenario.
Empirische Legitimität	Akzeptanz wichtiger Stakeholder	Einordung nach Montpetit	nicht enthalten	nicht bewertet	0	0	• Der Kohleausstieg wird grundsätzlich nicht in Frage gestellt. • Einzelne Befürworter eines Kohleausstiegs sowie eine Gruppe von Unternehmen unterstützen einen nationalen CO_2-Preis, letztere im Kontext einer europäischen Vorreiterallianz. • Der BDI lehnt einen nationalen CO_2-Preis, zumindest ohne Vorreiterallianz, ab. • Der Ausbau der erneuerbaren Energien wird grundsätzlich nicht in Frage gestellt. • Einzelne Stakeholder-Gruppen aus Industrie und Gewerkschaften lehnen einen schnellen Kohleausstieg sowie einen verstärkten Ausbau der erneuerbaren Energien ab. • Einzelne Umweltverbände und der BDEW unterstützen Zertifikatstillegungen explizit.	• Wie im Ausgangsszenario. • Ein verstärkter Ausbau der erneuerbaren Energien kann auf Basis der vorliegenden Analyse nicht abschließend bewertet werden.
Gesamtbewertung	Rang	x von 4	k. A.				• Marktbasierter KA durch Kohlekommission nicht legitimiert • Akzeptanz des KA-Konsenses, aber z. T. Warnungen vor KAS-Folgen	

*) Bewertung der Kernmaßnahme inkl. der jeweiligen flankierenden Maßnahme

6.10 Ethische Akzeptabilität

Christian Loos u. Michael Quante (WWU Münster)

Definition des Kriteriums und seiner Unterkriterien

Das Kriterium der ethischen Akzeptabilität nimmt im Sinne intersubjektiv-rationaler Zustimmungsfähigkeit eine normative Bewertung vor, die nach der Qualität von Gründen und Begründungsstrategien fragt. Die aufgrund des Klimawandels erforderliche Transformation des bestehenden Energiesystems und die damit verbundenen Ziele übersteigen den durch eine individualistische Verantwortungsethik erfassbaren Bereich. Die damit einhergehende Zuschreibung von Verantwortung muss primär in den gesellschaftspolitischen Institutionen realisiert und die Frage der Risikobereitschaft muss demokratisch beantwortet werden. Im Sinne einer prozeduralen und probabilistischen Institutionenethik unterscheidet sich das Kriterium „Ethische Akzeptabilität“ von der empirisch-soziologischen Frage nach Akzeptanzhaltungen. Viel mehr klärt es die Bedingungen der Möglichkeiten von genereller Akzeptanzfähigkeit. Das Kriterium enthält die vier Unterkriterien der Gerechtigkeit, der ethischen Standards des Entscheidens unter Ungewissheit, des Respekts vor Autonomie und der Zumutbarkeit. Die Bewertung findet zweistufig statt: Erstens werden Maßnahmen direkt auf den ethischen Status des Erlaubten, Verbotenen oder Gebotenen hin betrachtet. Zweitens werden verschiedene Implikationen der jeweiligen Maßnahmen, bezogen auf die jeweiligen Unterkriterien, ermittelt und in Verbindung mit den jeweiligen Begründungen reflektiert. Da es sich bei den zu bewertenden Varianten des Ausstiegs aus dem Kohlestrom um Transformationsprozesse und Zukunftsbetrachtungen sowie Prognosen handelt, werden etwaige Chancen und Risiken ausführlich diskutiert. Etwaige Unsicherheitsspielräume werden als solche beispielsweise im Abschnitt „Robustheit der Datenbasis“ transparent gemacht. Eine umfassendere Darstellung des Bewertungskriteriums findet sich in Quitzow et al. 2018. Das Kriterienset, das in verschiedene Cluster aufgeteilt und auf den jeweiligen Anwendungsfall – auch unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus den Dialogen mit den Stakeholdern – spezifiziert werden kann, umfasst: 1. Bereiche zur zentralen energie- und klimapolitischen Zielsetzungen (das klassische „Zieldreieck“ der Energiepolitik) 2. Bereiche, in denen Nebenwirkungen von Energiepolitik auftreten. 3. Die Vereinbarkeit mit als Rahmungen gegebenen rechtlichen, politischen und ethischen Normen. Im Rahmen der ethischen ex ante Bewertung von Maßnahmenbündeln in AP11 stellt ethische Akzeptabilität das einzige Kriterium für die ethische (inklusive der epistemischen) Bewertung dar. Insofern ist es sinnvoll, dieses Kriterium als das übergeordnete Kriterium für die ethische Bewertung anzusetzen.

Datenbasis für die Bewertung

Die hier diskutierten Unterkriterien verstehen sich als ethische *pro tanto*- bzw. *prima facie*-Prinzipien. In der Bewertung der Ausstiegsszenarien aus dem Kohlestrom kommt jedem Unterkriterium der gleiche Rang zu. Obwohl jedes ethische Prinzip unbeschränkte Gültigkeit besitzt, ist ein Konfligieren möglich. Für den Fall eines Prinzipienkonflikts gibt es dann keine von vornherein feststehende Lösung. In der jeweiligen Situation muss überprüft werden, welchem der *pro tanto*-Prinzipien in dem in Frage stehenden Einzelfall höheres Gewicht zukommt: Die hier vorgenommene Bewertung hat beispielsweise einer globalen Klimagerechtigkeit und dem Erhalt der Autonomie kommender Generationen hinsichtlich der wahrscheinlichen nachteiligen Auswirkungen des Klimawandels eine starke Priorität beigemessen.

Gerechtigkeit

Insbesondere die distributive Gerechtigkeit wird auf Indikatoren Bezug nehmen können. Zwar lässt sich kein klarer Schlüssel benennen, der eindeutig verschiedenen Kostenverteilungen einen Gerechtigkeitswert zuordnet. Allerdings kann auf Daten gestützt Ungerechtigkeit oder gerechtigkeitstheoretisch unproblematisches Vorgehen attestiert werden. Für die Frage, wie weiter bestehende Strombedarfe alternativ und zu welchen Preisen abgedeckt werden können, wird die Diskussion des Phänomens ‚Energiearmut‘ (im Sinne von internationaler Gerechtigkeit als ‚Knappheit‘ und nationaler Gerechtigkeit als ‚Bezahlbarkeit‘) wichtig werden. Allerdings müssten dazu belastbare Daten und weitere flankierende Maßnahmen benannt werden.

Entscheiden bei Ungewissheit

Die Frage nach der Entscheidung unter Ungewissheit ist insbesondere dann relevant, wenn Wissen über mögliche Ausgänge der durchzusetzenden Maßnahme besteht, die in einem weiten Sinn einen

Schaden darstellen. Für den Kohleausstieg wird ein möglicher Schaden in der Arbeitslosigkeit, der in der Kohleindustrie Beschäftigten bestehen. Aus diesem Grund muss in Erwägung gezogen werden, wie unter dieser Möglichkeit entschieden werden soll, bzw. welche Entscheidung ethisch akzeptabel ist. Zudem wäre ein weiterer möglicher Schaden eine nicht zureichende Energieversorgung bei abgeschlossenem Kohleausstieg. Es ist also insbesondere zu prüfen, inwiefern die Energiebedarfe zu dem Zeitpunkt, zu dem das letzte Kohlekraftwerk vom Netz genommen wird, weiterhin stabil gedeckt werden können oder ob Engpässe in der Energieversorgung zu erwarten sind.

Respekt vor Autonomie
Für dieses Unterkriterium ist die Eingriffstiefe der jeweiligen Maßnahme, bzw. des mit einem Szenario einhergehenden Eingriffs relevant. Je tiefer ein Eingriff in die individuelle Lebensplanung, desto eher wird es ethische Rechtfertigungsfragen geben. Allerdings muss zudem eine zusätzliche Abwägung von Zumutbarkeiten stattfinden. Im Falle des Kohleausstiegs wäre eine denkbare Einschränkung individueller Lebensplanung und -entscheidung die Wahl des Berufsfeldes. In Fällen der bereits in der Kohleindustrie Beschäftigten ist der Ausstieg zudem ein Eingriff in deren zu früherem Zeitpunkt getroffenen Lebens- und Berufsentscheidungen. Zusätzlich wird nochmals zwischen unternehmerischer und politischer Autonomie unterschieden. Unternehmerische Autonomie betrifft den Entscheidungsspielraum von Unternehmen, was den Umbau ihrer Stromproduktion anbelangt. Die politische Autonomie betrifft Partizipationsmöglichkeiten an politisch-rechtlichen Entscheidungsprozessen und die Identifikation mit gemachten Entscheidungen.

Zumutbarkeit
Für die Frage nach der Zumutbarkeit kann keine auf Indikatoren basierte Bewertung stattfinden, da es sich hier um eine rein wertende Abwägung zwischen Vor- und Nachteilen handelt. Hierbei muss insbesondere der Zweck des Kohleausstiegs mit den Nachteilen für Betroffene in ein Gleichgewicht gebracht werden. Es werden also Angemessenheitsfragen der Maßnahme und ihrer positiven Folgen zu den etwaigen Schäden derselben geprüft.

Vorschlag der Gesamtbewertung
Bei der Gesamtbewertung werden die Ergebnisse der anderen Kriterien rezipiert und entsprechend nach empirisch-datenbasierten Aussagen klassifiziert. Unsicherheitsspielräume in der Risiko-Folgen-Abschätzung werden als solche kenntlich gemacht. Ziel ist es, mit der Auswertung der Ergebnisse der multikriteriellen Analysen Validität für die ethische Bewertung zu generieren. Eine inter- und transdisziplinäre Zusammenarbeit ist vor diesem Hintergrund auch mit den anderen Kopernikus-Projekten unbedingt geboten (wie beispielsweise dem P2X-Projekt).

Einschätzung zur Robustheit der Bewertungsergebnisse
Der vorliegende Bewertungsbericht zu den Ausstiegsvarianten aus dem Kohlestrom versteht sich als ein rational geführter Risikodiskurs, der aufgrund des disparaten Charakters des zu bewertenden Forschungsgegenstands zwangsläufig eine bestimmte Prioritätensetzung in seiner theoretischen Perspektivität einnehmen muss. Der hier gewählte Zugriff einer normativ-probabilistischen Institutionenethik fokussiert Unterkriterien, die als ethische *pro tanto*-Prinzipien zwar unbeschränkt gültig sind, aber untereinander oder mit anderen *pro tanto*-Prinzipien konfligieren können. Generell sind auch andere ethische Prinzipien denkbar: Aus partikularistischer oder utilitaristischer Sicht würde man aufgrund divergierender Schwerpunktsetzungen hinsichtlich der moralischen Bewertung der Folgen der untersuchten Maßnahmenbündel zu verschiedenen, aber gleichermaßen legitimen Standpunkten gelangen. Hier würden etwa die Detailfragen, was als moralisch problematischer Eingriff in die verschiedenen Formen von Autonomie gilt, kontrovers diskutiert werden. Der moralphilosophische Dissens ist dabei repräsentativ für die Wertepluralität offener Gesellschaften. Die in Einzelfällen moralische Unterbestimmtheit steht repräsentativ für die politischen Entscheidungsprobleme. Ethische Akzeptabilität beinhaltet als normative Institutionenethik auch eine sozialethische Dimension. Die hier durchgeführte Bewertung betrachtet die mit der Energiewende verbundenen Institutionen als funktional und kontextangemessen. Dysfunktionale Institutionen, die beispielsweise hinsichtlich des technischen Fortschritts überholt sind oder sich auf illegitime Handlungskontexte ausgedehnt haben, die ihre eigene Befähigung übersteigen, sind aus ethischer Sicht als inakzeptabel zu kritisieren. Die Wahrnehmung der Funktionalität der bei der Energiewende beteiligten Institutionen sollte aus der Perspektivität ethischer Akzeptabilität transparent und angemessen die Ziele einer globalen Klimagerechtigkeit verfolgen. Be-

rücksichtigt wurden in dem vorliegenden Bewertungsbericht die Ergebnisse des Kriteriums „Effektivität“. Dort wurden die Modelle E2M2, LIMES, NEWAGE, REMIND und TIMES ausgewertet. Zum Umgang mit Unsicherheiten und Ungewissheiten bei der Entscheidungsfindung wird zudem im Gesamtbewertungsbericht ein Kapitel angeboten, aus dem erste Orientierungen für Entscheidungssituationen, die von epistemischer Unsicherheit/Ungewissheit geprägt sind, gegeben werden. Der Umgang mit Unsicherheiten innerhalb der Modelle beruht vor allem auf Sensitivitätsanalysen.

Ausblick

Für einige Indikatoren und Szenarien werden die noch fehlenden Daten soweit möglich ergänzt. Aus der Reihe der anhand des Kriteriums „ethische Akzeptabilität“ bewertbaren Folgeabschätzungen bedarf die Wahrscheinlichkeit von möglichen nachteiligen „Rebound-Effekten“ in der Energiewende weiterer Untersuchungen. Explizite Studien zu diesem Sachverhalt liegen bis zum jetzigen Zeitpunkt nicht vor.

Tabelle 16: Bewertung des Kriteriums „Ethische Akzeptabilität“

Unterkriterium	Indikator	Bewertungs-maßstab	Ergebnis	Stärken / Schwächen	Datenquellen & Robustheit
Ausgangsszenario*					
Gerechtigkeit	-	-	-	• Der langsame Ausstieg könnte eine gerechtere Transformation ermöglichen (+) • Im Hinblick auf das ethische Gebot zum Klimaschutz werden jedoch möglicherweise die gesetzten Ziele nicht erreicht (-) • Im Sinne der „Vorreiterallianz“ widerspricht der langsame Ausstieg aus dem Kohlestrom einer globalen Klimagerechtigkeit, die im Sinne einer Generationen- und Verteilungsgerechtigkeit als vorrangig erachtet wird (-)	• Rezeption der Ergebnisse des Kriteriums „Effektivität“ • Hier Modellergebnisse aus TIMES (LIMES, E2M2)
Entscheiden unter Ungewissheit	-	-	+	• Der langsame Ausstieg wird möglicherweise zu weniger Ungewissheit führen bzw. Wahrscheinlichkeitswissen ermöglichen (+) • Inwiefern die P2X-Technologien strukturell CO_2 in großen Mengen in Chemikalien und Kraftstoffe umwandeln können und damit einen langsamen Ausstieg aus dem Kohlestrom entsprechend flankieren können, kann nicht beurteilt werden (?)	
Respekt vor Autonomie	-	-	0	• Individuelle Lebensplanung wird respektiert. (+) • Die ordnungsrechtliche Regelung wird insgesamt eher als selbstbestimmt verstanden als im Falle marktregulierender Maßnahmen und stärkt somit den Respekt vor der Autonomie im Sinne der autonomen Teilnahme am politischen Entscheidungsprozess (+) • Allerdings Beschränkung der freien Berufswahl der in der Kohleindustrie Arbeitenden (-) • Beschränkung unternehmerischer Autonomie (-)	
Zumutbarkeit	-	-	0	• Für die in der Kohleindustrie Arbeitenden wird der Ausstieg etwaig negative Konsequenzen haben (Arbeitslosigkeit, Umschulungen etc.). Hier hängt es von flankierenden Maßnahmen ab, ob KAL ethisch akzeptabel sein wird (-)	
Gesamtbewertung	Rang	x von 4	4	• Widerspruch zur Kohlekommission • Geringe globale Klimagerechtigkeit • Hohe Risiken für Erhalt von Autonomie zukünftiger Generationen	
KAS					
Gerechtigkeit	-	-	0	• Reduktion der THG-Emissionen gegenüber dem Ausgangsszenario (+) • Insbesondere bis 2030 positive Effekte auf die Transformationsprozesse in weiteren Handlungsfeldern (Verkehr, Gebäude) (+) • Mögliche „Wasserbetteffekte“ und „Carbon-Leackage-Risiken“ führen auf europäischer Ebene vermutlich zu geringer Reduktion von THG (-) • Erwartbare Strompreiserhöhungen aufgrund fehlenden Ausbaus erneuerbarer Energien belasten vor allem einkommensschwächere Haushalte trotz „Parteieninvarianz“ (-)	• Rezeption der Ergebnisse des Kriteriums „Effektivität“ • Hier Modellergebnisse aus TIMES (LIMES, E2M2)
Entscheiden unter Ungewissheit	-	Einordung nach Montpetit	0	• Der schnelle Ausstieg wird mehr Ungewissheit mit sich führen, bevor gut flankierende Maßnahmen für die in der Kohleindustrie Beschäftigten greifen (-) • Ein institutionell durchgeführter schneller Kohleausstieg verweist auf eine zeitliche Rahmung, die für alle beteiligten Mitglieder einer kooperativen Gesellschaft Transparenz schafft (+) • Die Vorrangregel für Klimaschutz wird eingehalten; Erhalt der Bedingungen verantwortlichen Handelns (+) • Keine Strategie zur Vermeidung möglicher Rebound-Effekte (-)	
Respekt vor Autonomie	-	-	0	• Einschränkung unternehmerischer und individueller Autonomie (-) • Global gesehen kann ein Beitrag zur Autonomie der vom Klimawandel stärker betroffenen Gebiete geleistet werden (+) • Keine direkte Partizipationsmöglichkeiten der Bürgerinnen und Bürger in der Klärung des Transformationsprozesses; Defizit in der diskursiven Rechtfertigung (-) • Autonomie zukünftiger Generationen wird geschützt (+)	
Zumutbarkeit	-	-	0	• Ohne zusätzliche Anreize für den Ausbau von EE kommt es im Wesentlichen zu Stromimporten aus dem Ausland (Preissteigerungen möglich) (-) • Es lässt sich hinsichtlich der EE kein wesentlicher Unterschied zum Ausgangsszenario ausmachen (-) • Bei ausreichenden flankierenden Maßnahmen für die betroffenen Beschäftigten des Kohlestromsektors kann der KAS als zumutbar gelten (+) • Bei ausreichenden flankierenden Maßnahmen für von Energiearmut betroffene einkommensschwächeren Haushalten kann der KAS als zumutbar gelten (+)	
Gesamtbewertung	Rang	x von 4	3	• Gestiegene Klima- und Generationengerechtigkeit (AGS), jedoch weiterhin unbefriedigend • Bewertung begrenzt durchführbar	

*) Ausgangsszenario wird behandelt wie ein langsamer ordnungsrechtlicher Kohleausstieg

(Fortsetzung der Tabelle)

Unterkriterium	Indikator	Bewertungs-maßstab	Ergebnis	Stärken / Schwächen	Datenquellen & Robustheit
KAS+					
Gerechtigkeit	-	-	+	• Deutliche Reduktion der kumulierten Treibhausgasemissionen gegenüber dem Ausgangsszenario (+) • Positive Effekte auf die Transformationsprozesse in den Handlungsfeldern Verkehr und Gebäude (+) • Vermeidung von „Wasserbetteffekten“ aus KAS (+) • Der EE-Ausbau führt zu höheren Stromgestehungskosten, die allerdings im Sinne der Effektivität unbedeutend sind (+/-) • Im Sinne einer globalen Klimagerechtigkeit kann diese Variante hinsichtlich ihrer institutionalisierten Form eine Vorbildfunktion erfüllen (+)	• Rezeption der Ergebnisse des Kriteriums „Effektivität“ • Hier Modellergebnisse aus TIMES (LIMES, E2M2)
Entscheiden unter Ungewissheit	-	-	+	• Der EE-Ausbau kann weitere flankierende Maßnahmen für die in der Kohleindustrie Beschäftigten mit sich bringen (+) • Ein institutionell durchgeführter schneller Kohleausstieg verweist auf eine zeitliche Rahmung, die für alle beteiligten Mitglieder einer kooperativen Gesellschaft Transparenz schafft (+) • Die Vorrangregel für Klimaschutz wird eingehalten; Erhalt der Bedingungen verantwortlichen Handelns (+) • Keine Strategie zur Vermeidung möglicher nachteiliger und nutzloser Rebound-Effekte; der EE-Ausbau kann diese noch verstärken (-) • Demgegenüber werden neue Anreize geschaffen und gefördert (+)	
Respekt vor Autonomie	-	-	+	• Zusätzliche Anreize zum Ausbau Erneuerbarer Energien kompensieren den Einschnitt in die unternehmerische Autonomie (+) • Der Ausbau der EE eröffnet neue Berufsfelder, Arbeitsplätze und Lebensentwürfe (+)	
Zumutbarkeit	-	-	+	• Zusätzliche Anreize für den Ausbau von EE verringern die Abhängigkeit von Stromimporten aus dem Ausland (+) • Ausbauziele werden durchweg erreicht (+) • Ethisch ist diese Variante zumutbar, wenn wahrscheinlich stärker zu erwartende Rebound-Effekte entsprechend reflektiert werden	
Gesamtbewertung	Rang	x von 4	1	• Höchste Klima- und Generationengerechtigkeit durch ZS und EE+ (AS) • Gefahr von Rebound-Effekten • Bewertung begrenzt durchführbar	
COP+					
Gerechtigkeit	-	-	0	• Deutliche Reduktion der kumulierten Treibhausgasemissionen gegenüber dem Ausgangsszenario (+) • Positive Effekte auf die Transformationsprozesse in den Handlungsfeldern Verkehr und Gebäude (+) • Vermeidung von „Wasserbetteffekten“ aus KAS (+) • Der EE-Ausbau führt zu höheren Stromgestehungskosten, die allerdings im Sinne der Effektivität unbedeutend sind (+/-) • Im Sinne einer globalen Klimagerechtigkeit kann diese Variante hinsichtlich ihrer institutionalisierten Form eine Vorbildfunktion erfüllen (+) • Der CO_2-Mindestpreis könnte die politische Partizipation aufweichen und unternehmerisches Handeln in den Vordergrund rücken (-) • Daneben könnten einkommensschwächere Haushalte besonders stark belastet werden (-)	• Rezeption der Ergebnisse des Kriteriums „Effektivität“ • Hier Modellergebnisse aus TIMES (LIMES, E2M2)
Entscheiden unter Ungewissheit	-	-	+	• Der EE-Ausbau kann weitere flankierende Maßnahmen für die in der Kohleindustrie Beschäftigten mit sich bringen (+) • Ein institutionell durchgeführter schneller Kohleausstieg verweist auf eine zeitliche Rahmung, die für alle beteiligten Mitglieder einer kooperativen Gesellschaft Transparenz schafft (+) • Die Vorrangregel für Klimaschutz wird eingehalten; Erhalt der Bedingungen verantwortlichen Handelns (+) • Der CO_2-Mindestpreis ist eine Strategie zur Vermeidung möglicher nachteiliger Rebound-Effekte (+) • Der EE-Ausbau schafft und fördert neue Anreize (+)	
Respekt vor Autonomie	-	-	0	• Zusätzliche Anreize zum Ausbau Erneuerbarer Energien kompensieren den Einschnitt in die unternehmerische Autonomie (+) • Der Ausbau der EE eröffnet neue Berufsfelder, Arbeitsplätze und Lebensentwürfe (+) • Ein CO_2-Mindestpreis kann individuelle Lebensentwürfe und Beschäftigungsverhältnisse besonders ungerecht treffen (zum Beispiel Berufspendler) (-)	
Zumutbarkeit	-	-	+	• Zusätzliche Anreize für den Ausbau von EE verringern die Abhängigkeit von Stromimporten aus dem Ausland (+) • Ausbauziele werden durchweg erreicht und für das Jahr 2050 sogar um fast 20% übertroffen (+)	
Gesamtbewertung	Rang	x von 4	2	• Höchste Klima- und Generationengerechtigkeit (AS) • Verursacherprinzip durch COP umgesetzt, jedoch Bedarfs- und Chancengerechtigkeit tangiert • Bewertung begrenzt durchführbar	

LITERATURVERZEICHNIS

Agora Energiewende und Aurora Energy Research (2019). Die Kohlekommission. Ihre Empfehlungen und deren Auswirkungen auf den deutschen Stromsektor bis 2030. Berlin. URL.

Bauknecht, D., Bracher, J., Heinemann, Ch., Hesse, T., Kasten, P, Kühnel, S., Mottschall, M., Vogel, M., Becker, S., Kutzner, R., Müller, I., Thielges, S. (2019). Visionen und Pfadentscheidungen der Energiewende. Freiburg, Potsdam. URL.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) [Hrsg.] (2019). Kommission „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung". Abschlussbericht. Berlin. URL.

Dreyer, M., Dratsdrummer, F., Ober, S., Sellke, P., Ulmer, F (2018). ENavi-Schwerpunktthemen. Offene Fragen im Austausch zwischen Praxis und Wissenschaft. Veranstaltungsbericht KT/01-2018. 3. Treffen der Kompetenzteams des Kopernikus-Projektes ENavi. 17. Mai 2018, Potsdam, Institut für transformative Nachhaltigkeitsforschung (IASS). Stuttgart / Berlin. URL.

Dreyer, M., Dratsdrummer, F., Ober, S., Sellke, P., Ulmer, F. (2019a). Der Kohleausstieg und die Folgen: Was sind Ansatzpunkte für die Politik? Veranstaltungsbericht (KT 01-2019) zur diskursiven Bewertung von Szenarien des Kohleausstiegs mit Praxisakteuren einschließlich Mitgliedern des ENavi-Kompetenzteams am 5. April 2019, Berlin, Naturschutzbund Deutschland (NABU) e. V., Stuttgart. URL.

Dreyer, M., Dratsdrummer, F., Ober, S., Sellke, P., Ulmer, F. (2019b). Transdisziplinäre Forschung. Ein Schlüssel für die Energiewende? Veranstaltungsbericht zum Praxis-Wissenschaft-Dialog zu transdisziplinärer Forschung am 17. September 2019 in Potsdam am Institute for Advanced Sustainability Studies. Stuttgart. URL.

Edenhofer, O., Fahl, U., Hufendiek, K., Luderer, G., Pahle, M., Pietzcker, R., Zabel, C., Gaschnig, H., Gillich, A., Knodt, M., Kube, R., Löschel, A., Naegler, T., Ober, S., Prehofer, S., Quitzow, R., Rauner, S., Schlacke, S., Schmidt, M., Strunz, S., Ulmer, F. (2018). Die Transformation des Stromsystems mit Fokus Kohleausstieg. Synthesebericht des Schwerpunktthemas #1. Entwurf. Stand: 31. Juli 2018. Potsdam. URL.

Fahl, U., Gaschnig, H., Hofer, C., Hufendiek, K., Maier, B., Pahle, M., Pietzcker, R., Quitzow, R., Rauner, S., Sehn, V., Thier, P., Wiesmeth, M. (2019). Das Kopernikus-Projekt ENavi. Die Transformation des Stromsystems mit Fokus Kohleausstieg. Endbericht. Stuttgart/Potsdam. URL.

Fahl, U., Hauser, W., Link, H., Nabitz, L., Naegler, T., Prehofer, S., Scheer, D., Strunz, S., Zabel, C. (2018). AP1 & AG Modellierung und Szenarien: Inventur der ENavi-Kompetenzen – Modelle, Methoden und Interventionen – Download-Paket Modelle. Stuttgart. URL.

Gaschnig, H., Göllinger, Th. (2019). Das Zielkreiskonzept als Instrument zur Analyse und Kommunikation energiepolitischer Ziele. IöB-Arbeitspapier Nr. 68. Siegen. URL.

Gaschnig, H., Hofer, C., Pietzcker, R., Fahl, U., Quitzow, R. (im Erscheinen). Politische Szenarien des Kohleausstiegs. Datenbasis für die exemplarische Folgenabschätzung und Bewertung. Schwerpunkt „Transformation des Stromsystems" in ENavi. 04/2019. Potsdam / Stuttgart.

Jaeger, C., Mielke, J. (2018). DECISION THEATER on SUSTAINABLE MOBILITY. Global Climate Forum. URL.

Montpetit, E. (2008). Policy Design for Legitimacy: Expert Knowledge, Citizens, Time and Inclusion in the United Kingdom's Biotechnology Sector. Public Administration 86 (1), S. 259-277.

Pahle, M., Zabel, C., Edenhofer, O., Fahl, U., Fischedick, M., Hufendiek, K., Knodt, M., Löschel, A., Luderer, G., Ober, S., Pietzcker, R., Renn, O., Schlacke, S., Sensfuß, F. (2019). Interdisziplinärer Synthesebericht zum Kohleausstieg: ENavi informiert die Kohlekommission. GAIA – Ecological Perspectives for Science and Society. 2019, 28/1, 61-62. URL.

Quitzow, R., Bangert, A., Düber, D., Fraune, C., Fricke, A., Gaschnig, H., Gößling-Reisemann, S., Kaltenegger, O., Kemmerzell, J., Kopfmüller, J., Löschel, A., Meyer, T., Ollier, L., Renn, O., Schlacke, S., Schnittker, D., Stelzer, V., Thier, P., Zeccola, M. (2018). Multikriterieller Bewertungsansatz für eine nachhaltige Energiewende: Von der Analyse zur Entscheidungsfindung mit ENavi. Potsdam. URL.

Quitzow, R., Gaschnig, H., Camier, C., Berger, M., Renn, O., Bangert, A., Kopfmüller, J., Kaltenegger, O., Meyer, T., Schnittker, D., Stelzer, V., Thier, P. (2019). Multikriterieller Bewertungsansatz für eine nachhaltige Energiewende. Von der Analyse zur Entscheidungsfindung mit ENavi. Zusammenfassung. IASS Broschüre. Potsdam. URL.

Renn, O., Dreyer, M, Edenhofer, O., Fischedick, M., Gaschnig, H., Grunwald, A., Henning, H.-M., Hoffmann, C., Hufendiek, K., Jaeger, C., Knodt, M., Kost, Ch., Luderer, G., Mack, B., Matthies, E., Ober, S., Pahle, M., Rodi, M., Scheer, D., Staiß, F., Stückrad, S., Thomas, H. (2019). Wegbeschreibungen zum klimaneutralen Energiesystem. Abschlussbericht 2019. Kopernikus-Projekt Energiewende-Navigationssystem, ENavi. Potsdam. URL.

Scheer, D. & Grunwald, A. (2017). Orientierungswissen für die Energiewende: der Roadsmap-und-Navigation-Ansatz. GAIA – Ecological Perspectives for Science and Society, 26, 155. URL.

Scheer, D., Fahl, U., Hauser, W., Hyer-Klick, C., Kost, Ch., Naegler, T., Poganietz, W., Pregger, Th., Strunz, S., Weimer-Jehle, W. (2017). Input-Paper „Roadsmap & Navigation“: Konkretisierung Konzept und ENavi-Prozess. Entwurfsfassung als ENavi-Diskussionsgrundlage. Stand: 4. Juli 2017.

Schmidt-Scheele, R., Bauknecht, D., Poganietz, W.-R., Seebach, D., Timpe, Ch., Weimer-Jehle, W., Weiss, A. (2019). Leitmotive und Storylines der Energiewende. Wie Stakeholder-Positionen systematisch in Transformationspfade integriert werden können. In: TATuP – Journal for Technology Assessment in Theory and Practice 28/3. URL.

Setton, D. (2019). Soziales Nachhaltigkeitsbarometer der Energiewende 2018: Kernaussagen und Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse. Institute for Advanced Sustainability Studies. Potsdam. URL.

Ulmer, F., Dreyer, M, Dratsdrummer, F., Ober, S., Paulick-Thiel, C., Sellke, Piet (2018). Energiewende: Gemeinsame Forschungsbedarfe, neue politische Rahmenbedingungen, Bewertung der Maßnahmenbündel – Austausch und Vernetzung zwischen ENavi-Kompetenzteams und ENavi-Wissenschaftler*innen. Veranstaltungsbericht KT/02-2017. Stuttgart. URL.

DANKSAGUNG

Die vorliegenden Ergebnisse entstammen dem realen ENavi-Prozess, der im Schwerpunkt Strom zur Anwendung gekommen ist. Für die Beiträge sind die Autorinnen und Autoren verantwortlich. Der Bericht ist jedoch das Resultat einer inter- und transdisziplinären Zusammenarbeit, an der zahlreiche Forscherinnen und Forscher sowie Stakeholder aus Zivilgesellschaft, Wirtschaft, Industrie und Politik beteiligt waren. Ohne sie wäre die Erstellung des finalen Berichtes nicht möglich gewesen.

Die Mitglieder des Arbeitspaketes 11 („Multikriterielle Bewertung“) möchten allen Kolleginnen und Kollegen danken, die am ENavi-Prozess mitgewirkt haben. Hierzu gehören zuallererst alle Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die zur Folgenabschätzung der politischen Maßnahmen beigetragen haben. Da im Schwerpunkt Strom vordergründig Energiesystemmodelle zur Anwendung kamen, möchten wir uns explizit bei Dr. Markus Blesl, Vera Sehn und Michael Wiesmeth (TIMES und TIMES PanEU), Dr. Robert Pietzcker (LIMES und REMIND), Dr. Ulrich Fahl und Claudia Hofer (NEWAGE), Annika Gillich (E2M2), Dr. Witold-Roger Poganietz (Carbon-PIOT), Dr. Frank Sensfuß (ENERTILE), Dr. Sebastian Voigt (PACE), Marc Deissenroth (AMIRIS) und Miodrag Stevanovic (MAgPIE) für ihre freundliche Unterstützung bedanken.

Ein besonderer Dank gilt zudem allen an ENavi beteiligten Stakeholdern, die im transdisziplinären Bewertungsdiskurs die Ergebnisse sorgfältig geprüft und plausibilisiert haben. Auf diese Weise konnten die Resultate an wesentlichen Stellen geschärft werden. Für das Kriterium „Ethische Akzeptabilität“ konnte die diskursive Bewertung nicht in derselben Weise wie für die übrigen Kriterien durchlaufen werden. Für die sorgfältige Reflexion der Ergebnisse wurde auf einen Review-Prozess mit internen und externen Fachethikern zurückgegriffen. An dieser Stelle möchten wir ein Dankeswort insbesondere an Herrn Prof. Dr. Armin Grunwald sowie Herrn Prof. Dr. Gregor Betz richten.

Zudem fühlen wir uns allen Koordinatorinnen und Koordinatoren, die zur Organisation und Strukturierung des ENavi-Prozesses im Laufe der letzten drei Jahre im Schwerpunkt Strom beigetragen haben, verbunden. Hierzu gehören insbesondere Prof. Dr. Kai Hufendiek, Dr. Ulrich Fahl, Dr. Robert Pietzcker, Dr. Tobias Naegler sowie Claudia Hofer. Als zentrale Schnittstelle für die diskursive Bewertung fungierten Partnerorganisationen des AP12 („Transdisziplinärer Diskurs“). Für die produktive Zusammenarbeit möchten wir uns bei Frau Dr. Steffi Ober, Frau Dr. Eva Köppen, Martin Burwitz und Jahn Harrison (NABU und Forschungswende Berlin) sowie Dr. Piet Sellke, Frau Dr. Marion Dreyer, Frank Ulmer und Frank Dratsdrummer (DIALOGIK) ebenfalls herzlich bedanken.

Darüber hinaus standen uns das BMBF sowie der Projektträger Jülich für Rückfragen jederzeit zur Verfügung. Wir fühlten uns zu jeder Zeit gut betreut und beraten, namentlich von Herrn Dr. Georg Kamp und Herrn Dr. Stefan Weitemeyer. Zudem haben Dr. Stefan Stückrad und Dr. Heiko Thomas als ENavi-Geschäftsleiter, Kim Kube als Projektassistentin sowie Christina Camier und Maren Berger als Presse- und Kommunikationsexpertinnen uns immer umfassend in unserer Arbeit unterstützt. Für die hervorragende Förderung und Hilfe möchten wir uns auf diesem Wege vielmals bedanken.

AUTORINNEN & AUTOREN

Armin Bangert ist Umwelttechniker und Technikphilosoph. Er arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS), Karlsruher Institut für Technologie. Forschungsinteressen: Nachhaltigkeit, Dissensmanagement, Verkehrswende, Technikphilosophie und -ethik.

Dr. Ulrich Fahl leitet die Abteilung Energiewirtschaft und Sozialwissenschaftliche Analysen (ESA) am Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart. Als promovierter Wirtschaftswissenschaftler ist er insbesondere mit der Analyse energie- und volkswirtschaftlicher Zusammenhänge im Kontext der Energiewende befasst. Im Rahmen von ENavi ist er Mit-Koordinator des Arbeitspaketes 3 „Ökonomische Instrumente und Auswirkungen“ sowie mit zuständig für das Schwerpunktthema „Transformation des Stromsystems mit Fokus Kohleausstieg“.

Hannes Gaschnig koordiniert als wissenschaftlicher Mitarbeiter am IASS das Arbeitspaket „Multikriterielle Bewertung" (AP11) in ENavi. Er begleitet den Prozess der Entwicklung, Diskussion und Anwendung des mehrdimensionalen Bewertungsansatzes. Herr Gaschnig studierte Dipl. Umweltwissenschaften, spezialisierte sich auf Energiesystemmodellierung & -analyse und sammelte Erfahrungen im Bereich Energiewirtschaft und Energiepolitik.

Foto: © IASS / L. Ostermann

Claudia Hofer ist wissenschaftliche Mitarbeiterin der Abteilung Energiewirtschaft und Sozialwissenschaftliche Analysen (ESA) am Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) und forscht zu den gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen der Energiewende. Sie ist an den ENavi Forschungsarbeiten des AP 3 zu „Ökonomischen Instrumenten und Auswirkungen“ sowie des SP 1 zur „Transformation des Stromsystems“ inhaltlich und koordinativ beteiligt. Sie studierte Volkswirtschaftslehre mit Schwerpunkt Energiewirtschaft.

Oliver Kaltenegger ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Mikroökonomik, insb. Energie- und Ressourcenökonomik, an der Universität Münster (Professor Dr. Andreas Löschel). Seit 2015 unterstützt er die Expertenkommission zum Monitoring-Prozess „Energie der Zukunft“ der Bundesregierung. Zwischen 2010 und 2015 war er Mitglied des Länderarbeitskreis Energiebilanzen und des Arbeitskreises „Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder“.

Jürgen Kopfmüller leitet den Forschungsbereich Nachhaltigkeit und Umwelt am Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) in Karlsruhe. Im Rahmen der Helmholtz-Allianz ENERGY-TRANS war er an der Entwicklung eines Indikatorensystems zur Nachhaltigkeitsbewertung der deutschen Energieversorgung beteiligt. Herr Kopfmüller studierte Dipl. Volkswirtschaftslehre an der Universität Heidelberg mit Schwerpunkt Wirtschaftstheorie und Umweltökonomie.

Christian Loos ist Doktorand am Philosophischen Seminar der WWU Münster und CIVITAS-Stipendiat am Forschungsinstitut für Philosophie Hannover (fiph). Sein philosophisches Interesse gilt der Umweltphilosophie, der Philosophischen Anthropologie und dem Trans- sowie Posthumanismus. Als wissenschaftlicher Mitarbeiter ist er in ENavi und im Projekt Energieverantwortung für das Kriterium „Ethische Akzeptabilität“ verantwortlich.

Prof. Dr. Andreas Löschel ist Direktor des Centrums für angewandte Wirtschaftsforschung Münster (CAWM) und Inhaber des Lehrstuhls für Mikroökonomik, insb. Energie- und Ressourcenökonomik, an der Universität Münster. Seit 2011 ist er Vorsitzender der Expertenkommission zum Monitoring-Prozess „Energie der Zukunft“ der Bundesregierung. Er leitet seit 2017 das Virtuelle Institut Smart Energy in Nordrhein-Westfalen. Andreas Löschel ist Leitautor des Weltklimarates für den 5. und 6. Sachstandsbericht.

Dr. Robert Pietzcker leitet das "National Energy Transitions Team" innerhalb der Arbeitsgruppe "Energiesysteme" am Potsdam Institut für Klimafolgenforschung (PIK). Er koordiniert in ENavi die Modellierung mit dem Energie-Ökonomie-Klimamodell REMIND sowie dem Stromsektormodell LIMES-EU. Herr Pietzcker studierte Physik auf Diplom, promovierte in Wirtschaftswissenschaften und forscht zu Transformationspfaden zur Erreichung deutscher und europäischer Klimaziele.

Prof. Dr. Michael Quante ist Sprecher des Centrums für Bioethik, Hauptantragsteller des Exzellenzclusters „Religion und Politik“ und der Research Training Group „Evolutionary Processes of Adaptation and Disease“, sowie Prorektor für Internationalisierung und Transfer der WWU Münster. Er hat zahlreiche Monografien zur angewandten Philosophie und Ethik verfasst.

Foto: © WWU / P. Wattendorf

Dr. Rainer Quitzow koordiniert das Arbeitspaket „Multikriterielle Bewertung" (AP11) in ENavi und leitet das Energy Team des IASS. Seine Forschungsschwerpunkte liegen auf nachhaltiger Innovations- und Industriepolitik sowie Governance der Energiewende in Deutschland und international. Insbesondere beschäftigt er sich mit der Internationalisierung des Erneuerbare-Energien-Sektors und der Rolle großer Schwellenländer in diesem Kontext.

Foto: © IASS / L. Ostermann

Prof. Dr. Ortwin Renn leitet das Arbeitspaket „Multikriterielle Bewertung" (AP11) und ist Sprecher des ENavi-Konsortiums. Er ist wissenschaftlicher Direktor am Institut für Transformative Nachhaltigkeitsforschung (IASS) in Potsdam und Inhaber des Lehrstuhls „Technik- und Umweltsoziologie" an der Universität Stuttgart. Darüber hinaus leitet er das Forschungsinstitut DIALOGIK, eine gemeinnützige GmbH zur Erforschung und Erprobung innovativer Kommunikations- und Partizipationsstrategien in Planungs- und Konfliktlösungsfragen.

Foto: © IASS / L. Ostermann

Frau Prof. Dr. Sabine Schlacke ist geschäftsführende Direktorin des Instituts für Umwelt- und Planungsrecht und Inhaberin des Lehrstuhls für Öffentliches Recht am rechtswissenschaftlichen Fachbereich der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster. Neben klassischen Bereichen des Umwelt- und Planungsrechts sind ihre Forschungsschwerpunkte das Recht der Energiewende sowie das Klimaschutz- und Nachhaltigkeitsrecht. Zudem ist sie Co-Vorsitzende des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen.

Dr. Daniel Schnittker ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Umwelt- und Planungsrecht von Prof. Dr. Sabine Schlacke. Sein Forschungsschwerpunkt liegt auf dem Klimaschutzrecht und hierbei insbesondere den Bezügen zum Planungsrecht. Jüngere Veröffentlichungen hatten die Bedeutung des Raumordnungs- und Planungsrechts für die Suche nach einem Endlager für atomare Abfälle sowie die Steuerung von Fracking zum Gegenstand.

Dr. Volker Stelzer hat seine Dissertation zu den Umweltauswirkungen in der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) geschrieben. Er arbeitet seit 2001 am ITAS in den Bereichen „Systematische Nachhaltigkeitsbewertung“ und „nachhaltige Energieversorgung“. Hierbei hat er unter anderem in Projekten zur nachhaltigen Energienutzung aus Biomasse, zur nachhaltigen Energieversorgung von Santiago de Chile, zur nachhaltigen Energieversorgung im Reallabor Quartier Zukunft und zur Nachhaltigkeit der deutschen Energiewende geforscht.

Pablo Thier (Dipl.-Phys.) ist seit 2015 wissenschaftlicher Mitarbeiter des Fachbereichs Produktionstechnik der Universität Bremen. In seinen Forschungsarbeiten widmet er sich der Bewertung und Gestaltung einer nachhaltigen und resilienten Transformation des Energiesystems. Sein bisheriger Arbeitsfokus lag auf der Erstellung eines Gestaltungsleitbildes und Konzeptes für eine resiliente regionale Selbstversorgung, sowie auf der Resilienzbewertung von Wärmeversorgungsoptionen für urbane Räume.

Gerald Zunker studierte Volkswirtschaftslehre an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster und der Universität Gent, Belgien. Seit 2018 arbeitet er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Mikroökonomik, insb. Energie- und Ressourcenökonomik, an der Universität Münster (Professor Dr. Andreas Löschel). Seine Forschungsinteressen liegen in den Bereichen der experimentellen Ökonomie und der Energieökonomik.

Gestaltung
Hannes Gaschnig: hannes.gaschnig@iass-potsdam.de
Christina Camier: christina.camier@iass-potsdam.de

Bildnachweise
Titelbild: Tagebaurestloch | © H&C / stock.adobe.com
Seite 10: © DIALOGIK / F. Dratsdrummer
Seite 10: © IASS / C. Camier
Seite 13: © DIALOGIK / F. Dratsdrummer
Seite 83: © IASS / L. Ostermann
Seite 84: © IASS / L. Ostermann
Seite 84: © WWU / P. Wattendorf

DOI
10.2312/iass.2020.011

Lizenz
Dieses Werk ist lizenziert unter Creative Commons Namensnennung - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 2.0 Deutschland (CC BY-SA 2.0 DE)

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkenzeichen FKZ 03SFK4A gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.