

190

Politikberatung kompakt

Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung

2023

Energieinfrastrukturentwicklung für Klima-
neutralität – Empfehlungen für die Weiter-
entwicklung einer Energiewende-kompatiblen
Systementwicklungsstrategie (SES)

Fabian Präger, Claudia Kemfert, Christian von Hirschhausen und Elmar Zozmann

IMPRESSUM

DIW Berlin, 2023

DIW Berlin
Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung
Mohrenstraße 58
10117 Berlin
Tel. +49 (30) 897 89-0
Fax +49 (30) 897 89-200
www.diw.de

ISBN 978-3-946417-81-1
ISSN 1614-6921

Alle Rechte vorbehalten.
Abdruck oder vergleichbare
Verwendung von Arbeiten
des DIW Berlin ist auch in
Auszügen nur mit vorheriger
schriftlicher Genehmigung
gestattet.

DIW Berlin: Politikberatung kompakt 190

Fabian Präger²

Claudia Kemfert^{1,3}

Christian von Hirschhausen^{1,2}

Elmar Zozmann²

Energieinfrastrukturentwicklung für Klimaneutralität – Empfehlungen für die Weiterentwicklung einer Energiewende-kompatiblen Systementwicklungsstrategie (SES)

Studie in Kooperation mit der 100 Prozent erneuerbar stiftung

Berlin, 25. April 2023

¹ DIW Berlin, Abteilung Energie, Verkehr und Umwelt (EVU), Mohrenstr. 58, 10117 Berlin, ckemfert@diw.de

² TU Berlin, Fachgebiet Wirtschafts- und Infrastrukturpolitik (WIP), Str. des 17. Juni 135, 10623 Berlin, cvh@wip.tu-berlin.de, fpr@wip.tu-berlin.de

³ Leuphana Universität Lüneburg, Energiewirtschaft und Energiepolitik, Universitätsallee 1, 21335 Lüneburg

Zusammenfassung und Empfehlungen

Einleitung

Mit der Entscheidung für ein klima- und plutoniumneutrales Energiesystem bis spätestens 2045 geht die Energiewende in eine neue Phase. Die aktuelle Infrastrukturplanung für die leitungsgebundenen Energieträger Strom und Gas wird dieser Dringlichkeit allerdings nicht gerecht, insbesondere in Bezug auf die Berücksichtigung von Klimaschutz, Entwicklungen im Bereich Sektorenkopplung sowie der Kostendegression von Photovoltaik und Batteriespeichern. In dieser Studie analysieren wir daher den aktuellen Prozess der Energieinfrastrukturentwicklung und identifizieren dabei den strategischen und organisatorischen Reformbedarf. Die Studie beruht auf einer langjährigen Analyse von Organisationsmodellen der Strom- und Gas-Netzentwicklungsplanung sowie auf Erkenntnissen aus der Transformationsforschung und einem transdisziplinären Austausch mit Stakeholdern der Energiewende. Darüber hinaus geben wir konkrete Hinweise für die Ausgestaltung einer Energiewende-dienlichen Energieinfrastrukturentwicklung, die sich an der Einhaltung der Pariser Klimaziele und einem abgeleiteten CO₂-Budget orientiert.

Kritische Analyse der Netzentwicklungsplanung

Infrastruktur hat in jedem Wirtschaftssystem eine „dienende“ Funktion, d.h. sie unterstützt die von der Infrastrukturplanung bzw. deren Vorgaben festgelegten übergeordneten gesamtwirtschaftlichen bzw. energiewirtschaftlichen Ziele (z.B. Versorgungssicherheit, Wirtschaftlichkeit, Klimaschutz). Die Ausgestaltung der Infrastrukturplanung hat diese Funktionen oftmals nicht erfüllt. Insb. werden Klimaschutzziele erst seit 2014 explizit berücksichtigt. Durch die Gasbedarfsabfragen wird bis heute der notwendige Infrastrukturbedarf insb. für fossiles Erdgas erheblich überschätzt. Gleichzeitig entsprechen auch die starke Zentralisierung des Prozesses und die gering ausgeprägte materielle Bürgerbeteiligung nicht den Anforderungen an moderne partizipative Beteiligung auf Augenhöhe.

Systementwicklungsstrategie (SES) und Reformbedarf

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) hat im Oktober 2022 den Prozess zur Systementwicklungsstrategie (SES) vorgestellt. Die SES hat den Anspruch, „die Kohärenz der verschiedenen Strategien und Programme im Sinne eines preisgünstigen, verbraucherfreundlichen, effizienten, umweltverträglichen und klimaneutralen Gesamtsystems“ zu gewährleisten. Damit soll der Rahmen für nachgelagerte Prozesse (z.B. Netzentwicklungspläne Strom, Gas und Wasserstoff, Kommunale Wärmeplanung, Nationale Biomassestrategie usw.) vorgegeben werden. Der umfassende Anspruch des BMWK an die SES ist richtig und notwendig. Jedoch

sollte in der konkreten Umsetzung noch einiges optimiert und angepasst werden, um diesem Anspruch gerecht zu werden. Dazu gehören aus unserer Sicht folgende Punkte, die den SES-Prozess direkt betreffen.

- *Transformation zur Sache der Bundesregierung machen.* Am Ende der SES sollte ein Beschluss der ganzen Bundesregierung (und nicht nur einer des BMWK) stehen. Dies wird dem Anspruch an die SES gerecht und führt zu einer verbindlicheren Mitarbeit der anderen Ministerien im Prozess.
- *Kohärenzanspruch erfüllen.* Um dem Anspruch nach Kohärenz zu erfüllen, sollen in verschiedenen Fällen klare Prioritäten gesetzt werden.
- *SES zur Grundlage für nächste Szenariorahmen für NEP Gas und Strom machen.* Die nächsten Szenariorahmen für den NEP Gas und den NEP Strom werden 2024 Jahr erstellt. Für beide müssen die SES-Szenarien die verpflichtende Grundlage sein.
- *Kraftwerksstrategie mit SES verzahnen.* Die angekündigte Ausschreibung von „H₂-ready“-Gaskraftwerken erfolgt, ohne die Ergebnisse der SES abzuwarten. Hier muss jedoch eine enge Verzahnung beider Strategieprozesse erfolgen. Erst dann kann auf geringere Kapazitätsbedarfe, die sich im SES-Prozess ergeben könnten, angemessen reagiert werden.
- *Rückkopplung mit anderen Teil-Strategieprozessen sicherstellen.* Bisher ist der Abstimmungsprozess der SES mit anderen Strategieprozessen nicht geklärt. Hierfür sollte ein regelmäßig tagender Staatssekretär*innenausschuss eingerichtet werden.
- *Ankerpunkte strategisch setzen.* Um für nachgeordnete Prozesse verbindliche Inputparameter zu schaffen, müssen bestimmte (politisch gesetzte) Ankerpunkte festgelegt werden. Dazu gehören neben der Klimaneutralität im Jahr 2045 beispielsweise verbindliche Jahreszahlen für den Erdgas- und Kohleausstieg, ein klares Treibhausgasbudget entlang der Ausstiegspfade sowie eine Maximalmenge an nachhaltig importiertem Wasserstoff(-derivaten).
- *Keine inkohärenten Parallelprozesse schaffen.* Mit den „verbindlichen Transformation- und Investitionsplänen“ im Gebäudeenergiegesetz (GEG)-Kabinettsbeschluss wird ein neuer Planungsprozess für Wasserstoffnetze eingeführt, der keinen Bezug zur SES hat. Dies untergräbt den Kohärenzanspruch und sollte unterlassen werden.
- *Nichtlineare Entwicklungen frühzeitig antizipieren – SES agil organisieren.* Die Kostennahmen für Technologien für die Szenarienmodellierung liegen oft weit über den tat-

sächlichen Kosten. Daraus ergeben sich Entwicklungspfade, die weit jenseits der aktuellen Entwicklungen liegen. Dies gilt aktuell z.B. für die Photovoltaik und stationäre Speicher. Hier muss die SES agiler aufgestellt werden und den direkten Kontakt mit den Unternehmen und deren Verbänden aufnehmen.

Beteiligung effektiv steuern und nutzen

Die Beteiligung der Stakeholder am SES erfolgt bisher transparent und zufriedenstellend. Eine Bürger*innenbeteiligung ist allerdings nach den Planungen des BMWK nicht vorgesehen. Als Begründung wird "Zeitmangel" genannt. Damit verpasst das BMWK die Chance, der SES über eine Beteiligung von Bürger*innen, eine breitere Akzeptanzfähigkeit zu geben.

- *Kompetenzaufbauende Bürgerbeteiligung einführen.* Um über den fortwährenden SES-Prozess eine parallele Bürgerbeteiligungsstruktur zu etablieren, sollte eine dauerhafte kompetenzaufbauende Beteiligungsstruktur („SES Begleitgremium“) aufgebaut werden.
- *Einbindung von Unternehmen sicherstellen und aktiv herbeiführen.* Es sollte eine Struktur für die Beteiligung von Unternehmen und Unternehmer*innen aufgebaut werden. Über deren Einbindung kann das notwendige Praxiswissen einbezogen werden, um möglichst realitätsnahe Szenarien zu entwickeln.

Weitere flankierende Maßnahmen

Darüber hinaus schlagen wir folgende flankierende Maßnahmen vor, die die Umsetzung der Vorgaben der SES in der Fläche unterstützen bzw. erst ermöglichen.

- *Anforderungen an NEP Gas und NEP Strom parallelisieren.* Mit der SES gibt es eine gemeinsame Grundlage für die nächsten Szenariorahmen der NEP Strom und NEP Gas. Die gesetzlichen Grundlagen dafür sollten bis zum Ende des SES-Prozesses im EnWG geschaffen werden (identische Annahmen, Ausrichtung auf Klimaneutralität, Zieljahr 2045, keine Bedarfsabfragen als Grundlage usw.).
- *Einführung eines NEP Wasserstoff durch Akteur ohne wirtschaftliches Interesse.* Es sollte ein paralleles Verfahren zu den NEP Gas und Strom eingeführt werden, das auf derselben Szenariengrundlage beruht. Die Planung und Erstellung des NEP H₂ sollte durch einen Akteur erfolgen, der keine wirtschaftlichen Interessen am Betrieb eines H₂-Netz hat.
- *Regionale NEP für alle Stromverteilnetze erstellen.* Regionale NEP sollten für alle Stromverteilnetze erstellt werden, da auf dieser Systemebene die Hälfte der zu-künftigen PV-Kapazitäten sowie Wärmepumpen und Ladeinfrastruktur installiert wird. Um kleinere Verteilnetzbetreiber (VNB) nicht zu überfordern, sollte die Zusammenarbeit mit benachbarten VNB unterstützt werden.

- *Kommunale Wärmeplanung um regionale Gasnetzplanung erstellen.* Die Kommunale Wärmeplanung sollte um eine verpflichtende Gasverteilnetzplanung erweitert werden, bei welcher der Gasverteilnetzbetreiber kooperieren und seine Daten offenlegen muss. Um die Kommunen bei dieser Aufgabe zu unterstützen, sollte von Bund und Ländern eine kommunale Koordinationsstelle finanziert werden, welche die integrierte kommunale Netzplanung ermöglicht.
- *Speicherstrategie aufsetzen.* Um der Bedeutung von Speichern aller Größenklassen und Technologien (Strom, Wärme und Wasserstoff) für die Versorgungssicherheit und Systemstabilität gerecht zu werden, sollte in einer Speicherstrategie ein Fahrplan für den (weiteren) Hochlauf entwickelt werden.

Fazit

Die Systementwicklungsstrategie (SES) ist ein zentrales Instrument für eine Energiewendekompatible Infrastrukturplanung. Sie bedarf jedoch einer stärkeren Kohärenz in Bezug auf die übergeordneten Ziele, wie Klimaneutralität, und die rasche Beendigung fossiler Energieträger, als auch operativer Reformen zur Sicherung der Konsistenz aktueller Fehlentwicklungen. Ein aktuelles Beispiel ist die drohende Überbewertung von Investitionen in fossile Erdgaskraftwerke im Rahmen der Kraftwerkstrategie, die durch eine agile SES identifiziert und korrigiert werden sollte. Die SES kann auch zu einem Pilotprojekt für eine kompetenzaufbauende Bürgerbeteiligung werden.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung und Empfehlungen	I
Inhaltsverzeichnis	V
Abbildungsverzeichnis	VI
1 Einleitung	1
2 Energieinfrastrukturplanung.....	3
2.1 Entwicklung der Energieversorgung und Netzentwicklungsplanung	3
2.2 Status Quo der Netzentwicklungsplanung	5
2.3 Problemfelder der Netzentwicklungsplanung	7
3 Systementwicklungsstrategie (SES).....	11
3.1 Aktuelle Strategien der Bundesregierung und einzelner Ministerien zur Transformation des Energiesystems.....	11
3.2 Die Systementwicklungsstrategie als Weg zu einem ganzheitlichen Energiekonzept	13
3.3 Aktueller Stand der Systementwicklungsstrategie und offene Fragen	14
4 Empfehlungen zur Weiterentwicklung der SES	16
4.1 Transformation zur Sache der Bundesregierung machen	16
4.2 Kohärenzanspruch erfüllen	16
4.3 Nicht-lineare Entwicklungen frühzeitig antizipieren – SES agil organisieren	20
4.4 Beteiligung effektiv steuern und nutzen	23
4.5 Flankierende Maßnahmen.....	28
5 Fazit	30
6 Literatur	31

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Prognostizierte Gasbedarfsentwicklung im Szenariorahmen zum Netzentwicklungsplan Gas 2022-2032 und Gasbedarfsentwicklung aus den LNGplus-Varianten bis 2032.	6
Abbildung 2: Stromerzeugungskapazitäten, Bruttostromverbrauch sowie Wasserstoffbedarf und -importe im aktuellen Szenariorahmen zum Netzentwicklungsplan 2037.	6
Abbildung 3: Teilstrategien mit „Energiewendebezug“ und Vorschlag für institutionalisierte Begleitung	12
Abbildung 4: Vorschlag zum Zusammenspiel der Beteiligungsmöglichkeiten und der Prozessschritte (dena 2022, Abb. 22)	15

1 Einleitung

Mit der Entscheidung für ein klimaneutrales Energiesystem bis 2045 sowie der Forderung an die Bundesnetzagentur und die Netzbetreiber nach einer Berechnung für ein „Klimaneutralitätsnetz“ im Koalitionsvertrag 2021 (SPD, BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN UND FDP 2021, 60) geht die Energiewende in eine neue Phase. Die damit zusammenhängenden Aufgaben wurden erstmals im Koalitionsbeschluss im März 2023 konkretisiert (SPD, BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN UND FDP 2023), wobei größere Kontroversen deutlich wurden und die Maßnahmen als Ganzes von Expert*innen als noch nicht ausreichend für den Klimaschutz bewertet wurden (Expertenrat für Klimafragen 2023).

Die existenzgefährdende Klimakrise, die bereits heute am stärksten die Menschen des globalen Südens betrifft, begründet unmissverständlich die Notwendigkeit konsequenter sozial-ökologischer Transformationsprozesse (IPCC 2023). Gleichzeitig ist es durch den russischen Angriffskrieg auf die Ukraine und dem daraus resultierenden Ende fossiler Energieimporte aus Russland noch dringender geworden, das historisch gewachsene fossil-fossil¹ geprägte Energiesystem auf ein 100% erneuerbares Energiesystem umzustellen. Dazu kommt maßgeblich, dass sich in den vergangenen Jahren durch unterschiedliche gesellschaftliche Prozesse auch die Anforderungen an Bürger*innenbeteiligung und Generationengerechtigkeit erhöht haben (BVerfG 2021). Die Bundesregierung steht vor der Aufgabe, die Transformation unseres Energiesystems wie auch anderer Wirtschafts- und Gesellschaftsbereiche (Verkehr, Landwirtschaft oder Landnutzung) in sehr kurzer Zeit politisch umsetzen zu müssen. Nachdem im letzten Jahr vor allem die Krisenbewältigung im Vordergrund stand, sollen in diesem Jahr im Energiebereich viele für die nächsten Jahre und Jahrzehnte wichtige Entscheidungen getroffen werden.

Die bisherige Energieinfrastrukturentwicklung wird diesen Anforderungen noch nicht gerecht. Auch der Bezug zur europäischen Netzentwicklungsplanung ist problematisch, weist diese doch noch große Mengen fossiler Energien (Kohle, vor allem fossiles Erdgas, auch Erdöl) sowie Atomenergie auf, die mit den Zielen der Energiewende nicht kompatibel sind (CAN Europe 2019; ENTSO-E und ENTSO-G 2022).

¹ Fissil bedeutet „spaltbar“ und beschreibt die Energienutzung, welche auf der Spaltung von Atomen – also der Atomenergie – beruht.

In dieser Studie analysieren wir den aktuellen Prozess der Energieinfrastrukturentwicklung und identifizieren strategischen und organisatorischen Reformbedarf. Zum anderen geben wir konkrete Hinweise für die Ausgestaltung einer energiewende-tauglichen Energieinfrastrukturentwicklung, die sich strikt an der Einhaltung der Pariser Klimaziele und einem abgeleiteten CO₂-Budget orientiert (SRU 2022).² Die Studie beruht auf einer langjährigen Beschäftigung mit der Energiesystemmodellierung und der Ausgestaltung von Organisationsmodellen der Strom- und Gas-Netzentwicklungsplanung sowie Erkenntnissen aus der Transformationsforschung und Austausch mit praxisnahen Expert*innen, Akteuren und Stakeholdern der Energiewende.

Die Analyse erfolgt qualitativ, wobei auch Vorschläge für eine modellbasierte Umsetzung diskutiert werden. Eingangs erfolgt eine kritische Einordnung der historischen und aktuellen Vorgehensweise der Energieinfrastrukturentwicklung, speziell der Netzentwicklungsplanung für Strom und Gas (Abschnitt 2). Darauffolgend werden die aktuellen Änderungen und Verbesserungen sowie der Vorschlag für eine Systementwicklungsstrategie (SES) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), welche sich bereits in den ersten Zügen der Umsetzung befindet, diskutiert (Abschnitt 3). Abschließend zeigen wir Empfehlungen zur konkreten Ausgestaltung und Weiterentwicklung des Prozesses der SES auf (Abschnitt 4) und enden mit einem Fazit (Abschnitt 5).

² Nach aktuellen Berechnungen hat Deutschland ein CO₂-Budget von 3,1 Gigatonnen, wenn mit einer Wahrscheinlichkeit von 50% das 1,5 Grad Ziel eingehalten werden soll. Bei linearer Emissionsreduktion wäre dieses Budget 2031 aufgebraucht (SRU 2022)

2 Energieinfrastrukturplanung

Dieser Abschnitt beschreibt kurz den historischen und bestehenden Energieinfrastrukturentwicklungs- und -Planungsprozess. Darauf aufbauend werden die Problemfelder der aktuellen Energieinfrastrukturentwicklung aufgezeigt, z.B. die mangelnde Berücksichtigung von Klimazielen, die Gefahr des Aufbaus fossiler Überkapazitäten, der unzureichende Einbezug der Sektorenkopplung und die mangelnde Integration von Praxiswissen und technischen (dynamisch, nichtlinear verlaufenden) Entwicklungen.

2.1 Entwicklung der Energieversorgung und Netzentwicklungsplanung

Infrastruktur hat in jedem Wirtschaftssystem eine „dienende“ Funktion, d.h. sie unterstützt die von der Infrastrukturplanung bzw. deren Vorgaben festgelegten übergeordneten gesamtwirtschaftlichen bzw. energiewirtschaftlichen Ziele, z.B. Versorgungssicherheit oder Regionalentwicklung. Daher ist weniger die Quantität, d.h. die Menge des Infrastrukturausbaus, von Bedeutung als die Qualität, d.h. die Fähigkeit der jeweiligen Infrastruktur, gesetzte Ziele tatsächlich zu unterstützen, und dies möglichst kostengünstig. Zu viel Infrastruktur kann sowohl zu ineffizienten Ressourcenallokationen führen (Hirschman 1967), als auch zur Steigerung bestehender, umwelt- und klimaschädlicher Erzeugungsstrukturen beitragen, z.B. der in den 2010er Jahren geplante Netzausbau zum Export von Braunkohlestrom aus der Lausitz oder anderswo (Hirschhausen und Oei 2013; Mieth, Gerbaulet, u. a. 2015).

Grundsätzlich fanden bisher Planungsprozesse für Strom- und Gasinfrastruktur getrennt innerhalb der einzelnen Infrastruktursektoren statt, d.h. getrennt nach den Energieträgern Strom und Gas. Das 1935 eingeführte Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) zielte auf den Aufbau einer flächendeckenden und sicheren Energieversorgung ab. Historisch wurde die Versorgung mit Strom und Gas von vertikal integrierten Energieversorgungsunternehmen sichergestellt. Die auskömmliche Verzinsung des eingesetzten Kapitals, in Verbindung mit einer Risikoaversion gegenüber Leitungsausfällen, führten somit früher zu einer sehr umfangreichen Energieinfrastruktur, die weitgehend engpassfrei betrieben wurde (Boll 1969; Gerbaulet 2018). Dies sorgte dafür, dass die bestehenden fossilen und fossilen Kraftwerke ohne Berücksichtigung von Netzengpässen betrieben werden konnten.

Auch nach der Trennung von Infrastruktur und Erzeugung bzw. Verbrauch (das sogenannte Unbundling) spielten Klimaziele für eine lange Zeit keine Rolle bei der Netzentwicklungsplanung. Ende des 20. Jahrhunderts wurden die Märkte für Strom und Gas zunehmend dereguliert und liberalisiert. Dadurch sollte ein europäischer Binnenmarkt entstehen. Die Energieerzeu-

gung und der Vertrieb sollten vom natürlichen Monopol des Energietransportes getrennt werden. Nach ersten Anfängen im Energiewirtschaftsgesetz 1998 wurde mit der Novellierung des EnWG im Jahr 2011 schlussendlich die eigentumsrechtliche Entflechtung der Transportnetzbetreiber gesetzlich geregelt, die von diesem Zeitpunkt an eigenständige, aber regulierte Unternehmen waren. So entstanden die deutschen Übertragungsnetzbetreiber Strom (ÜNB) und die Fernleitungsnetzbetreiber Gas (FNB), die aktuell für die Durchführung der Infrastrukturplanung im Bereich Strom und Gas verantwortlich sind.

Seit der EnWG-Novelle im Jahr 2011 müssen die vier deutschen ÜNB und die 16 deutschen FNB alle zwei Jahre einen Netzentwicklungsplan vorlegen, der den Um- und Ausbaubedarf im Strom-Übertragungsnetz und Gas-Fernleitungsnetz darstellt. Die Netzentwicklungspläne basieren auf unterschiedlichen Szenarien für eine zukünftige Entwicklung der Erzeugung und des Verbrauchs von Strom³ und Gas.⁴ Erst auf Druck der Zivilgesellschaft und der Wissenschaft wurden 2014 erstmals Klimaschutzziele in den Szenariorahmen für den NEP Strom 2015 aufgenommen, und selbst dort nur in drei der sechs Szenarien.⁵ Der von der Bundesnetzagentur (BNetzA) am 19. Dezember 2014 genehmigte Szenariorahmen 2025 enthielt erstmals gegenüber dem Entwurf der Übertragungsnetzbetreiber deutlich geringere Braunkohlekapazitäten (Mieth, Weinhold, u. a. 2015, 95).

Trotzdem hinkte die Netzentwicklungsplanung lange den politischen Forderungen nach Klimaschutz nach. Erst im aktuell vorliegenden Szenariorahmen 2022 (50Hertz Transmission GmbH u. a. 2023) für die Stromnetzentwicklung ist erstmals ein ernsthafter Paradigmenwechsel zu erkennen und die Treibhausneutralität 2045 wurde als Ziel integriert. Dem entgegen steht der

³ Für Strom ist im EnWG ein dreistufiges Bedarfsplanungsverfahren festgelegt, dass aus Szenariorahmen, Netzentwicklungsplan und Bundesbedarfsplan besteht. Im ersten Schritt wird ein Szenariorahmen mit wahrscheinlichen Entwicklungen für die nächsten zehn Jahre veröffentlicht und konsultiert. Dieser ist die Grundlage für Strommarkt- und Netzsimulationen der ÜNBs im zweiten Schritt. Im dritten Schritt wird der ermittelte Netzausbaubedarf nach einer strategischen Umweltprüfung in den Bundesbedarfsplan aufgenommen.

⁴ Bei Gas gibt es aktuell keine gesetzliche Vorgabe zu einem Szenariorahmen, sondern der Netzentwicklungsplan muss sich lediglich am Bedarf orientieren. Trotzdem besteht das aktuelle Verfahren zum NEP Gas aus drei Schritten: (1) Einem Szenariorahmen, der die Grundlage für die Modellierungen der Fernleitungsnetzbetreiber darstellt. (2) Nach einer öffentlichen Konsultation wird darauf aufbauend ein Netzentwicklungsplan Gas erstellt, der zuerst der Öffentlichkeit und anschließend der Bundesnetzagentur zur Konsultation vorgelegt wird. (3) Abschließend erfolgt eine Bestätigung durch die Bundesnetzagentur und die Veröffentlichung des fertigen Netzentwicklungsplan Gas.

⁵ Vgl. Mieth et al. (2015) mit Bezug auf wissenschaftlichen Input in die Kommentare des Szenariorahmen 2025 des NEP Strom 2015: Gemeinsame Stellungnahme von DIW Berlin und Lehrstuhl für Wirtschafts- und Infrastrukturpolitik TU Berlin in Ihlenburg, R. et al. (2014); Stellungnahme zum Szenariorahmen 2025 des Netzentwicklungsplan Strom 2015. Vom 30. April 2014, Berlin; Jarass, L. (2013): Stromnetzausbau für erneuerbare Energien erforderlich oder für unnötige Kohlestromeinspeisung? EWeRK, Zeitschrift für Energie- und Wettbewerbsrecht, Heft 6/2013; sowie Flachsbarth, F. et al. (2014): Ein Netz für die heutige Welt oder für die Welt von morgen? Kommentierung des NEP-Szenariorahmens 2015, Freiburg, Öko-Institut, 23. Juni 2014.

Szenariorahmen Gas, in welchem diese Prämissen noch keine Beachtung finden (FNB Gas 2022a).

2.2 Status Quo der Netzentwicklungsplanung

Nach dem russischen Angriff auf die Ukraine und der damit verbundenen Auswirkungen auf die Erdgasversorgung wurde dieser Szenariorahmen teilweise wieder zurückgezogen. Die Bundesnetzagentur (BNetzA) hat in Abstimmung mit den Fernleitungsnetzbetreibern drei Modellierungsvarianten (LNG- und LNG-Versorgungssicherheitsvarianten sowie Wasserstoffvariante) entwickelt, welche ab September 2022 den bestehenden Szenariorahmen ergänzt haben (FNB Gas 2022b) und somit in den Entwurf des Netzentwicklungsplan 2022-2032 einfließen konnten (FNB Gas 2023).

Die aktuelle Gasbedarfsentwicklung aus dem Szenariorahmen für den NEP Gas 2022-2023 (FNB Gas 2023) und die ergänzte Gasbedarfsentwicklung der LNGplus-Versorgungssicherheitsvarianten sind in Abbildung 1 dargestellt. Die Fernleitungsnetzbetreiber gehen bei den Modellierungen für die drei LNGplus-Versorgungssicherheitsvarianten von einer Reduktion von 20 % bis zum Jahre 2032 gegenüber 2021 aus. Diese Reduktion ist durch die Annahme einer 15 % Erdgasreduktion und einer 5 % Substitution durch Wasserstoff begründet. Der Gesamtgasbedarf deckt sich damit annähernd an die Gasbedarfsentwicklung aus dem NECP Szenario, welches bereits im Szenariorahmen berücksichtigt wurde. Jedoch übersteigen die Vorhersagen deutlich den berechneten Verbrauch aus aktualisierten Szenariorechnungen sowie weiterer relevanter Klimaneutralitätsszenarien (Agora Energiewende 2023) und sind daher deutlich zu hoch angesetzt.

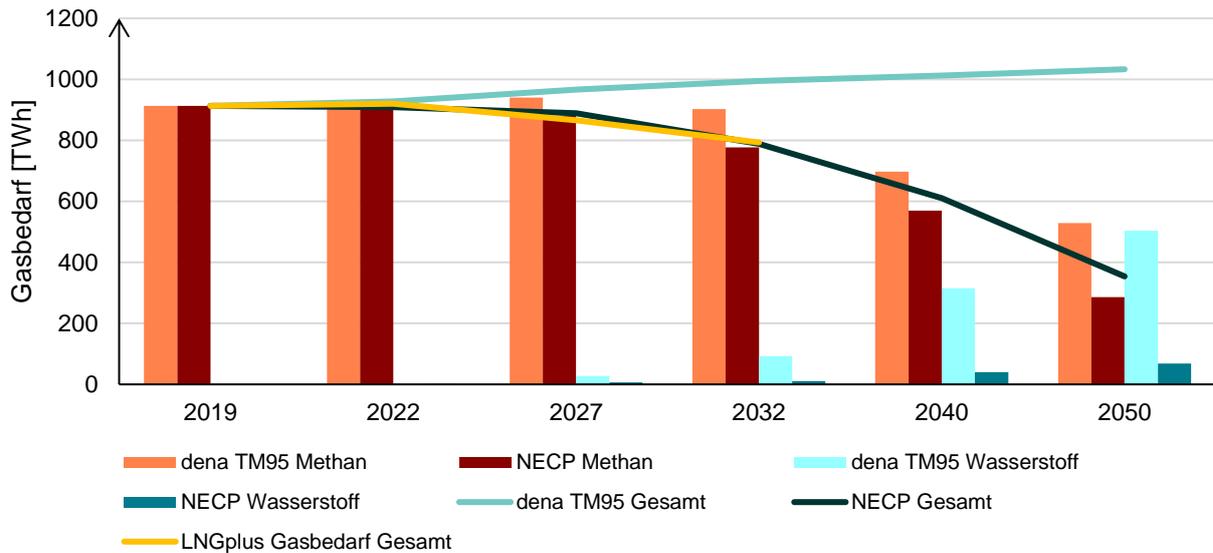


Abbildung 1: Prognostizierte Gasbedarfsentwicklung im Szenariorahmen zum Netzentwicklungsplan Gas 2022-2032 und Gasbedarfsentwicklung aus den LNGplus-Varianten bis 2032.

Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 2 zeigt die quantitativen Eckpunkte des aktuellen Szenariorahmen für den NEP Strom Quelle: (50Hertz Transmission GmbH u. a. 2023). Der Szenariorahmen beinhaltet drei Szenarien bis 2037 (A, B, C) und zwei Szenarien, die eine mögliche Ausgestaltung eines klimaneutralen Energiesystems im Jahr 2045 abbilden (A, B/C).

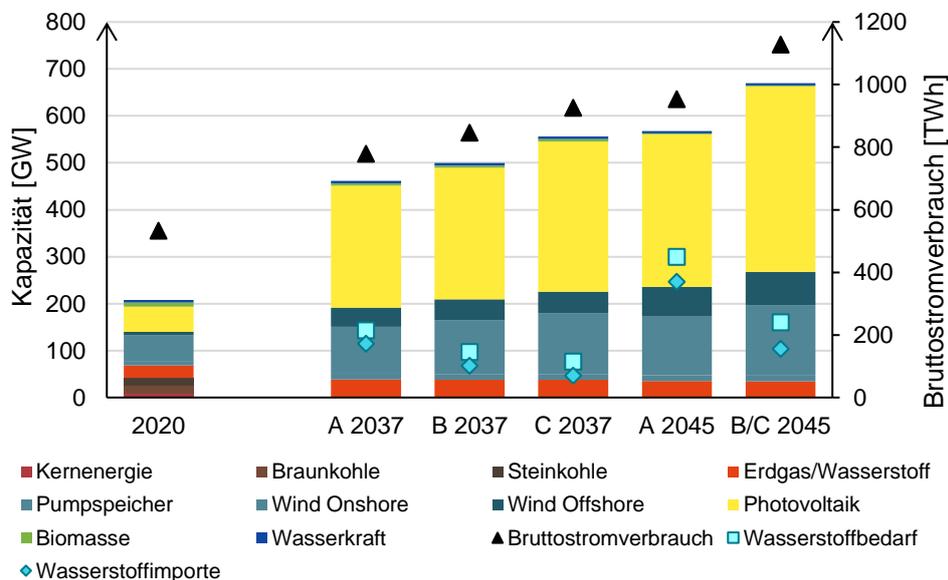


Abbildung 2: Stromerzeugungskapazitäten, Bruttostromverbrauch sowie Wasserstoffbedarf und -importe im aktuellen Szenariorahmen zum Netzentwicklungsplan 2037.

Quelle: Eigene Darstellung.

Die aktuelle Herangehensweise des sukzessiven Ausstiegs aus der fossil-fossilen Energienutzung ist aus einer kurzfristigen, operativen Sicht auf das Energiesystem zwar sinnvoll. Gleichzeitig ist die alle zwei Jahre erfolgende Szenarientwicklung aber stets politischen Schwankungen ausgesetzt und daraus resultierende Entscheidungen bergen die Gefahr, dass dieser Prozess „nicht-energiewendedienliche“ Pfadabhängigkeiten stärken kann. Ein historischer Fall war der Netzausbau aus den Braunkohlerevieren, der schlussendlich zu einem steigenden Export von Braunkohlestrom führte (Hirschhausen und Oei 2013; Mieth, Gerbaulet, u. a. 2015) und so hinderlich für eine konsequente Energiewende wirkte. Ein analoges Beispiel aus der Gegenwart ist der Ausbau der deutschlandweiten Infrastruktur zur Aufnahme von importiertem Flüssiggas in deutschen Häfen, welches einer nachhaltigen Systementwicklungsstrategie entgegensteht (Holz u. a. 2023).

2.3 Problemfelder der Netzentwicklungsplanung

Im Folgenden werden die Problemfelder der aktuellen Netzentwicklungsplanung identifiziert. Diese beziehen sich hauptsächlich auf einen mangelnden Einbezug von Klimazielen und Aufbau fossiler Kapazitäten, dem Fehlen einer integrierten und quantitativen Gesamtsystemmodellierung, dem Ausbau der Wasserstoffinfrastruktur und auf Beteiligungsaspekte.

Fossile Überkapazitäten

Mit dem Angriffskrieg Russlands auf die Ukraine und den damit zusammenhängenden Veränderungen der geopolitischen Lage, hat Deutschland sich entschieden, große Kapazitäten für LNG-Terminals aufzubauen (Holz u. a. 2022). Dafür haben die Fernleitungsnetzbetreiber anhand der Vorgaben der Bundesnetzagentur (BNetzA) die LNG-Varianten im Szenariorahmen 2022-2032 (FNB Gas 2021a) dahingehend erweitert, dass eine komplette Substituierung russischer Erdgasimporte dargestellt werden kann („LNGplus-Varianten“). Der damit zusammenhängende Aufbau von LNG-Importkapazitäten läuft Gefahr, dass russische Erdgasmengen nicht nur substituiert werden, sondern durch weit höhere fossile Importkapazitäten überkompensiert werden. Im Falle der Umsetzung der „LNGplus A-Variante“ droht mit einer LNG-Einspeiseleistung von 182 GWh/h sogar eine bilanzielle Überdeckung von 87 GWh/h. Aufgrund dessen raten die FNBs in ihrer Konsultation vor dieser Variante ab (FNB Gas 2022c, 58, 112) und berücksichtigen diese auch nicht im aktuellen NEP Gas Entwurf (FNB Gas 2023).

Weiter stellen die FNB im aktuellen Zwischenstandbericht des Netzentwicklungsplan Gas 2022-2032 fest, dass ihre Gasinfrastruktur bis 2045 aufgrund der europäischen Klimaschutzziele nur noch eingeschränkt nachgefragt wird und zusätzlicher (politisch angeordneter) Zubau zu sog.

„Stranded-Assets“⁶ führen wird, da Amortisationen erst frühestens 2080 erreicht werden können (FNB Gas 2022a, 112). Daher wird bereits jetzt gefordert, dass LNG-Projekte als „Vorhaben der nationalen Sicherheit“ gelten, öffentlich-rechtliche Genehmigungsprozesse verkürzt werden müssen und dass die BNetzA die Ausbauvorhaben als „dauerhaft betriebsnotwendig“ im Sinne des EnWG und als „dauerhaft effizienter Netzausbau“ beurteilt (FNB Gas 2022a, 112 ff.). Weiter wird die Anpassung der kalkulatorischen Nutzungsdauer bis maximal ins Jahr 2045 gefordert, um den Netzbetreibern eine wirtschaftliche Planbarkeit zu ermöglichen. Damit werden erhebliche staatliche Subventionen für fossile Infrastruktur gefordert und Pfadabhängigkeiten sowie klimatische- und ökonomische Risiken geschaffen (Kemfert u. a. 2022). Zusammen mit den zu hohen Annahmen der Gasbedarfsentwicklung im aktuellen NEP konterkariert dies nicht nur die Ziele der Bundesregierung hinsichtlich einer breiten Elektrifizierung und dem Rückgang des Gasbedarfs. Auch den Prognosen aktueller Klimaneutralitätsszenarien, die einen deutlich geringeren Gesamtgasbedarf bis 2030 berechnen, steht der NEP 2022-2032 entgegen (Deutsche Umwelthilfe 2023; Agora Energiewende 2023).

Kein umfassender Einbezug von Klimazielen

Die derzeit betrachteten Szenarien der Netzentwicklungspläne enthalten keine konsequente und konsistente Berücksichtigung von Klimazielen. Der Szenariorahmen des NEP Gas basiert auf Kapazitätsreservierungen/ Kapazitätsausbauansprüchen (FNB Gas 2021b), die durch Markt-abfragen eingeholt werden und in welchen nationale Klimaziele keine Rolle spielen. Die Szenarien für die Gasbedarfsentwicklungen beinhalten zwar nachgelagert Klimaziele, diese werden allerdings in der Netzmodellierung nicht mehr berücksichtigt (FNB Gas 2021a).⁷ Lediglich die Anmeldung von Gasprojekten und die Zahlung einer Reservierungsgebühr sowie der Nachweis der tatsächlichen Umsetzung treibt den Ausbau neuer Erdgasleitungen voran. Tiefere Risiken,⁸ die mit der Nutzung von Erdgas einhergehen (Kemfert u. a. 2022) werden weder im NEP Gas noch im NEP Strom ausreichend berücksichtigt. Im Gegensatz zum NEP Gas berücksichtigt der NEP Strom seit 2015 nationale Klimaziele. Der letzte NEP Strom berücksichtigt in allen Szenarien eine Beschränkung der CO₂-Emissionen auf 120 Mio. t CO₂ im Zieljahr 2035 und

⁶ „Stranded Assets“ beschreiben Vermögenswerte, „die durch unvorhergesehene oder vorzeitige Abschreibungen, Abwertungen oder Umwandlungen in Verbindlichkeiten beeinträchtigt wurden“ (Caldecott u. a. 2016; Löffler u. a. 2019).

⁷ In der Netzmodellierung der FNBs gibt es keinen direkten Bezug zu den Gasbedarfsszenarien. Die „Klimaschutzziele werden somit nicht in vollem Umfang berücksichtigt“ (FNB Gas 2021b, S. 92).

⁸ z.B. die tatsächliche Klimawirksamkeit von Erdgas durch Berücksichtigung von Vorkettenemissionen, Verschärfung von fossilen Lock-In Effekten und die Gefahr von ökonomischen Klimarisiken wie der frühzeitige Wertverlust von Vermögenswerten. Siehe dazu (Ahmels u. a. 2021)

60 Mio. t CO₂ im Zieljahr 2040. Übergreifend fehlt allerdings die Berücksichtigung eines gemeinsamen CO₂-Budgets für die integrierte Infrastruktur des Strom- und Gasnetzes.

Keine integrierte Modellierung

Aktuell läuft die Netzentwicklungsplanung immer noch getrennt für die Sektoren Strom und Gas. Durch die Zersplitterung der Prozesse für Strom und Gas wird die Energiesystemperspektive vernachlässigt und dadurch das Flexibilitätspotential der Sektorenkopplung nicht berücksichtigt. Durch das Ausschöpfen dieses Potentials könnte der notwendige Infrastrukturbedarf insb. für Erdgaskraftwerke erheblich sinken. Die ÜNB berücksichtigen die steigende Sektorenkopplung bereits unter Einbezug von quantitativen, jedoch statischen Annahmen zur Entwicklung bei Wärmepumpen und Elektromobilität (50Hertz Transmission GmbH u. a. 2023). Aktuelle Forschung zeigt, dass eine integrierte Betrachtung aller Sektoren ein erhebliches Flexibilitätspotential für die Transformation des Energiesystems aufweist (Kendziorzki u. a. 2022). Diese intelligente und vernetzte Betrachtung der Sektorenkopplung fehlt im aktuellen Prozess der Netzentwicklungsplanung.

Kein systemdienlicher Ausbau von Wasserstoffinfrastruktur

Die getrennte Betrachtung von Strom und Gas führt zu Unklarheiten und damit zu potenziellen Fehleinschätzungen der zukünftigen Rolle von Wasserstoff, die Fehlplanungen von Wasserstoffinfrastruktur zur Folge haben können (Braunger, Grüter, und Präger 2021). Die Verfügbarkeit von erneuerbar erzeugtem Wasserstoff erfolgt aktuell stark annahmegetrieben und auf Basis politischer Zielsetzungen, wie beispielsweise der nationalen Wasserstoffstrategie (Bundesregierung 2020). Es existiert im Rahmen der aktuellen Netzentwicklungsplanung keine sektorübergreifende Abschätzung, wieviel Wasserstoff inländisch erneuerbar hergestellt oder realistisch importiert werden kann.

Vor dem Netzausbau muss eine quantitative Abschätzung stattfinden, wieviel Wasserstoff inländisch aus erneuerbaren (prioritär Überschuss-) Strom erzeugt werden kann und wieviel Wasserstoff importiert werden kann und soll⁹ – sowohl vor dem Hintergrund sozial-ökologischer und klimaethischer Aspekte von Wasserstoffimporten als auch vor dem Hintergrund der Importabhängigkeit außereuropäisch erzeugter Energieträger. Diese quantitativen Abschätzungen sind noch nicht vorhanden. Trotzdem fordern die FNB im aktuellen Zwischenstand zum Netzentwicklungsplan Gas nun einen „technologieoffenen Ansatz, der einen Einsatz von Wasserstoff

⁹ Erste Berechnungen dahingehend finden sich bereits im NEP Strom 2037 / 2045 (50Hertz Transmission GmbH u. a. 2023).

in allen Sektoren ermöglicht“ (FNB Gas 2022a, 165). Dies widerspricht zum einen wissenschaftlichen Einschätzungen (Sachverständigenrat für Umweltfragen 2021), noch ist diese Forderung Kompetenzbereich der FNB. Daher kann dies als Strategie zur Rettung der eigenen Infrastruktur und der damit zusammenhängenden Geschäftsmodelle gewertet werden.

Agilität vs. Planungssicherheit

Ein weiteres Spannungsfeld in der Energieinfrastrukturentwicklung befindet sich in der Abwägung Agilität vs. Planungssicherheit. Die im Rahmen der NEPs verabschiedeten Maßnahmen bilden den "kleinsten gemeinsamen Nenner" zwischen verschiedenen Szenarien. Eine strategische Planung, die auf verschiedene mögliche Szenarien ausgerichtet ist, ist aber nicht erlaubt bzw. noch nicht darstellbar. Dem gegenüber ist es so, dass Investitionen in Energieinfrastruktur langfristige Investitionen sind, die daher entsprechend abgesichert sein müssen bzw. die Notwendigkeit und Nutzbarkeit der Infrastruktur muss auch über die komplette Nutzungsdauer gegeben sein. Speziell fossile Infrastrukturen wie Erdgasheizungen oder LNG-Terminals laufen Gefahr, über die Investitionsdauer aus Klimaschutzgründen vorzeitig stillgelegt werden zu müssen (Kemfert u. a. 2022; Löffler u. a. 2019). Daher muss eine Strategie entwickelt werden, die diese Problemstellungen frühzeitig antizipiert und Planungssicherheit (durch z.B. no-regret-Optionen)¹⁰ herstellen kann. Dies ist, neben technischen- und ökonomischen Fragestellungen, ein gesamtgesellschaftlicher Aushandlungsprozess. Wollen wir als Gesellschaft ein paar Jahre länger mit Erdgas heizen oder Verbrennungsmotoren nutzen auf die Gefahr hin, durch heutige Fehlinvestitionen Ausgleichszahlungen in Kauf zu nehmen? Oder investieren wir besser gleich in zukunftsfähige Energieinfrastrukturen, was mit einem gesteigerten Transformationsdruck auf die Gesellschaft einhergehen würde?

¹⁰ „No-regret-Optionen“ beschreiben Maßnahmen, welche mit großer Sicherheit benötigt werden und die nicht Gefahr laufen, unzureichend ausgelastet (und damit unwirtschaftlich) oder gar überflüssig zu sein.

3 Systementwicklungsstrategie (SES)

Die Systementwicklungsstrategie ist der erste wichtige Schritt in Richtung integrierter Energieinfrastrukturentwicklung, welche sich den komplexen und gesellschaftlich umkämpften Aufgabenfelder der sozial-ökologischen Transformation zuwendet.¹¹ Die Infrastrukturentwicklung des 21. Jahrhunderts ist geprägt durch die Ausrichtung auf Klimaziele und Versorgungssicherheitsaspekte. Dies steht im Gegensatz zum Neubau, Ausbau, Umbau und Bestandsoptimierung, welche die bisherige Regulatorik und dementsprechend die Geschäftsmodelle der Netzbetreiber prägen. Um die Vielfalt der verschiedenen Aufgaben zu ordnen, bedient sich insbesondere das BMWK sinnvollerweise der Formulierung von Strategien. Darin werden Ziele und Maßnahmen festgelegt, die notwendig sind, um übergeordnete politisch Ziele zu erreichen. Die Ausgestaltung des Transformationspfades hin zur Klimaneutralität 2045 wird durch unterschiedliche Strategien, meist brennstoff- oder sektorbezogen, koordiniert.

3.1 Aktuelle Strategien der Bundesregierung und einzelner Ministerien zur Transformation des Energiesystems

Das derzeit gültige Energiekonzept der Bundesregierung stammt aus dem Jahr 2010 (BMWi 2010). Diese beinhaltet z. B. noch die Laufzeitverlängerung für Kernkraftwerke oder einen EE-Anteil an der Stromversorgung von 80 % im Jahr 2050.

Diese konzeptionelle Lücke versucht das BMWK mit verschiedenen Teil-Strategien bzw. strategischen Prozessen mit Energiewendebezug zu schließen. Dabei lassen sich zwei Zielorientierungen erkennen: Entweder sollen konkrete technisch-systemische (Mengen-)Ziele erreicht und die dafür notwendigen Maßnahmen benannt werden (Kraftwerks-, Solar- oder Gebäudestrategie). Oder es soll der institutionelle Rahmen gestaltet werden, um bestimmte technisch-systemische Entscheidungen treffen zu können (Kommunale Wärmeplanung, Plattform Klimaneutrales Stromsystem). Ohne Anspruch auf Vollständigkeit sind die Teil-Strategieprozesse in Abbildung 3 aufgeführt.

¹¹ Sozial-ökologischen Transformationsprozesse sind z.B. der Kohleausstieg (Stognief u. a. 2020; Oei u. a. 2020), der Erdgasausstieg (von Hirschhausen, Kemfert, und Praeger 2022), die Atomwende (Präger, Brunnengräber, und von Hirschhausen 2023), der Aufbau einer (erneuerbaren) Wasserstoffwirtschaft (Braunger, Grüter, und Präger 2021) oder auch die Nährstoffwende (Greta Sundermann u. a. 2021).

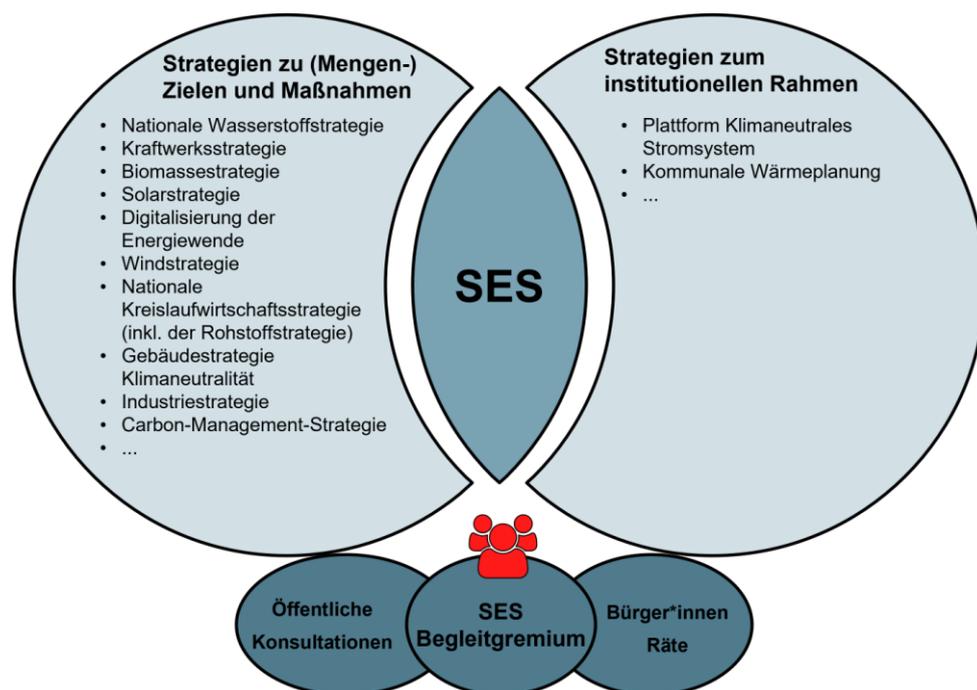


Abbildung 3: Teilstrategien mit „Energiewendebezug“ und Vorschlag für institutionalisierte Begleitung

Quelle: Eigene Darstellung.

Dabei fällt es schwer nachzuvollziehen, welches Thema in welcher Strategie mit welchem Zeithorizont besprochen wird. Auch ist unklar, wie z.B. Energiespeicher (insbesondere Batteriespeicher) oder Flexibilität aus dem Mobilitätssektor und der Industrie in den Strategien eingebettet sind. Obwohl es sich um Kurzfristflexibilitäten mit absehbar deutlich zweistelligen Gigawatt-Größenordnungen mit erheblichem Einfluss auf Systemauslegung und Infrastrukturplanung handelt, fehlt eine umfassende Speicher-Strategie bisher gänzlich (siehe Box 2).

Bis jetzt werden die zahlreichen Teil-Strategien parallel diskutiert, ohne eine zeitliche oder organisatorische Hierarchie. Dies ist nicht nur für die Koordination und Organisation ungünstig. Auch die Beteiligungsmöglichkeiten für Bürger*innen und andere Interessensgruppen wird sehr unübersichtlich, da an unterschiedlichen Stellen Ansatzpunkte zur Beteiligung bestehen. Eine übergreifende Bündelung und Institutionalisierung der Beteiligung in der SES (z.B. durch ein „SES Begleitgremium“, siehe Box 3) kann dabei helfen, zum einen den Zugang zur Beteiligung zu erleichtern. Zum anderen aber auch die Chance bieten, die Ressource „Beteiligung“ nachhaltiger organisieren zu können – sowohl selbstorganisiert als auch unterstützend. Die SES kann dafür der Ort für ein ganzheitliches Beteiligungskonzept werden, wie in Abbildung 3 angedeutet.

3.2 Die Systementwicklungsstrategie als Weg zu einem ganzheitlichen Energiekonzept

Im Oktober 2022 hat das BMWK erstmals einen Vorgang zur Erstellung einer SES und deren Einbettung in die Energieinfrastrukturentwicklung vorgestellt. Die Energieinfrastrukturentwicklung ist aufgrund der Intersektoralität, die im Zuge der Sektorenkopplung und der zunehmenden Elektrifizierung weiter zunimmt, mit hohem Planungs- und Koordinierungsaufwand verbunden. Das grundsätzlich Investitionen in die Energieinfrastruktur notwendig sind, ist unumstritten. Je nachdem auf welcher Ebene die Investitionen stattfinden, können sie die Ausgestaltung des Transformationsprozesses vorbestimmen und damit dienliche- und nicht-dienliche Auswirkungen nach sich ziehen.¹² Dies kann im negativen Fall der Fehlplanung zu gestrandeten Investitionen führen und einen hohen volkswirtschaftlichen Schaden anrichten.¹³

Die SES hat daher den Anspruch „die Kohärenz der verschiedenen Strategien und Programme im Sinne eines preisgünstigen, verbraucherfreundlichen, effizienten, umweltverträglichen und klimaneutralen Gesamtsystems“ zu gewährleisten und damit den Rahmen für nachgelagerte Prozesse (z.B. Netzentwicklungspläne Strom, Gas und Wasserstoff) vorzugeben (BMWK 2022b).¹⁴

Die SES besteht aus drei aufeinander aufbauenden Elementen:

1. Ein **Strategisches Leitbild** und eine **Transformationsstrategie** werden vom BMWK auf Grundlage der Langfristszenarien sowie nach Konsultationen mit einem Stakeholder Plenum sowie der Öffentlichkeit entwickelt.
2. Eine **Sektoren- und Programmkoordination** definiert quantitative Eingangsgrößen sowie Rahmenbedingungen für untergeordnete Strategien und Prozesse, wie z.B. der Netzentwicklungspläne oder der Energiewende-Strategien.
3. Die Identifikation von **weiterem Analysebedarf** beschäftigt sich mit Unsicherheiten und F&E-Bedarf.

Der SES-Prozess wird in drei Phasen durchlaufen. Während die Phase A der Entwicklung des strategischen Leitbildes gilt, wird in Phase B die Transformationsstrategie anhand des Leitbildes und einer Überarbeitung der Langfristszenarien abgeleitet. Phase C dient der Finalisierung und Veröffentlichung des Leitbildes und der Strategien. Nach der Erarbeitung der Sektoren- und Programmkoordination sowie dem weiteren Analysebedarf wird die SES veröffentlicht (BMWK

¹² Ein Beispiel dafür wären Geschäftsmodelle für Flexibilität und Netzengpassbewirtschaftung mit Speichern und Lastmanagement, die ab einem bestimmten Punkt des Netzausbaus unwirtschaftlich werden können.

¹³ So zum Beispiel der Bau der Nord Stream Pipelines und die damit geschaffenen Abhängigkeiten (Neumann u. a. 2018).

¹⁴ Siehe dazu: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/ses.html>

2022b). Durch die Entwicklung der SES ist (erstmalig) ein wirklicher Fortschritt in der Energieinfrastrukturentwicklung geschaffen. Offen ist, ob sich die SES als neue Plattform und übergeordnete Institution („nicht noch eine Strategie“) zur Vereinigung und Koordinierung aller parallellaufender Energiewende-Strategien etablieren wird.

3.3 Aktueller Stand der Systementwicklungsstrategie und offene Fragen

Die SES wird durch das BMWK in einem Prozess unter Einbindung der Öffentlichkeit erstellt. Die wissenschaftliche Beratung des BMWK wird durch das Konsortium der BMWK-Langfristszenarien übernommen. Der Prozess der SES hat mit der Vorstellung der aktuellen Langfristszenarien T45 im November 2022 begonnen (Senfuß 2022). Anhand dieser Szenarien wird die Deutsche Energie Agentur (dena) im Auftrag des BMWK in einem Stakeholderbeteiligungsprozess bis zum Sommer 2023 ein Leitbild erarbeiten. Die SES soll dann fortlaufend in einem iterativen Prozess alle vier Jahre überarbeitet werden. Es ist bisher nicht geklärt, was das genau bedeutet. Es stellen sich folgende Fragen:

- Werden die Langfristszenarien einer Überprüfung unterzogen und angepasst?
- Wie fließen die Ergebnisse der anderen Strategieprozesse in die SES ein, und umgekehrt, die Ergebnisse der überarbeiteten SES in andere Strategieprozesse?
- Wie fließen Entwicklungen im Transformationsprozess in die SES ein, die schneller verlaufen als dies z.B. die Langfristszenarien abbilden?
- Wie können dynamische, nicht-lineare Prozesse in den Langfristszenarien berücksichtigt werden (siehe Box 2)?

Fragestellungen zur Schnittstelle mit der Netzentwicklung werden in einer Arbeitsgruppe „Netzbetreiber“, mit ebendiesen bearbeitet. Eine weitere Arbeitsgruppe „Bundesländer“ umfasst alle 16 Bundesländer. Weitere Arbeitsgruppen können anlassbezogen gebildet werden.

In dem aktuellen Umsetzungsentwurf der SES orientiert sich das BMWK in großen Teilen am Governance-Vorschlag der dena (siehe Abbildung 4). Eine wesentliche Abweichung vom dena-Vorschlag ist dabei der Wegfall von breiten Bürgerbeteiligungsformaten (dena 2022, 42).¹⁵ Im jetzigen Vorschlag soll lediglich ein Stakeholder-Plenum mit Vertreter*innen der Energiewirtschaft, Zivilgesellschaft und politischen Akteur*innen eine beratende Funktion bei der Entwicklung des Leitbildes und der Transformationsstrategie ausüben. Zusätzlich sollen öffentliche

¹⁵ Während der bisherigen SES Prozess nur eine Einbindung von Interessensgruppen in einem Stakeholder-Plenum vorsieht, gehen Bürgerbeteiligungsformate weiter und können, wenn entsprechend umgesetzt, Mitbestimmung und Partizipation von Bürger*innen und anderen Interessensgruppen ermöglichen (siehe dazu Abschnitt 0).

Konsultationen weitere Stakeholder einbinden. Die dena organisiert als Geschäftsstelle den Erstellungsprozess und hat damit noch Einflussmöglichkeiten auf die Ausgestaltung der Beteiligungstiefe (siehe Abbildung 4).

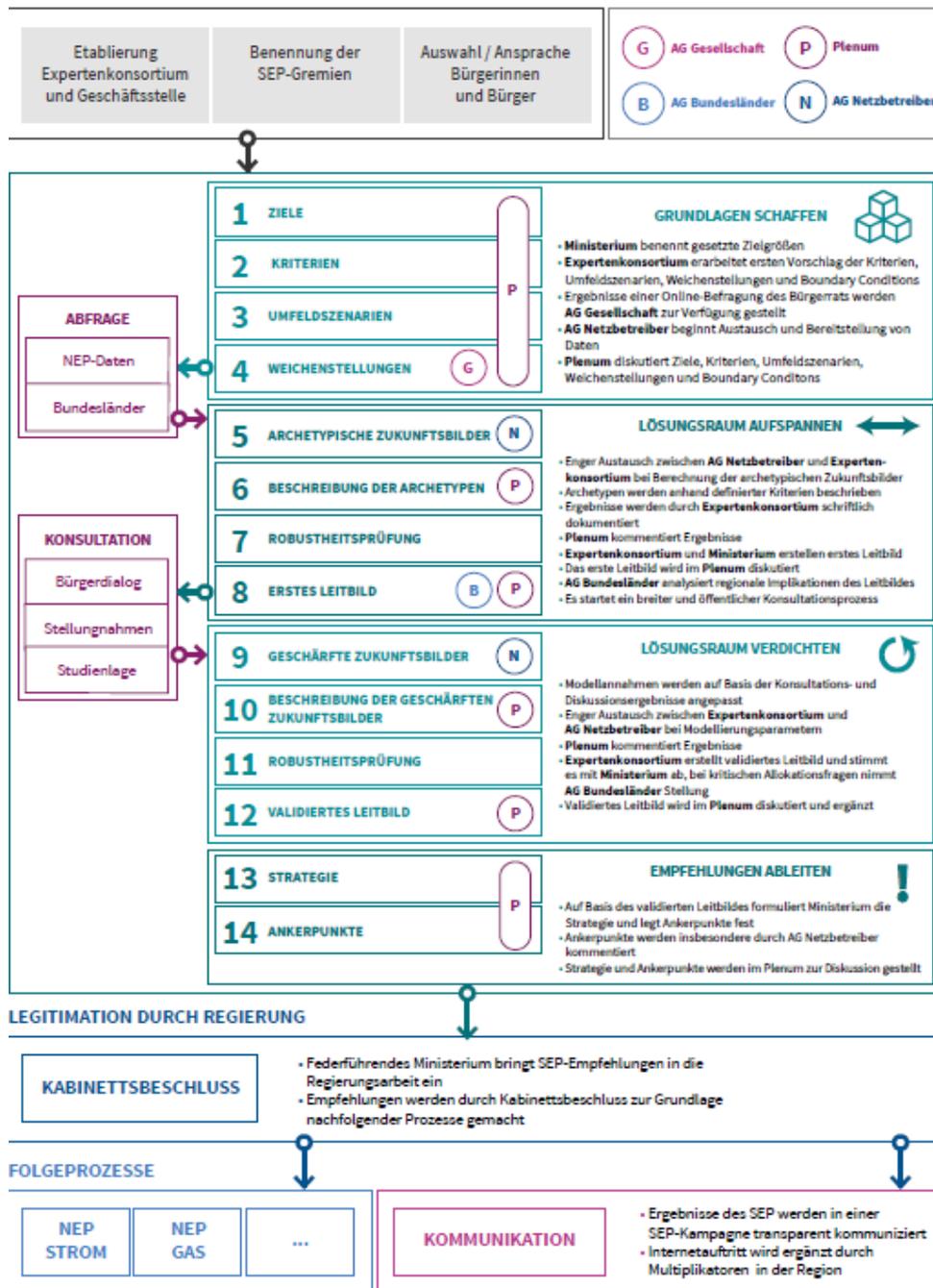


Abbildung 4: Vorschlag zum Zusammenspiel der Beteiligungsmöglichkeiten und der Prozessschritte (dena 2022, Abb. 22)

4 Empfehlungen zur Weiterentwicklung der SES

Die SES soll nach Aussage des BMWK der Ort werden und sein, an dem die Fäden der anderen Strategieprozesse zusammenlaufen und die Schnittstellen der Strategien definiert, besprochen und festgelegt werden (BMWK 2022b). Die SES wird damit zur Transformationsstrategie, die tatsächliche Entwicklungen frühzeitig reflektiert und an der sich alle weiteren Strategien zu orientieren haben. Daraus ergeben sich unterschiedlicher Koordinationsbedarf sowie Anpassungsbedarf bei den Zeitplänen der Netzentwicklungsplanungen.

Im Folgenden werden der identifizierte Anpassungs- und Koordinationsbedarf in den einzelnen Themenbereichen beschrieben.

4.1 Transformation zur Sache der Bundesregierung machen

Die gesellschaftlich-ökologische Transformation zur Klimaneutralität ist eine Aufgabe der gesamten Bundesregierung und nicht nur des BMWK. Die SES berührt mit ihrem Kohärenzanspruch die Strategieprozesse anderer Ministerien. Deshalb sollte, wie auch von der dena vorgeschlagen, am Ende die SES von der Bundesregierung beschlossen werden (dena 2022). Dies würde auch zu einer aktiveren und verbindlicheren Mitarbeit der anderen Ministerien an der SES führen. Um den Regierungsbeschluss gut vorzubereiten, sollte ein Staatssekretär*innenausschuss den SES-Prozess begleiten. Dort sollten vor allem die Schnittstellen zu den anderen Strategien besprochen werden. So können politische Unstimmigkeiten am Ende des SES-Prozesses frühzeitig vermieden werden.

4.2 Kohärenzanspruch erfüllen

Der richtige Anspruch an die SES, die Kohärenz der unterschiedlichen Strategieprozesse der Bundesministerien sicherzustellen, muss von allen Ministerien ernstgenommen werden. Das BMWK sollte hier mit gutem Beispiel vorangehen.

SES zur Grundlage für nächste Szenariorahmen von NEP Gas und NEP Strom machen

Um den Anspruch der SES nach Kohärenz zwischen den jeweiligen Netzplanungsprozessen gerecht zu werden, hat die dena vorgeschlagen, die Erstellung der Szenarien für die NEP Gas und Strom erst nach einem Kabinettsbeschluss zur SES zu beginnen.

Tatsächlich hat sich der Ablauf der SES gegenüber dem dena Beispiel-Vorschlag verzögert (siehe dena 2022, Abb. 27). Das BMWK plant die Fertigstellung zum Jahresende 2023. Gleichzeitig haben die ÜNB Ende März die Konsultation des Netzentwicklungsplans Strom begonnen. Um unnötige Doppelarbeiten für die modellierenden Institute und für die Stakeholder zu vermeiden, sollten die nächsten Szenariorahmen für Prozesse für den NEP Gas und den NEP Strom erst

nach dem Beschluss der SES erstellt werden. Dies setzt aber voraus, dass der SES-Prozess termingerecht (siehe BMWK 2022b, Abb. 4) abgeschlossen wird.

Kraftwerksstrategie eng mit SES verzahnen

Parallel zum SES-Prozess hat das BMWK angekündigt, in diesem Jahr die Kraftwerkstrategie mit der Ausschreibung von H₂-ready-Gaskraftwerken umzusetzen. Sollte es nicht möglich oder politisch gewollt sein, die Ausschreibungen bis zur Fertigstellung der SES aufzuschieben, ist eine enge Verzahnung beider Prozesse erforderlich. Andernfalls wird die Bedeutung der SES für eine Kohärenz für abgestimmte Energie- und Umsetzungsstrategien in Frage gestellt. Zudem könnten sich im SES-Prozess geringere Kapazitätsbedarfe ergeben, auf die kurzfristig reagiert werden müsste.¹⁶

Rückkopplung mit Teil-Strategieprozessen sicherstellen

Die SES soll dafür sorgen, dass die verschiedenen Teil-Strategien zum Transformationsprozess kohärent miteinander sind. Trotzdem fehlt bisher ein Verfahrensvorschlag, wie dies konkret erfolgen soll. Wie in Abschnitt 4.1 beschrieben, sollte die Abstimmung in einen regelmäßig tagenden Ausschuss auf Staatssekretär*innenebene stattfinden. Dies wird dem Anspruch an die SES gerecht und führt zu einer verbindlicheren Mitarbeit aller beteiligten Ministerien im gesamten Prozess. Zudem können so politische Unstimmigkeiten frühzeitig entdeckt und geklärt werden. Zudem fließen Festlegungen in Teil-Strategien (siehe Abbildung 3), die für übergeordnete Strategien wichtig sind, direkt in den Entwicklungsprozess des Leitbildes und nachfolgend in die Überarbeitung der Langfristszenarien ein. Fehlplanungen und unnötige Mehrfachdiskussionen werden vermieden.

Ankerpunkte für SES strategisch setzen

Ein Ziel der SES besteht darin, für die nachgeordneten Netzentwicklungspläne (Gas, Strom und Wasserstoff) verbindliche Inputparameter für die Szenariorahmen zu schaffen. Um dies zu gewährleisten, muss präzise definiert werden, wie die Schnittstellen der Prozesse organisiert werden sollen.

Dafür müssen, wie bereits von der dena (2022) beschrieben, bestimmte Ankerpunkte (politisch) gesetzt werden, die in den weiteren Umsetzungsprozessen nicht eigenständig verändert werden

¹⁶ Die Kraftwerksstrategie aus dem BMWK beruht auf den Langfristszenarien, die aktuell einen erheblichen Bedarf an Kurzfristflexibilität (= Gaskraftwerke) aufweisen, weil die Langfristszenarien den Anteil von Batteriekraftwerken systematisch unterschätzen. Gegenüber dem aktuellen Szenariorahmen Strom ist die Differenz bei 20-40 GW. Im Szenariorahmen Strom sind Mitte der 2030er ~ 70 GW Batterien enthalten, in den Langfristszenarien ~ 20 GW (keine genaue Angabe und nicht differenziert zwischen Großbatterien und kleinen Batterien). Diese "Lücke" bei den Großbatterien würden in der Kraftwerksstrategie die Gaskraftwerke ausfüllen.

können. Zum Beispiel gehören, neben dem Ziel der Klimaneutralität 2045, verbindliche Jahreszahlen für den Erdgas- und Kohleausstieg, ein definiertes Treibhausgasbudget entlang der Ausstiegspfade sowie eine Maximalmenge an nachhaltig importiertem Wasserstoff(-derivaten) und weitere Punkte in diese Kategorie. Durch die konsequente Ausrichtung der Strategien und Ausbaupläne an einem Leitbild, kann die SES als übergeordneter Prozess eine effektive Koordinierungsfunktion übernehmen.

Box 1: Exkurs zum Gebäudeenergiegesetz (GEG) – Beispiel für neue inkohärente Planungsprozesse

Der Kabinettsbeschluss zur Änderung des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) sieht vor, dass der Einbau von neuen Heizungsanlagen auch nach 2024 gestattet ist, wenn diese sowohl Erdgas als auch 100 Prozent Wasserstoff verbrennen können („H₂-ready“). Erdgas darf dann noch bis zum 1. Januar 2035 genutzt werden, wenn der zuständige Gasverteilnetzbetreiber einen „Investitions- und Transformationsplan“¹⁷ vorlegt, der eine verbindliche Umstellung auf Wasserstoff bis 2035 nachweist (Bundesregierung 2023, 31).

Wird tatsächlich der Weg über einen Transformationsplan eröffnet, um eine (lokale) H₂-Versorgung zu planen und zu entwickeln, entsteht ein Parallelprozess, der nicht mit anderen Prozessen verbunden ist. Der eigene Anspruch des BMWK, mit der SES Kohärenz zwischen den verschiedenen Infrastrukturplanungen sicherzustellen, würde dann konterkariert.

Vielmehr muss dieser Planungsprozess in die kommunale Wärmeplanung integriert werden und damit auch auf denselben regionalen Szenarien beruhen, deren Grundlage wiederum auf den nationalen Szenarien der SES beruhen.

Die Verfügbarkeit und Herstellung von Wasserstoff spielt im GEG-Gesetzentwurf bisher nur eine vage Rolle,¹⁸ da sich die Anforderungen darin zumeist nur auf die Infrastruktur beziehen, sprich die Umrüstung der Verteilnetze auf Transportfähigkeit von 100 % Wasserstoff.¹⁹ Neben

¹⁷ „Dieser Transformationsplan soll konkrete Investitionsschritte enthalten, die auch tatsächlich in der Praxis umgesetzt und kontrolliert werden sollen. Im Transformationsplan soll genau dargelegt werden, wie die Umstellung der Endgeräte von Methan auf Wasserstoff konkret erfolgen soll. Insbesondere muss auch dargelegt werden, welchen Umgang der Gasnetzbetreiber mit den an sein Gasnetz angeschlossenen Gasheizungen vorsieht, die nicht H₂-Ready-Heizungen sind, und wie ein Umstieg für diese Heizungsanlagen konkret finanziert werden soll. Ein bloßer Verweis auf Staatsgelder, die nicht verbindlich zugesichert sind, reicht für einen solchen Plan nicht aus. Auch eine Umlage auf die Netzentgelte kommt nur in Frage, wenn hierfür eine rechtliche Grundlage existiert. Auch muss im Transformationsplan konkret dargelegt werden, wie die derzeit noch bestehenden technischen Probleme bei der Umrüstung gelöst werden sollen und für die notwendigen Investitionen muss ein realistischer belastbarer Finanzierungsplan mit konkreten Meilensteinen für die geplanten Investitionen vorlegen werden. Im Transformationsplan muss auch unter Berücksichtigung von Artikel 3 der Energieeffizienzrichtlinie dargestellt werden, wie gewährleistet ist, dass die Energie sparsam und effizient verwendet wird“ (Bundesregierung 2023, 142).

¹⁸ Zu Verfügbarkeiten: „Die Regulierungsbehörde darf die Genehmigung auch nur erteilen, wenn gesichert ist, dass auch für das vorgelagerte Fernleitungsnetz ein entsprechender konkreter, verbindlicher Plan vorliegt, der gewährleistet, dass das Netz des Gasverteilnetzbetreibers bis zum 1. Januar 2035 mit Wasserstoff in einem ausreichenden Maße versorgt wird“ (Bundesregierung 2023, 143).

¹⁹ „Für diese Umstellung ist ein Umbau des bestehenden Erdgasnetzes auf Wasserstoff notwendig. Hierfür sind umfangreiche Anpassungen notwendig und es ist auch nicht klar, ob in allen Gasverteilnetzen ein solcher Umbau der bestehenden Infrastruktur überhaupt technisch unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit umsetzbar ist. Daher ist nicht davon auszugehen, dass abgesehen von der Verfügbarkeit von Wasserstoff alle Gasverteilnetze auf Wasserstoff umgestellt werden“ (Bundesregierung 2023, 142).

umgebauten Gasnetzen sind Herkunft und Verfügbarkeit sowie die Herstellung von Wasserstoff entscheidende Faktoren, eine H₂-ready-Heizung tatsächlich sachgemäß („klimaneutral“) betreiben zu können.²⁰ Deshalb müssen diese Faktoren fester Bestandteil des Transformationsplans sein. Mengen und Verfügbarkeiten von Wasserstoff für die Transformationsstrategien der Verteilnetzbetreiber sind einzubetten in eine übergeordnete Wasserstoffstrategie, die Industrieprozesse, Energie- und weitere Sektoren, berücksichtigt. Der institutionelle Rahmen, um die grundlegenden Anforderungen zu diskutieren, ist wiederum die SES.

Ungeachtet von Prozess- und Kohärenzfragen ist die Haftungsfrage im Falle einer Nichteinhaltung des Transformationsplan bzw. wenn nicht ausreichend Wasserstoff zur Verfügung stünde, einer der entscheidenden Ausgestaltungsvarianten.

Der Entwurf sieht einen Schadensanspruch beim Besitzer der Heizungsanlage gegenüber dem Gasverteilnetzbetreiber vor, sollte der die Umstellung gemäß des Transformationsplans nicht einhalten. Mehrkosten kann der Besitzer dem Gasverteilnetzbetreiber entsprechend geltend machen.

Wer aber letztendlich für die Verfügbarkeit von „erneuerbaren“ Gasen, „grünem“ und „blauem“ Wasserstoff verantwortlich ist und wer für dafür haftbar ist, wenn diese Brennstoffe nicht zur Verfügung stehen, scheint noch nicht final beantwortet zu sein. Kann also der Gasnetzbetreiber einen Hersteller haftbar machen oder ist der Netzbetreiber für die gesamte Herstellungskette verantwortlich?

Zudem widerspricht die mögliche Nutzung von fossilem („blauem“) Wasserstoff der Anforderung an Klimaneutralität im Jahr 2045. Dadurch wird der Erdgasausstieg verzögert bzw. durch Schaffung von weiteren Lock-In Effekten behindert (Kemfert u. a. 2022; von Hirschhausen, Kemfert, und Praeger 2022; Sachverständigenrat für Umweltfragen 2021).²¹

Die Nutzung von fossil gewonnenem Wasserstoff (manchmal als „blau“ bezeichnet) muss ausgeschlossen werden. Einzig erneuerbarer („grüner“) Wasserstoff ist aus Nachhaltigkeitsaspekten die einzige Option in einem klimaneutralen Energiesystem. Eine Quote von 50 Prozent bzw. 65 Prozent alternativen Gasen ist der Einstieg in das „blending“ von Erdgas. Das ist nicht nur „Greenwashing“ eines fossilen Energieträgers, zugleich wird auch der wertvolle und voraussichtlich knappe Energieträger Wasserstoff durch Mischung mit Erdgas „entwertet“. Reiner Wasserstoff ist eine unverzichtbare Ressource für u.a. industrielle Anwendungen (Braunger, Grüter, und Präger 2021).

²⁰ „Im Transformationsplan muss nicht enthalten sein die „Farbe“ der Gase bzw. des Wasserstoffs, das Gasbetreiber im Gegensatz zu den Betreibern von Wärmenetzen nicht für die Erzeugung oder den Verkauf des Gases zuständig sind, sondern in der Regel entflechtet und damit nur reine Infrastrukturunternehmen, die jede Erzeugung durchleiten müssen, egal, welche „Farbe“ und Qualität das eingespeiste Gas hat“ (Bundesregierung 2023, 143).

²¹ Bedingung für den Einbau einer „H₂-ready“ Gasheizung für den Gebäudeeigentümer soll laut GEG-Entwurf der Bezug und Nachweis von 50 Prozent grünem Gas ab 2030 und ab 2035 65 Prozent „grüner“ oder „blauer“ Wasserstoff sein.

4.3 Nicht-lineare Entwicklungen frühzeitig antizipieren – SES agil organisieren

Der etablierte Prozess der Netzentwicklungsplanung leidet unter der schwer aufzulösenden Herausforderung, dass seine finalen Produkte, die Netzausbaupläne Strom und Gas, bei ihrer turnusmäßigen Fortschreibung in der Regel auf bereits veralteten Szenarien und Kostenannahmen basieren. Die Szenarienersteller*innen können nur zitierfähige Technologieoptionen und -potenziale (Eingangsrößen)²² in wissenschaftliche Modellierungsansätze und Szenarien einfließen lassen. Nicht-lineare, dynamische Wachstums- und Schrumpfraten (Suffizienz) von Technologieentwicklungen, nicht vorhergesehene (oder ignorierte) Entwicklungen aus der Praxis sowie unterschätzte Potenziale (siehe Box 2) lassen sich kaum abbilden und fließen nicht rechtzeitig in die Ausbaupläne ein.

Gerade die Kostenannahmen, die ein wichtiger Eingangsparameter für die Modellierung in Szenarien sind, liegen häufig weit hinter den tatsächlichen Kostenkurven von Technologien zurück, weil die Marktreflektion der Kostenannahmen bisher regelmäßig unzureichend erfolgt ist. Bis marktübliche Kosten zitierfähig publiziert werden, sodass sie in der Szenarientwicklung angewendet werden können, vergehen oft Jahre.

Energiewendetechnologien wachsen weltweit exponentiell und erzielen Skaleneffekte, die nationale und internationale Szenarien, z.B. die der Internationale Energie-Agentur (IEA) bisher nicht abbilden. Fehlerhafte Technologieentwicklungs- und Kostenannahmen führen zu fehlerhaften Modellausgaben (z.B. nahezu keine Kurzfristspeicher und Batterien in den Langfristszenarien, obwohl diese real existieren und auch in Deutschland exponentiell ansteigend ausgebaut werden). Dies führt zu Fehlschlüssen, z.B. hinsichtlich des Flexibilitätsbedarfs in der kurzen Frist und kann zu Fehlinvestitionen und Pfadabhängigkeiten führen. Das bedeutet: die Szenarien- und Netzentwicklung ist zurzeit nicht agil.

²² Eingangsrößen die nicht-lineare Entwicklungen darstellen können nicht berücksichtigt werden, weil sie in zitierbaren (sprich: öffentlich finanzierten) Szenarien nicht ausreichend vorkommen. Szenarien, die solche Entwicklungen abbilden, wurden eigentlich immer als interessengeleitet gewertet und von "offizieller" Seite nicht berücksichtigt.

Die Auflösung dieses Dilemmas ist nicht vollständig möglich. Es wird immer eine zeitliche Verzögerung zwischen dem fertigen SES und den Entwicklungen in der Realität geben. Die SES versucht sich dem durch einen fortlaufenden Überarbeitungsprozess in (voraussichtlich) vier Jahreszyklen zu nähern. Dieser Zeitraum ist aber zu langsam für aktuell beobachtete schnelle Technologie- und Marktentwicklungen.

Durch einen agilen Workflow sollte es aber möglich werden auch praxisnahe, teils exponentielle Prozesse, die bisher noch nicht wissenschaftlich zitiert werden können, rechtzeitig in der Szenarienentwicklung und der nachfolgenden Netzentwicklungsplanung zu berücksichtigen.

Eine Möglichkeit „unvorhersehbare“ Entwicklungen besser zu antizipieren, kann durch einen engen Austausch mit Wirtschaftsunternehmen und deren Verbände erreicht werden (siehe o). Diese können in der Regel recht genau die Entwicklungen in ihrer Branche beschreiben und auch Hemmnisse für schnellere Entwicklungen benennen (transdisziplinärer Ansatz). Mindestens sollten mit Wirtschaftsunternehmen und deren Verbänden zwischenzeitliche und fokussierte Kosten- und Technologieentwicklungs-Konsultationen vorgesehen werden, die wissenschaftlich identifizierte Trends ergänzen. Diese Abfragen sollten in der Szenarienentwicklung vorgeschrieben werden und klar terminiert sein. Dies ist nicht nur für die Entwicklung und Fortschreibung der SES hilfreich, sondern generell für den wissenschaftlichen Diskurs zur Energie- und Klimasystemforschung förderlich.

Box 2: Beispiele für „nicht-lineare Prozesse“ die in Szenarien unzureichend berücksichtigt sind

Beispiel 1: Exponentielle Entwicklung der Photovoltaik wird strukturell unterschätzt

Photovoltaik (PV) hat in den letzten Jahrzehnten eine Entwicklung vollzogen, die in der Energie- und Industriegeschichte ihresgleichen sucht. Sie ist günstig, modular und überall verfügbar. Keine Energietechnologie wächst so schnell wie die PV – historisch und bis heute. Der exponentielle Wachstumspfad ist seit den 1950er Jahren nahezu konstant und ungebrochen. 2022 markiert das Jahr, in dem die weltweit installierte Kapazität erstmals die Terawatt (TW)-Grenze überschritten hat. In wenigen Jahren wird das zweite Terawatt erreicht sein. Die Neuinstallationen betragen 2022 weltweit 268 GW. Im laufenden Jahr wird von einem weiteren Wachstum von mehr als 300 GW bis zu 400 GW ausgegangen (PV Think Tank 2023). Dieses anhaltende Wachstum und die damit einhergehende Steigerung Leistungsfähigkeit von Lieferketten und Finanzierungsstrukturen zur Photovoltaik wurde und wird erneut in Szenarien unterschätzt.²³

Für die Energiepolitik sind z.B. Prognosen der internationalen Energieagenturen wie IEA und IRENA wichtige Referenzen, auch in Deutschland. Jedoch liegen die internationalen Agenturen mit ihren konservativen Einschätzungen traditionell weit daneben und mussten Szenarien wiederholt korrigieren, weil sie von der Realität eingeholt werden: IEA schätzte im World Energy Outlook 2010 beispielsweise noch mit einer weltweit installierten PV-Kapazität von 410 GW im Jahr 2035 (IEA 2010). Im World Energy Outlook 2015 rechnete die IEA erst für 2040 mit der Erreichung der 1000 GW-Grenze, die bereits heute Realität ist (IEA 2015) und aktuell rechnet die IEA für das Jahr 2030 mit einer weltweit installierten PV-Kapazität in Höhe von rund fünf Terawatt (IEA 2022). Der Nettozubau pro Jahr müsse dafür laut IEA auf linear 445 GW/Jahr anwachsen, ein Wert, der möglicherweise bereits 2024 erreichen wird und in den Folgejahren weiter exponentiell wachsen könnte.

In Deutschland wird in den Langfristszenarien ebenfalls eine lineare Kostenfunktion für die Photovoltaik angenommen, die den Zubau modellhaft strukturell unterschätzen und fehlerhaft regionalisieren wird.²⁴ Quelle für die Kostenannahme zur Photovoltaik ist der EEG-Erfahrungsbericht (2016-2019), der beispielsweise für Freiflächenanlagen nur hohe spezifische Kosten für Kleinanlagen bis 750 kW ausweist, die in den Langfristszenarien für alle Anlagen angesetzt werden. Dass bereits heute Anlagen bis 20 MW in den Ausschreibungen zuschlagsfähig sind (2023 sogar bis 100MW) und sowohl im EEG 2021 als auch im EEG 2023 die Flächenkulisse deutlich erweitert wurde oder dass bereits heute förderfreie Anlagen in den Flächenländern mit einigen Gigawatt geplant und installiert werden, bilden die Szenarien nicht ab.

Beispiel 2: Batteriespeicher werden in deutschen Szenarien ausgeblendet

In den Langfristszenarien des BMWK wird die Bedeutung von Kurzfristspeichern erheblich unterschätzt, sowohl hinsichtlich der Ausbaumenge als auch der Zubaugeschwindigkeit. Dies

²³ Die Beispiele entstammen dem transdisziplinären Austausch während der Entstehung dieses Papiers. Weiterführende Informationen zu den Beispielen unter (bne 2023).

²⁴ Siehe: <https://enertile-explorer.isi.fraunhofer.de:8443/open-view/27819/85ae23eccbd80c79c2dcdcae2c1c1708> und <https://enertile-explorer.isi.fraunhofer.de:8443/open-view/27725/dc105965e52b62d8a6599b6044d62eb3>

liegt an der unterschätzen (exponentiellen) Kostensenkung von Speichertechnologien der letzten Jahre, die nicht ausreichend reflektiert werden.

Den Langfristszenarien zufolge würden in den 2020ern/2030ern kaum Speicher im Modell vorkommen, da sie aufgrund ihrer Kosten im Modell nicht eingesetzt würden. Bis 2030 würde das Speichervolumen bei 5 GWh verbleiben und erst danach wachsen. Dieses Modellergebnis entspricht bereits heute nicht der Marktrealität - obwohl der Markt erst in den Anfängen des exponentiellen Wachstums steckt.

Heute sind bereits jetzt mehr als 5 GWh an Heim-, Industrie- und Großspeichern in Deutschland installiert. Im Jahr 2022 wurden 220.000 neue Heimspeicher installiert und 1.200 Gewerbespeicher. Das entspricht Wachstumsraten von 52 % für Heim- und 24 % für Gewerbespeicher gegenüber dem Vorjahr. Mit 47 neuen Großspeichern hat sich 2022 auch der Zubau hierzulande fast verzehnfacht. Aktuell sind über ein Gigawatt Groß-Batteriespeicher (>1000 MWh) in Deutschland in Betrieb, bei einem exponentiell wachsenden Marktumfeld.²⁵ Die verfügbare Kapazität lag bis Ende 2022 damit bei 7 GWh an stationären Batteriespeichern.

Großspeicher werden heute unabhängig von Wind- und PV-Anlagen im Markt betrieben und auf dem Weltmarkt fallen die Kosten solcher Systeme weiter rasant. Auch die von der BNetzA genehmigten Szenarien für die Ermittlung des Übertragungsnetzausbaus im Szenariorahmen 2023-2037/2045 weisen bedeutend mehr Speicherbedarf und -zubau aus, als ihn die Langfristszenarien des BMWK postulieren. Die Erwartung der ÜNB im gültigen Szenariorahmen für den Netzausbau sieht vor, dass eine Größenordnung von ca. 25 Gigawatt für Groß-Batteriespeicher und mehr als 65 Gigawatt PV-Batteriespeicher, bis zum Jahr 2037 ins System kommen - in allen Szenarien.

Diese erhebliche Unterschätzung von Kurzfristspeichern in den Langfristszenarien in einer Größenordnung von mindestens 50 GW in den nächsten zehn Jahren wird zu erheblichen Fehlinterpretationen in der Systementwicklungsstrategie führen, z.B. einen deutlich überhöhten Bedarf an Residuallastausgleich und damit zu überhöhten Zielen für Gaskraftwerke.

4.4 Beteiligung effektiv steuern und nutzen

Der bisherige Prozess der Netzentwicklungsplanung muss sich der Kritik stellen, in der Vergangenheit eher intransparent durchgeführt worden zu sein. Die Stakeholderbeteiligung über die öffentlichen Konsultationen hat sich zwar eingespielt. Aber besonders die Wahl von Szenarien und deren Entwicklung in vorgelagerten Prozessen wurde häufig kritisiert, da dies wenig partizipativ (Reiner Lemoine Stiftung 2021) ausgestaltet war und teilweise schwer nachvollziehbar (E3G 2021).

²⁵ Siehe: <https://speichermonitor.eco-stor.de/>

Im Koalitionsvertrag der Ampelregierung wird die Etablierung von Bürgerräten zur Verbesserung der Entscheidungsfindung in konkreten Fragestellungen festgehalten (SPD.DE/GRUENE.DE/ FDP.DE 2021, 8), (siehe auch

Box 3). Die dena Netzstudie III hat für die Erstellung der SES eine breite Beteiligung der Öffentlichkeit und Stakeholder entwickelt (dena 2022).

Kompetenzaufbauende Bürger*innenbeteiligung einführen

Während die Einbettung von Beteiligungsformaten für professionelle Interessenvertreter*innen in der SES bereits fortgeschritten konkretisiert sind, ist eine Bürger*innenbeteiligung bei der SES, den Planungen des BMWK zufolge, nicht vorgesehen. Als Begründung wird Zeitmangel genannt. Damit verpasst das BMWK die Chance, die SES über eine Beteiligung von Bürger*innen robuster zu gestalten. Dies schwächt die gesellschaftlich-demokratische Legitimation der SES und verringert möglicherweise die Akzeptanzfähigkeit der Gesellschaft für abgeleitete Maßnahmen entscheidend.

Die Bedeutung und Machbarkeit von Bürger*innenbeteiligung wurde im Forschungsprojekt „Ariadne“ an den Beispielen zur Strom- und Verkehrswende bereits erforscht und erprobt (Treichel, Kowarsch, und Blum 2022). Bürger*innen sind in der Lage, mit wissenschaftlicher Unterstützung auch komplexe Fragestellungen zu bearbeiten und zu mehrheitsfähigen Lösungsvorschlägen zu kommen.

Um über den fortwährenden SES-Prozess eine parallele Bürgerbeteiligungsstruktur zu etablieren, sollte eine dauerhafte kompetenzaufbauende Beteiligungsstruktur aufgebaut werden (siehe Box 3).

Dabei sind u.a. folgende Eckpunkte zu erfüllen (die grundsätzlich für Bürgerbeteiligungen auf Bundesebene gelten sollten):

- Eine ausreichende finanzielle Ausstattung,
- ein eigenes Budget für Studien und Sensitivitätsberechnungen,
- niedrigschwellige Weiterbildungsangebote,
- eine angemessene Aufwandsentschädigung für die Teilnehmer*innen,
- ein Freistellungsrecht ggü. den Arbeitgeber*innen für die ausgewählten Teilnehmer*innen und
- ein Kinderbetreuungsangebot.

Diese Beteiligungsformate sind in der aktuellen Umsetzung der SES des BMWK bisher nicht vorgesehen.

Box 3: Vorüberlegungen zu Beteiligungsprozessen in der SES

Der gegenwärtige Planungsprozess der SES ist bereits transparenter als die Netzplanung im 20. Jahrhundert und wird insbesondere durch die Beteiligung von Stakeholdern durch einen Verwaltungsapparat („Geschäftsstelle“) gesichert. Eine Hierarchisierung der Strategieprozesse erlaubt auch den beteiligten Stakeholdern, insbesondere aus der Zivilgesellschaft, einen effektiven Einsatz ihrer begrenzten Personalressourcen. Ein einheitlicher und vereinfachter Strategieentwicklungsprozess verbessert auch den beteiligten Stakeholdern aus den Branchen die Teilnahme, da insbesondere in Unternehmen für solche Projekte in der Vergangenheit zu wenige Ressourcen bereitgestellt wurden. Die Ergebnisse waren daher teilweise praxisfern und stark geprägt von wissenschaftlichen Modellierungsansätzen.

Jedoch benötigt die Systementwicklungsplanung auch die Beteiligung von nicht-Expert*innen (Pfeffer, Wehden, und Klingenhage 2021; dena 2022) und muss diese in die Lage versetzen, auf Augenhöhe mitzudiskutieren.²⁶ Hierzu muss eine breite gesellschaftliche Diskussion organisiert werden (durch z.B. Bürger*innenräte) und mit den erforderlichen Ressourcen ausgestattet werden.²⁷ Dringlichkeitsrealitäten müssen dabei ebenso beachtet werden wie demokratische Ansprüche und Recht auf Teilhabe am sozial-ökologischen Transformationsprozess der Gesellschaft.²⁸

²⁶ Die Weiterentwicklung von Bürgerbeteiligung und deren Ausgestaltung und Umsetzung wird aktuell z.B. im Standortwahlverfahren für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle in Deutschland (BGE 2019) erprobt und ausgehandelt (Sieveking u. a. 2022), gemäß dem Ansatz eines „lernenden Verfahren“, welches im Standortwahlgesetz (StandAG) (Smeddinck u. a. 2022) festgeschrieben ist.

²⁷ Siehe dazu z.B.: <https://klimamitbestimmung.de/>

²⁸ Als ein gelungenes Beispiel für die Integration von Wissenschafts-, Stakeholder- und Bürger:innenbeteiligung kann z.B. der Prozess zum „Fahrplan Klima-Aufbruch“ gesehen werden. Siehe dazu (Bergk u. a. 2022).

Das Konzept der Bürger*innenbeteiligung zur Entwicklung des SEP ist in der dena Netzstudie bereits ausführlich entwickelt worden und zeigt eine Offenheit für Demokratisierungsprozesse, auch in der Infrastrukturentwicklung (dena 2022, Kap. 2.4.1.). Dabei wird zum einen versucht, dem sogenannten „Beteiligungsparadoxon“²⁹ entgegenzuwirken, aber auch ganz konkret, gesellschaftliche Legitimation für die Umsetzung der SES zu erlangen. Der dena-Ansatz schlägt vor, einen Bürgerdialog zur Evaluation eines vorgegebenen Leitbildes und Erarbeitung eigener Vorschläge einzusetzen. Dabei wird die Moderation und die Durchführung klar im Zuständigkeitsbereich des zuständigen Ministeriums angesiedelt (dena 2022, 10, 41). Erweitert wird dieser Bürgerdialog durch eine öffentliche Konsultation zum ersten Leitbild und durch eine prozessbegleitende Stakeholderplattform.

Um eine kontinuierliche Begleitung neben den meist themenspezifischen und temporären Bürger*inneräten zu ermöglichen, Kompetenzen aufzubauen und zu erhalten schlagen wir vor, sich an dem Konzept des Nationalen Begleitgremiums (NBG) für die Suche nach einem Endlager für hochradioaktive Abfälle zu orientieren. Dieses ehrenamtliche Gremium wurde gegründet, um den Endlagersuchprozess kritisch zu begleiten und Sorge dafür zu tragen, dass der Prozess fair und verantwortungsvoll abläuft (Nationales Begleitgremium 2020). Bei der Zusammensetzung der Wissenschaftler*innen, Studierenden und interessierten Bürger*innen wurde auf Pluralität und Unabhängigkeit Wert gelegt (Nationales Begleitgremium 2023). Unterstützt wird das NBG von einer Geschäftsstelle, die Koordinierungsaufgaben übernimmt und fachlichen Expertise anbietet (Bundesministerium des Innern 2016). Ein*e Partizipationsbeauftragte*r übernimmt Vermittlungsfunktionen zwischen den Akteur*innen und überwacht die Qualität der Beteiligung. Das NBG kann als Vorbild dienen, die Stetigkeit und Qualität in der Bürger*innenbeteiligung des langwierigen und wiederkehrenden SES-Prozesses zu gewährleisten.

Bezüglich der von der dena vorgeschlagenen Beteiligungsformate ist zu klären, mit welcher Art von institutionalisierten Rechten diese ausgerüstet werden. Zwei Punkte sind dabei entscheidend für die Beteiligung: Zum einen bedarf es einer „Ergebnisoffenheit“ bzw. muss transparent und überzeugend begründet werden, wenn Debatten eingegrenzt werden. Das kann zum Beispiel notwendig sein, um nicht-nachhaltige Maßnahmen auszuschließen. Zum anderen das starke Bekenntnis der Exekutive zur Umsetzung der Ergebnisse, was zum Beispiel nach dem Prinzip von „comply or explain“³⁰ umgesetzt werden kann.

Die Gremienstruktur, die von der dena vorgeschlagen wurden, sind bereits ausgearbeitet. Für einen guten Beteiligungsprozess gilt es aber auch hier, einige Punkte bei der Konzipierung zu beachten. Zum Beispiel sollten die Geschäftsstelle und das Expertenkonsortium sauber ge-

²⁹ Dies beschreibt die Problematik, dass Bürgerbeteiligung in der Vergangenheit oft erst nach der eigentlichen Konzeptionsphase von Projekten stattgefunden hat, wenn zwar eine Betroffenheit für Menschen spürbar wurde, aber eigentliche Beteiligung von Bürger*innen nicht mehr vorgesehen sind, da bereits wesentliche Entscheidungen getroffen worden sind. Dies führt zu Frustration auf allen Seiten und am Ende häufig zum Scheitern von Beteiligung oder auch zu Projektabbrüchen (vgl. Schmidt 2018).

³⁰ Begründungen für von den Empfehlungen abweichende Entscheidungen sollten öffentlich, authentisch und mit Bezug auf ein gesamtgesellschaftliches Interesse formuliert werden.

trennt werden. Das ist notwendig, um sicherzustellen, dass Wissen von den jeweiligen Akteur*innen im Prozess nach Bedarf eingeholt werden kann. Der eingeholte Experteninput muss grundsätzlich ein gewisses Maß an Neutralität bzw. kein Geschäftsinteresse an vorgeschlagenen Maßnahmen oder Instrumenten aufweisen.

Auch im Zusammenspiel von Expert*innen mit dem zuständigen Ministerium ist eine gewisse Unabhängigkeit hilfreich, welche nur durch eine Trennung von Ministerium und Expertenkonsortium aufrechterhalten werden kann. Das Ministerium kann im Expertenkonsortium Eingriffe, z.B. durch Vorgabe eines politischen Rahmens, vornehmen, sofern diese transparent begründet werden. Gleichzeitig besteht die Gefahr der Intransparenz, wenn alle Kompetenzen in der Hand des Ministeriums vereint sind. Dem Expertenkonsortium wird also eine hohe Kompetenz im Prozess übertragen und es ist dadurch auch der „Gatekeeper“ für Vorschläge im gesamten Prozess. Dafür muss es klare Leitlinien für die Auswahl der Besetzung des Konsortiums geben bzw. ein transparenter Ausschreibungsprozess stattfinden. Das Ministerium, mit Unterstützung der Geschäftsstelle, übernimmt die Aufgaben der Organisation und Durchführung der SES. Dazu gehören auch insbesondere die Organisation, Durchführung und Dokumentation der Beteiligungsformate. Es ist unabdingbar, dass diese Prozesssteuerung von Expert*innen übernommen wird. Diese Profis für Prozesssteuerung müssen bestenfalls dauerhaft im Ministerium angestellt und eingesetzt werden oder aber auf Zeit engagiert werden. Eine Moderation von Beteiligungsformaten vom Ministerium heraus ist jedoch sehr kritisch zu bewerten. Ein weiterer Punkt, der sehr viel Feingefühl und zusätzliche Ressourcen benötigt, ist die Zusammensetzung des Plenums der Stakeholderplattform. Nach dem demokratischen Leitprinzip der Beteiligung von Betroffenen sollten bei allen Nachhaltigkeitsthemen die Interessen der zukünftigen Generationen sowie die besonders betroffenen Gruppen vertreten sein.

Einbindung der Unternehmen sicherstellen und aktiv herbeiführen

Parallel zur Bürger*innenbeteiligung sollte eine Struktur für die Beteiligung von Unternehmen und Unternehmer*innen aufgebaut werden. Über deren Einbindung kann das notwendige Praxiswissen für eine realitätsnahe Szenarientwicklung einbezogen werden. Dazu sollten die Anforderungen von Unternehmen erfragt werden, die für eine Beteiligung von Unternehmer*innen bzw. deren Mitarbeiter*innen erfüllt sein müssen. Die Ansprache der Unternehmen sollte aktiv und gezielt erfolgen, um etwaige Fragen zu Aufwand und Nutzen konkret beantworten zu können.

4.5 Flankierende Maßnahmen

Anforderungen an NEP Gas mit NEP Strom parallelisieren

Bis zur nächsten Vorlage der SES-Ergebnisse sollten die Grundlagen für den NEP Gas an die des NEP Strom angeglichen werden. Folgende Punkte sollten daher im EnWG (vornehmlich § 15 a EnWG) ergänzt, bzw. geändert werden

Ausrichtung auf Klimaneutralität

Mit der Ausrichtung auf Klimaneutralität würde in der Gasnetzplanung auch das notwendige Auslaufen der Erdgasnutzung abgebildet.

Zieljahr 2045

Bisher wird der NEP Gas mit einem 10-Jahres-Horizont erstellt. Mit dem Zieljahr 2045 wird es möglich, wie von den FNB gewünscht, eine ganzheitliche Betrachtung der Gasnetzentwicklung inklusive des Rückbaus von Verteilnetzen vorzunehmen. Gleichzeitig spiegelt diese zeitliche Perspektive die tatsächliche Dringlichkeit der Entwicklung eines Klimaneutralitätsnetzes wider und wirkt der Gefahr von fossilen Pfadabhängigkeiten entgegen.

Nutzung des gleichen Szenariorahmen für NEP Strom und NEP Gas

Mit der Fertigstellung der SES liegt eine Szenariengrundlage für die Szenariorahmen des NEP Gas und des NEP Strom vor. Dessen Berücksichtigung muss gesetzlich festgeschrieben werden. Etwaige Änderungen müssen, wenn sie sich als unabdingbar erweisen, für beide Prozesse gelten.

Keine Berücksichtigung von Bedarfsabfragen nach § 17 GasNZV

Im Prozess des NEP Gas berücksichtigen die FNB „ihre Erwartungen über die Entwicklung des Verhältnisses von Angebot und Nachfrage“ und „vorliegende Erkenntnisse aus durchgeführten Marktabfragen zum langfristig verbindlichen Kapazitätsbedarf“ (GasNZV § 17 (2) Nr. 1 + 2).³¹ Da die Bedarfsabfragen keine klimaschutztechnischen Kriterien (wie z. B. Klimaneutralität in 2045) berücksichtigen müssen, sind sie als Datengrundlage für Netzentwicklungsplanung unbrauchbar. Deshalb sollte der Bezug auf die beiden genannten Punkte der GasNZV ersatzlos gestrichen werden.

³¹ Siehe: https://www.gesetze-im-internet.de/gasnzv_2010/__17.html

NEP H₂ einführen

Die konkrete Netzentwicklungsplanung (NEP H₂) eines Wasserstoff Transport- und Verteilnetzes ist nicht expliziter Bestandteil der Nationalen Wasserstoffstrategie (Bundesregierung 2020). Daher sollte ein paralleles Verfahren zu den NEP Gas und Strom eingeführt werden, das auf derselben Szenariengrundlage beruht wie diese und damit letztendlich auch in die SES integriert werden.

Die Planung und Erstellung des NEP H₂ sollte durch einen Akteur erfolgen, der keine wirtschaftlichen Interessen am Betrieb eines H₂-Netz als solchem hat (Reiner Lemoine Stiftung 2021). Dadurch kann interessengeleiteten Fehlplanungen entgegengewirkt werden.

Regionale NEP für alle Stromverteilnetze erstellen

Nach §14d EnWG müssen Stromnetzbetreiber mit mehr als 100.000 unmittelbar und mittelbar angeschlossenen Kund*innen eine regionalen Netzentwicklungsplan vorlegen.³² Dazu schließen sich die regionalen Netzbetreiber zu Planungsregionen zusammen und stimmen sich untereinander und mit den ÜNB über ihre Planungsgrundlagen ab. Grundsätzlich sind regionale NEP sehr sinnvoll. Damit sie aber für ein klimaneutrales Stromsystem ihre volle Wirkung erzielen können, sollten sie für alle Verteilnetze verpflichtend werden.

Mit der Mindestgröße (100.000 Kund*innen) sind nur ca. 80 der 870 Verteilnetzbetreiber (VNB)s in Deutschland zu einer Netzentwicklungsplanung verpflichtet. Da die Hälfte des künftigen PV-Ausbaus auf Dächern erfolgen wird, ist hier eine vorausschauende Planung notwendig. Zudem würde sich die Datenlage über die Verteilnetze deutlich verbessern. Um kleinere VNB nicht zu überfordern, sollte die Zusammenarbeit mit benachbarten VNB unterstützt werden.

³² Siehe: https://www.gesetze-im-internet.de/enwg_2005/_14d.html

Kommunale Wärmeplanung um regionale Gasnetzplanung erweitern

Die Bundesregierung plant Kommunen ab einer bestimmten Größe zu einer kommunalen Wärmeplanung zu verpflichten (BMWK 2022a). Der weitere Umgang mit den Gasverteilnetzen spielt dort immer wieder eine Rolle, wird aber nicht strategisch verfolgt. Daher sollte die Kommunale Wärmeplanung um eine verpflichtende Gasverteilnetzplanung erweitert werden, bei welcher der Gasverteilnetzbetreiber kooperieren und seine Daten offenlegen muss. Um die Kommunen bei dieser Aufgabe zu unterstützen, sollten von Bund und Ländern eine kommunale Koordinationsstelle finanziert werden, welche die integrierte kommunale Netzplanung ermöglicht. Ein entsprechender Vorschlag der dena für eine „Energie-Koordinationsstelle in der kommunalen Verwaltung“, die eine Bündelung der auf verschiedene Fachbehörden verteilten Zuständigkeiten vorschlägt, kann dabei als Orientierung herangezogen werden (dena 2023).

Speicherstrategie aufsetzen

Im zukünftigen Energiesystem werden Speicher eine wichtige Rolle spielen, um Flexibilität zur Verfügung zu stellen und so Erzeugungseingpässe zu überbrücken oder Produktionsüberschüsse zu speichern. Dabei geht es sowohl um kurze als auch um lange Zeiträume als auch um Strom, Wasserstoff, oder Wärme sowie um kleine bis sehr große Speicher. Für Großbatterien oder Heimspeicher erfolgt der Ausbau sehr stark marktgetrieben, wie in Box 2 beschrieben. Große Wärmespeicher benötig(t)en dagegen eine Förderung, um wirtschaftlich zu sein. Um der Bedeutung von Speichern für die Versorgungssicherheit und Systemstabilität gerecht zu werden, sollte in einer Speicherstrategie u. a. ein Fahrplan entwickelt werden, der festlegt, auf welchem Weg welche Art von Speichern in welchen Orten in welcher Zahl möglichst systemdienlich eingesetzt werden können.

5 Fazit

Die Systementwicklungsstrategie (SES) ist ein zentrales Instrument für eine Energiewendekompatible Infrastrukturplanung. Sie bedarf jedoch einer stärkeren Kohärenz in Bezug auf die übergeordneten Ziele, wie Klimaneutralität und die rasche Beendigung fossiler Energieträger, als auch operativer Reformen zur Sicherung der Konsistenz aktueller Fehlentwicklungen. Ein aktuelles Beispiel ist die drohende Überbewertung von Investitionen in fossile Erdgaskraftwerke im Rahmen der Kraftwerkstrategie, die durch eine agile SES identifiziert und korrigiert werden sollte. Die SES kann auch zu einem Pilotprojekt für eine kompetenzaufbauende Bürgerbeteiligung werden.

6 Literatur

- 50Hertz Transmission GmbH, Amprion GmbH, TenneT TSO GmbH, und TransnetBW GmbH. 2023. „Szenariorahmen zum Netzentwicklungsplan Strom 2037 mit Ausblick 2045, Version 2023. Entwurf der Übertragungsnetzbetreiber“. <https://www.netzentwicklungsplan.de/de/netzentwicklungsplaene/netzentwicklungsplan-20372045-2023>.
- Agora Energiewende. 2023. „Stellungnahme zum Netzentwicklungsplan Gas 2022 2032 der Fernleitungsnetzbetreiber“. Stellungnahme. https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2022/2022-06_DE_Gasverteilnetze/AEW_Stellungnahme_NEP_Gas_2022-2032_WEB.pdf.
- Ahmels, Peter, Jana Bosse, Hanna Brauers, Isabell Braunger, Andy Gheorghiu, Eric Häublein, Franziska Holz, Claudia Kemfert, und Fabian Präger. 2021. „Am Klimaschutz vorbeigeplant – Klimawirkung, Bedarf und Infrastruktur von Erdgas in Deutschland“. *Politikberatung kompakt*, Politikberatung kompakt, 166. https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.815872.de/diwkompakt_2021-166.pdf.
- Bergk, Fabian, Pia Bolkart, Frank Dünnebeil, Hans Hertle, Marianne Pfaffinger, Eva Rechsteiner, Lena Schreiner, und Philipp Wachter. 2022. „Fahrplan Klima-Aufbruch Erlangen“. ifeu. https://erlangen.de/uwao-api/faila/files/bypath/Dokumente/PDF-Formulare/31_Umweltamt/klima-aufbruch_fahrplan_-_kurzbericht.pdf?tn=1&q=normal&s=list.
- BGE. 2019. „Standortauswahlverfahren Ablaufplanung bis hin zur Standortentscheidung (Gesamtzeitplanung)“. BGE. Peine: BGE. https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Wesentliche_Unterlagen/05_-_Meilensteine/20190410_BGE_StandAW_Ablaufplanung_2020_Wege_2031_V4_geschwaerzt.pdf.
- BMW. 2010. „Energiekonzept: für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare energievorsorgung“. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie. https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/E/energiekonzept-2010.pdf?__blob=publicationFile&v=5.
- BMW. 2022a. „Diskussionspapier des BMWK: Konzept für die Umsetzung einer flächendeckenden kommunalen Wärmeplanung als zentrales Koordinierungsinstrument für lokale, effiziente Wärmenutzung“. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/diskussionspapier-waermeplanung.pdf?__blob=publicationFile&v=4.
- . 2022b. „Die Systementwicklungsstrategie als Rahmen für die Transformation zum klimaneutralen Energiesystem“. Berlin. <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/ses-prozess-und-beteiligung.html>.
- bne. 2023. „Stellungnahme zum Entwurf der Photovoltaik- Strategie des BMWK vom 10.03.2023“. Stellungnahme zur Photovoltaik-Strategie. https://www.bne-online.de/fileadmin/user_upload/23-03-24_bne_Stellungnahme_zur_PV-Strategie_des_BMWK.pdf.
- Boll, Georg. 1969. *Geschichte des Verbundbetriebs: Entstehung und Entwicklung des Verbundbetriebs in der deutschen Elektrizitätswirtschaft bis zum europäischen Verbund*. Frankfurt/Main, Germany: Verlags- u. Wirtschaftsgesellschaft der Elektrizitätswerke.
- Braunger, Isabell, Carolin Grüter, und Fabian Präger. 2021. „Wasserstoffstrategie für eine sozial-ökologische Transformation“. Studie im Auftrag der Fraktion „Die Linke“ im Europäischen Parlament. Berlin, Brüssel. https://www.oekologische-plattform.de/wp-content/uploads/2021/07/Broschu%CC%88re_Wasserstoff_web.pdf.
- Bundesministerium des Innern. 2016. „Erlass über die Einrichtung der Geschäftsstelle des NBG“. Berlin. https://www.nationales-begleitgremium.de/SharedDocs/Downloads/DE/Downloads_NBG_allgemein/Erlass-Gesch%C3%A4ftsstelle-NBG_15_9_2016.pdf?__blob=publicationFile&v=4.

- Bundesregierung. 2020. „Die nationale Wasserstoffstrategie“. Berlin. <https://www.bmbf.de/files/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf>.
- . 2023. „Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Gebäudeenergiegesetzes, zur Änderung der Heizkostenverordnung und zur Änderung der Kehr- und Überprüfungsordnung“. Gesetzentwurf der Bundesregierung. <https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/pressemitteilungen/Webs/BMWSB/DE/2023/04/geg-bmwk.html>.
- BVerfG. 2021. *Beschluss des Ersten Senats vom 24. März 2021*. Bd. 1 BvR 2656/18-Rn. 1-270. https://www.bundesverfassungsgericht.de/e/rs20210324_1bvr265618.html.
- Caldecott, Ben, Elizabeth Harnett, Theodor Cojoianu, Irem Kok, Alexander Pfeiffer, und Ana Rios. 2016. „Stranded Assets: A Climate Risk Challenge“. Washington DC: Inter-American Development Bank. <https://publications.iadb.org/publications/english/document/Stranded-Assets-A-Climate-Risk-Challenge.pdf>.
- CAN Europe. 2019. „A first overview of the Ten-Year Network Development Plan (TYNDP) Scenario Report“.
- dena. 2022. „dena-Netzstudie III - Stakeholderdialog zur Weiterentwicklung der Planungsverfahren für Energieinfrastrukturen auf dem Weg zum klimaneutralen Energiesystem“. Abschlussbericht. Berlin: Deutsche Energie-Agentur GmbH. https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2022/Abschlussbericht_dena-Netzstudie_III.pdf.
- . 2023. „Lokale Energieinfrastrukturen – Rückgrat der Energiewende vor Ort. Impulse für einen integrierten Planungsprozess auf lokaler Ebene“. Impulspapier. Berlin. https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2023/IMPULSPAPIER_Lokale_Energieinfrastrukturen-Rueckgrat_der_Energiewende_vor_Ort.pdf.
- Deutsche Umwelthilfe. 2023. „Stellungnahme zum Netzentwicklungsplan Gas 2022-2032 der Fernleitungsnetzbetreiber Konsultation durch die Fernleitungsnetzbetreiber“. Berlin. https://www.duh.de/fileadmin/user_upload/download/Projektinformation/Energiewende/Gas/230131_DUH_Stellungnahme_NEP_Gas_2022-2032_final.pdf.
- DIW. 2014. „Electricity Sector Data for Policy-Relevant Modeling: Data Documentation and Applications to the German and European Electricity Markets“. DIW Data Documentation 72. Berlin, Germany: DIW Berlin, TU Berlin. https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.440963.de/diw_datadoc_2014-072.pdf.
- E3G. 2021. „Netzentwicklungsplan (NEP) Gas 2020-2030“. Stellungnahme zum Entwurf der FNB Gas. E3G. https://www.e3g.org/wp-content/uploads/E3G_Stellungnahme_NEP-Gas-2020-2030.pdf.
- ENTSO-E, und ENTSO-G. 2022. „TYNDP 2022 Scenario Report - Version April 2022“. Brussels. <https://2022.entsos-tyndp-scenarios.eu/>.
- Expertenrat für Klimafragen. 2023. „Prüfbericht zur Berechnung der deutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2022“. Prüfung und Bewertung der Emissionsdaten gemäß § 12 Abs. 1 Bundes-Klimaschutzgesetz. Berlin. <https://www.expertenrat-klima.de>.
- Flachsbarth, Franziska, Christoph Heinemann, David Ritter, und Moritz Vogel. 2014. „Ein Netz für die heutige Welt oder für die Welt von morgen? Kommentierung des NEP Szenariorahmens 2015“. Öko-Institut. <https://www.oeko.de/oekodoc/2043/2014-624-de.pdf>.
- FNB Gas. 2021a. „Gas“. https://fnb-gas.de/wp-content/uploads/2021/09/210909_DE_FNB_GAS_2022_SR.pdf.
- . 2021b. „Kriterien für Kapazitätsreservierungen und Kapazitätsausbauansprüche nach §§ 38/ 39 GasNZV für den Netzentwicklungsplan Gas 2022-2032“. https://fnb-gas.de/wp-content/uploads/2021/10/2021_01_11_sr_2022_-_kriterien_38_39_gasnzv_de.pdf.

- . 2022a. „Zwischenstand. Netzentwicklungsplan Gas 2022–2032“. Berlin: FNB Gas. https://fnb-gas.de/wp-content/uploads/2022/07/2022_07_06_NEP-Gas-2022-2032-Zwischenstand.pdf.
- . 2022b. „Netzentwicklungsplan Gas 2022–2032. Ergänzung zum Szenariorahmen“. Konsultation. https://fnb-gas.de/wp-content/uploads/2022/09/2022_09_23_DE_Ergaenzung-zum-SR-NEP-Gas-2022-2032.pdf.
- . 2022c. „Netzentwicklungsplan Gas 2022–2032 - Konsultation“. Konsultation. https://fnb-gas.de/wp-content/uploads/2022/12/2022_12_20_FNB_GAS_2022_P3_NEP_Konsultation_DE.pdf.
- . 2023. „Netzentwicklungsplan Gas 2022–2032. Entwurf“. Entwurf. https://fnb-gas.de/wp-content/uploads/2023/03/2023_03_31_FNB_GAS_2022_P4_NEP_Entwurf_DE.pdf.
- Gerbaulet, Clemens. 2018. „The Role of Electricity Transmission Infrastructure“. In *Energiewende „Made in Germany“*, herausgegeben von Christian von Hirschhausen, Clemens Gerbaulet, Claudia Kemfert, Casimir Lorenz, und Pao-Yu Oei, 193–216. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95126-3_8.
- Greta Sundermann, Melanie Annen, Sophie Hamm, Ariane Krause, und Christian von Hirschhausen. 2021. „Agrar- und Nährstoffwende. Vergessene Transformationen“. FES Impuls. Friedrich-Ebert-Stiftung. <http://library.fes.de/pdf-files/a-p-b/18838.pdf>.
- Hirschhausen, Christian von, Claudia Kemfert, und Fabian Praeger. 2022. „Fossil Natural Gas Exit – A New Narrative for the European Energy Transformation Towards Decarbonization“. *Economics of Energy & Environmental Policy* 10 (2). <https://doi.org/10.5547/2160-5890.10.2.chir>.
- Hirschhausen, Christian von, und Pao-Yu Oei. 2013. „Gutachten zur energiepolitischen Notwendigkeit der Inanspruchnahme der im Teilfeld II des Tagebau Welzow-Süd lagernden Kohlevorräte unter besonderer Berücksichtigung der Zielfunktionen der Energiestrategie 2030 des Landes Brandenburg“. *Politikberatung kompakt*, Nr. 71. https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.418082.de/diwkompakt_2013-071.pdf.
- Hirschman, Albert O. 1967. *Die Strategie der wirtschaftlichen Entwicklung*. Bd. 13. Ökonomische Studien. Stuttgart, Germany: Gustav Fischer.
- Holz, Franziska, Christian von Hirschhausen, Robin Sogalla, Lukas Barner, Björn Steigerwald, und Claudia Kemfert. 2023. „Deutschlands Gasversorgung ein Jahr nach russischem Angriff auf Ukraine gesichert, kein weiterer Ausbau von LNG-Terminals nötig.“ DIW aktuell 86. Sonderausgaben zum Krieg in der Ukraine. Berlin: DIW Berlin - Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung.
- Holz, Franziska, Robin Sogalla, Christian von Hirschhausen, und Kemfert, Claudia. 2022. „Energieversorgung in Deutschland auch ohne Erdgas aus Russland gesichert“. *DIW aktuell*, Sonderausgaben zum Krieg in der Ukraine, 83 (April). https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.838841.de/diw_aktuell_83.pdf.
- IEA. 2010. *World Energy Outlook 2010*. World Energy Outlook. Paris, France: OECD. http://www.oecd-ilibrary.org/energy/world-energy-outlook-2010_weo-2010-en.
- . 2015. „World Energy Outlook 2015“. *World Energy Outlook*, Nr. ISBN: 978-92-64-24366-8. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/5a314029-69c2-42a9-98acd1c5deeb59b3/WEO2015.pdf>.
- . 2022. „Solar PV“. Paris. <https://www.iea.org/reports/solar-pv>.
- IPCC. 2023. „Synthesis Report of the IPCC Sixth Assessment Report (AR6)“. Summary for Policymakers. https://report.ipcc.ch/ar6syr/pdf/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf.

- Jarass, Lorenz. 2013. „Stromnetzausbau für erneuerbare Energien erforderlich oder für unnötige Kohlestromeinspeisung?“ *E-Werk*, Nr. 6: 320–26.
- Kemfert, Claudia, Fabian Präger, Isabell Braunger, Franziska M. Hoffart, und Hanna Brauers. 2022. „The Expansion of Natural Gas Infrastructure Puts Energy Transitions at Risk“. *Nature Energy* 7 (Juli): 582–87. <https://doi.org/10.1038/s41560-022-01060-3>.
- Kendzioriski, Mario, Leonard Göke, Christian von Hirschhausen, Claudia Kemfert, und Elmar Zozmann. 2022. „Centralized and Decentral Approaches to Succeed the 100% Energiewende in Germany in the European Context – A Model-Based Analysis of Generation, Network, and Storage Investments“. *Energy Policy* 167 (August): 113039. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113039>.
- Löffler, Konstantin, Thorsten Burandt, Karlo Hainsch, und Pao-Yu Oei. 2019. „Modeling the Low-Carbon Transition of the European Energy System - A Quantitative Assessment of the Stranded Assets Problem“. *Energy Strategy Reviews* 26 (November): 100422. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.100422>.
- Mieth, Robert, Clemens Gerbaulet, Christian von Hirschhausen, Claudia Kemfert, Friedrich Kunz, und Richard Weinhold. 2015. „Perspektiven für eine sichere, preiswerte und umweltverträgliche Energieversorgung in Bayern“. *Politikberatung kompakt*, Nr. 97. https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.506603.de/diwkompakt_2015-097.pdf.
- Mieth, Robert, Richard Weinhold, Clemens Gerbaulet, Christian von Hirschhausen, und Claudia Kemfert. 2015. „Stromnetze und Klimaschutz: neue Prämissen für die Netzplanung“. *DIW Wochenbericht* 82 (6): S. 91–96.
- Nationales Begleitgremium. 2020. „Geschäftsordnung des Nationalen Begleitgremiums“. Berlin. https://www.nationales-begleitgremium.de/SharedDocs/Downloads/DE/Downloads_NBG_allgemein/Geschaeftsordnung_aktualisiert_27_11_2020.pdf?__blob=publicationFile&v=5.
- . 2023. „Das NBG stellt sich vor“. Berlin. https://www.nationales-begleitgremium.de/SharedDocs/Downloads/DE/Downloads_NBG_allgemein/NBG_stellt_sich_vor_01_2023.pdf?__blob=publicationFile&v=12.
- Neumann, Anne, Leonard Göke, Franziska Holz, Claudia Kemfert, und Christian Von Hirschhausen. 2018. „Erdgasversorgung: Weitere Ostsee-Pipeline ist überflüssig“. *DIW Wochenbericht* 2018 (27): 590–97. https://doi.org/10.18723/diw_wb:2018-27-1.
- Oei, Pao-Yu, Hauke Hermann, Philipp Herpich, Oliver Holtemöller, Benjamin Lünenbürger, und Christoph Schult. 2020. „Coal Phase-out in Germany – Implications and Policies for Affected Regions“. *Energy*.
- Pfeffer, Janosch, Simon Wehden, und Balthasar Klingenhage. 2021. „Mut machen statt zumuten: Über die Rolle von Bürger*innenräten in der Entscheidungsdekade der Großen Transformation“. *Forschungsjournal Soziale Bewegungen* 34 (31). https://forschungsjournal.de/fjsb/wp-content/uploads/fjsb-plus_2021-3_pfeffer_wehden_klingenhage.pdf.
- Präger, Fabian, Achim Brunnengräber, und Christian von Hirschhausen. 2023. „Atomwende? Ja bitte! Warum die Abkehr von der Atomenergie und eine gute Entsorgungspolitik die Energiewende in Deutschland befördern werden“. *GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society* 32 (S2).
- PV Think Tank. 2023. „Vom Megawatt zum Terawatt – Neue Maßstäbe für die Photovoltaik“. PV Think Tank Impuls. https://pv-thinktank.de/wp-content/uploads/2023/02/PV-TT_Impuls_PV-Boom-weltweit-und-Implikationen-fuer-Deutschland_Feb-2023.pdf.
- Reiner Lemoine Stiftung. 2021. „Institutionelle Transformation für die Energiewende. Fünf Thesen und Handlungsprioritäten“. <https://www.reiner-lemoine-stiftung.de/pdf/Institutionelle-Transformation-fuer-die-Energiewende.pdf>.

- Sachverständigenrat für Umweltfragen. 2021. „Wasserstoff im Klimaschutz: Klasse statt Masse“. Stellungnahme. Berlin. https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/04_Stellungnahmen/2020_2024/2021_06_stellungnahme_wasserstoff_im_klimaschutz.pdf;jsessionid=09346CF40CBDB77Bo6CF9D19E5ADA349.2_cid292?__blob=publicationFile&v=4.
- Schmidt, Jan-Hinrik. 2018. „Das Partizipationsparadox“. In *Social Media*, von Jan-Hinrik Schmidt, 97–109. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-19455-0_7.
- Senfuß, Frank. 2022. „Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland“. Überblickswebinar gehalten auf der Treibhausgasneutrale Szenarien T45, November 15. https://www.langfristszenarien.de/enertile-explorer-wAssets/docs/LFS3_T45_Szenarien_15_11_2022_final.pdf.
- Sieveking, Jan, Lucas Schwarz, Dörte Themann, und Achim Brunnengräber. 2022. „Auf dem Weg zum weichen Endlagerstaat. Gelingende Beteiligung bei der Suche nach einem Standort für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland“. Handlungsempfehlung. Stiftung Leben & Umwelt / Heinrich-Böll-Stiftung Niedersachsen. <https://www.sluboeell.de/de/2022/05/18/auf-dem-weg-zum-weichen-endlagerstaat-o>.
- Smeddinck, Ulrich, Klaus-Jürgen Röhlig, Melanie Mbah, und Vinzenz Brendler, Hrsg. 2022. *Das „lernende“ Standortauswahlverfahren für ein Endlager radioaktiver Abfälle*. Berliner Wissenschafts-Verlag. <https://doi.org/10.35998/9783830555124>.
- SPD, BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN UND FDP. 2021. „Mehr Fortschritt Wagen - Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit“. Koalitionsvertrag zwischen SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDP.
- . 2023. „Modernisierungspaket für Klimaschutz und Planungsbeschleunigung“. https://www.spd.de/fileadmin/Dokumente/Beschluesse/20230328_Koalitionsausschuss.pdf.
- SPD.DE/ GRUENE.DE/ FDP.DE. 2021. „Koalitionsvertrag zwischen SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDP“. 2021. <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/974430/1990812/04221173eef9a6720059cc353d759a2b/2021-12-10-koav2021-data.pdf?download=1>.
- SRU. 2022. „Wie viel CO₂ darf Deutschland maximal noch ausstoßen? Fragen und Antworten zum CO₂-Budget“. Stellungnahme. Berlin. https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/04_Stellungnahmen/2020_2024/2022_06_fragen_und_antworten_zum_co2_budget.pdf?__blob=publicationFile&v=13.
- Stognief, Nora, Paula Walk, Pao-Yu Oei, Isabell Braunger, Felipe Corral, und Catharina Rieve. 2020. „Das Lausitzer Braunkohlerevier. Aktuelle Zahlen, Daten und Fakten zur Energiewende“. Berlin: Technische Universität Berlin, CoalExit Forschungsgruppe. <https://coaltransitions.org/publications/das-lausitzer-braunkohlerevier/>.
- Treichel, Katja, Martin Kowarsch, und Mareike Blum. 2022. „Wie die Zivilgesellschaft am Lernprozess von Ariadne beteiligt wird“. Ein Ariadne Policy Brief. Kopernikus-Projekt Ariadne. https://ariadneprojekt.de/media/2022/11/Ariadne-PolicyBrief_Buergerdeliberation_November-2022.pdf.