



Bundesnetzagentur

# Wissenschaftsdialog 2018

## Tagungsband



**Wissenschaftsdialog 2018**  
Tagungsband

## Inhalt

<b>Vorwort</b>	<b>7</b>
<b>1   Evaluierung des gestuften Planungs- und Genehmigungsverfahrens Stromnetzausbau im Hinblick auf seine Wirksamkeit für den Umweltschutz – juristisch, planerisch, technisch</b> Ein Forschungsprojekt im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit	<b>8</b>
<b>2   Ein Einblick in die Metastudie über Annahmen, Erkenntnisse und Narrative von Dezentralität, Regionalisierung und Stromnetze</b>	<b>20</b>
<b>3   Hochspannungsleitungen planen und deren Akzeptanz erhöhen mit dem 3D Decision Support System der ETH Zürich</b>	<b>30</b>
<b>Impressum</b>	<b>39</b>

**„Verwicklungen zu vereinfachen ist in allen  
Wissenszweigen der erste wesentliche Erfolg.“**

**Henry Thomas Buckle**

## Vorwort

2013 haben wir zum ersten Mal zum Wissenschaftsdialog eingeladen. Inzwischen hat sich die Veranstaltung etabliert und gehört zum festen Angebot der Bundesnetzagentur. Der Wissenschaftsdialog hat seinen ganz besonderen Reiz. Einerseits bietet er den Experten die Gelegenheit, ihre Fachthemen mit anderen Kennern vertieft zu diskutieren. Andererseits fördert der interdisziplinäre Austausch mit anderen Fachrichtungen neue Perspektiven und den manchmal so wichtigen Blick über den Tellerrand. Wissenschaft lebt von gegenseitigen Einflüssen und neuen Einblicken. Das wollen wir unterstützen. Dabei ist es uns wichtig, einen ungezwungenen Rahmen zu bieten. Das trägt dazu bei, dass die Teilnehmer ihre intensiven Fachgespräche auch abseits der Konferenzräume weiterführen.

In der Folge sind aus dem Wissenschaftsdialog bereits interessante Kooperationen gewachsen. Dass sich von einer ersten Präsentation bis zum praktischen Einsatz noch einiges verändert, liegt in der Natur der Sache. Wir sind dennoch stolz darauf, viele Themen lange vor der Einführung diskutiert und mitgestaltet zu haben.

2018 konnten wir erneut interessante Diskussionen anregen. Unter dem Motto „Netzausbau im interdisziplinären Fokus“ kamen Juristen, Umweltwissenschaftler, Netzplaner und Europa-Experten zusammen. Sie alle hatten neben ihrer eigenen Forschung stets das Ziel vor Augen, die Stromnetze zukunftssicher zu gestalten. Das im Jahr 2019 aktualisierte NABEG gibt hierzu den Rechtsrahmen, technischer Fortschritt ermöglicht neue Ansätze. Eine über die Ländergrenzen gehende Zusammenarbeit ist im europäischen Verbundnetz unverzichtbar.

Der vorliegende Tagungsband stellt einen Auszug der behandelten Themen dar. Die weiteren Themen und die Präsentationen dazu können Sie auf [www.netzausbau.de/wissenschaftsdialog-2018](http://www.netzausbau.de/wissenschaftsdialog-2018) ansehen und herunterladen. Allen Teilnehmern und ganz besonders den Autoren dieses Tagungsbandes gilt mein besonderer Dank.

Im Namen der gesamten Bundesnetzagentur freue ich mich, weiterhin mit Ihnen in Kontakt zu bleiben. Nutzen Sie den Input von außen als inneren Antrieb für Ihre Ideen von morgen.



Jochen Homann  
Präsident der Bundesnetzagentur

Die Bundesnetzagentur begrüßt den Diskurs zum Netzausbau, der mit dem Wissenschaftsdialog entstanden ist. Die Autorenbeiträge setzen sich differenziert und durchaus auch kritisch mit der Energiewende und dem Netzausbau auseinander. Der Tagungsband ist als authentischer Dialog zu verstehen, dessen Inhalt nicht zwingend die Meinung der Bundesnetzagentur widerspiegelt.

Dieses Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Die Autoren sind für ihre Beiträge selbst verantwortlich. Die Rechte an den Beiträgen liegen ebenfalls bei den Autoren bzw. den Urhebern der jeweiligen Werke.

# 1 | Evaluierung des gestuften Planungs- und Genehmigungsverfahrens Stromnetzausbau im Hinblick auf seine Wirksamkeit für den Umweltschutz – juristisch, planerisch, technisch

## Ein Forschungsprojekt im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

### Kurzbeschreibung

Die Energiewende und der damit verbundene Zubau erneuerbarer Energien in Deutschland machen den zeitnahen Ausbau der Übertragungsnetze erforderlich, um die aus erneuerbaren Energiequellen erzeugten Strommengen in sämtliche Regionen des Landes transportieren zu können. Als Mittel der Beschleunigung des Netzausbaus hat der Gesetzgeber im Jahr 2011 das „Energiewirtschaftsgesetz (EnWG)“ an diese Aufgabe angepasst und das „Netzausbaubeschleunigungsgesetz Übertragungsnetz (NABEG)“ verabschiedet.

Über den eigentlichen Beschleunigungseffekt hinaus soll das Gesetz dazu beitragen, den Netzausbau möglichst rechtssicher und effizient, aber auch transparent und umweltfreundlich zu gestalten. Dadurch wird ein Spannungsverhältnis zwischen diesen einzelnen Zielsetzungen erzeugt, das in einen bestmöglichen Ausgleich zu bringen ist. Vor allem sollen die Beschleunigung und die Transparenz des Netzausbaus nicht dazu führen, dass Umweltbelange zu Gunsten der anderen Ziele vernachlässigt werden.

Gegenstand der Evaluierung war es, das Spannungsverhältnis zwischen beschleunigenden Verfahrenselementen der Planungs- und Genehmigungsverfahren und dem Umweltschutz zu untersuchen. Es sollten rechtliche und tatsächliche Faktoren identifiziert werden, die den Verlauf der Netzausbauvorhaben positiv, negativ oder gar nicht beeinflussen. Im Rahmen dieser Evaluierung sollen zudem Erkenntnisse gewonnen werden, inwieweit der derzeit gültige Ordnungsrahmen fortentwickelt werden könnte.

### Die zentralen Punkte der Studie: Gegenstand und Rahmenbedingungen des Forschungsvorhabens

Der mit der Energiewende sowie dem Atomausstieg einhergehende Zubau erneuerbarer Energien erfordert gleichzeitig einen Ausbau der Übertragungsnetze in Deutschland, um den aus erneuerbaren Energiequellen erzeugten Strom, der überwiegend aus Norddeutschland kommt, in sämtliche Regionen Deutschlands übertragen zu können. Die hierzu erforderlichen Netzausbaumaßnahmen wurden in der Bevölkerung

allerdings zum Teil abgelehnt, was zu Verzögerungen bei der Umsetzung der erforderlichen Netzausbauvorhaben führte. Zudem wurden länderübergreifende Netzausbaumaßnahmen von verschiedenen Behörden nach unterschiedlichen Maßstäben betreut. Auch dies verlangsamte den Ausbau deutlich.

Der Gesetzgeber hatte daher das Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) bereits im Jahr 2011 angepasst und, mit dem Ziel einer Beschleunigung der zugehörigen Planungs- und Genehmigungsverfahren, das „Netzausbaubeschleunigungsgesetz Übertragungsnetz“ (NABEG) verabschiedet. Nach der alten Rechtslage nach dem Energieleitungsausbaugesetz (EnLAG) lag der Schwerpunkt auf einer Verfahrensbeschleunigung durch die Feststellung des vordringlichen Bedarfs einer Leitung.

Mit dem NABEG hat der Gesetzgeber zur Beschleunigung die zentrale Zuständigkeit der Bundesnetzagentur für bestimmte Leitungsbauvorhaben sowie den vordringlichen Bedarf der Leitungen festgeschrieben. Zudem erfolgte ein Paradigmenwechsel, indem die Öffentlichkeitsbeteiligung umfassend ausgebaut wurde. Ein wesentlicher Schwerpunkt des Gesetzgebungspakets lag darauf, in der Bevölkerung ein Mehr an Akzeptanz gegenüber den Netzausbauvorhaben zu schaffen. Über den eigentlichen Beschleunigungseffekt hinaus sollten die Gesetzesänderungen dazu beitragen, den Netzausbau möglichst rechtssicher und effizient, aber auch transparent und umweltfreundlich zu gestalten.

Gegenstand des Forschungsvorhabens war es, anhand der Beobachtungen und Erfahrungen umgesetzter oder in der Umsetzung befindlicher Netzausbauvorhaben das Spannungsverhältnis zwischen beschleunigenden Verfahrenselementen der Planungs- und Genehmigungsverfahren und dem Umweltschutz zu untersuchen. Es sollte evaluiert werden, ob die im Rahmen der EnWG-Novelle 2011 eingeführten Beschleunigungselemente die Dauer der Netzausbauvorhaben positiv, negativ oder gar nicht beeinflussen (können) sowie ob und inwieweit sich dies auf die Prüfung der Umweltbelange auswirkt bzw. auswirken kann.

Auf der Grundlage der daraus gewonnenen Erkenntnisse sollte geprüft werden, inwieweit der derzeit gültige Ordnungsrahmen fortentwickelt werden kann.

Das Forschungsvorhaben war dabei von Beginn an mit der Herausforderung konfrontiert, dass von den im BBPlG ausgewiesenen Netzausbauvorhaben nach dem NABEG noch keines die Phase der Planfeststellung durchlaufen hat. Beobachtungen und Erfahrungen aus umgesetzten oder in der Umsetzung befindlichen Netzausbauvorhaben lagen zum Zeitpunkt der Befragung überwiegend nur hinsichtlich der EnLAG-Vorhaben vor, von denen Teile bereits vollständig realisiert sind.

### Beschleunigungselemente im Planungs- und Genehmigungsverfahren nach NABEG

#### Systematisierung der Beschleunigungselemente

Mit den Regelungen in §§ 12a ff. EnWG, §§ 1 ff. NABEG hat der Gesetzgeber ein bundesweit einheitliches Planungs- und Genehmigungsverfahren normiert. Dies hat ausweislich der Gesetzesbegründung das Ziel, durch Transparenz und Partizipation in der Öffentlichkeit ein Mehr an Akzeptanz gegenüber den Netzausbauvorhaben zu erreichen. Gleichzeitig enthält es Beschleunigungselemente, durch die die Komplexität des Planungs- und Genehmigungsverfahrens reduziert und Verfahrensverzögerungen innerhalb der einzelnen Planungs- und Verfahrensschritte vermieden werden sollen.

Zur Systematisierung wurden die Beschleunigungselemente ebenenspezifisch innerhalb der drei Stufen des Planungs- und Genehmigungsverfahrens (Stufe 1: Bedarfsplanung; Stufe 2: Bundesfachplanung; Stufe 3: Planfeststellung) herausgearbeitet und ihrem Inhalt und ihrer Zweckrichtung nach dargestellt:

#### Vergleich der Beschleunigungselemente mit den Regelungen zum Netzausbau in Österreich und Großbritannien

Ein Vergleich der Verfahrensregelungen des gestuften Planungs- und Genehmigungsverfahrens nach §§ 12a ff. EnWG, §§ 1 ff. NABEG mit den Regelungen zum Netzausbau in Österreich sowie in Großbritannien hat gezeigt, dass es in allen drei Staaten eine vorgezogene Bedarfsplanung gibt, die gesetzlich vorgeschrieben und inhaltlich ähnlich ausgestaltet ist. Für Netzausbauvorhaben von gemeinsamem Interesse resultieren weitere Gemeinsamkeiten der Planungsverfahren aus den Vorgaben der TEN-E-Verordnung. Anders als in Deutschland kommt den Netzausbauvorhaben in der Öffentlichkeitswahrnehmung keine überdurchschnittliche Bedeutung zu.

### Uwe Hitschfeld

Uwe Hitschfeld ist seit mehr als 20 Jahren geschäftsführender Gesellschafter von Hitschfeld Büro für strategische Beratung GmbH in Leipzig, einer Unternehmensberatung an der Schnittstelle von Politik, Wirtschaft und öffentlicher Verwaltung. Er befasst sich seit vielen Jahren insbesondere mit strategischer Kommunikation, dem Erringen und Sichern von Akzeptanz (Akzeptanzmanagement) und dem Design und der Realisierung von Partizipationsmodellen (Bürgerbeteiligung und Stakeholderkommunikation).

### Christoph Eichenseer

Christoph Eichenseer ist studierter Kommunikationswirt. Nach einer Zeit als Projektleiter im Bereich „Wahlforschung Politik“ bei Infratest Sozialforschung arbeitet er seit über 10 Jahren an Projekten im Bereich „Akzeptanz bei Infrastruktur-Großprojekten“.

### Marc-Stefan Göge

Herr Rechtsanwalt Marc-Stefan Göge, LL.M. (Rechtsinformatik) studierte in Münster, Hannover und Wien. Von 2003 bis 2006 leitete er am Institut für Informations-, Telekommunikations- und Medienrecht (ITM) an der Universität Münster die Forschungsgruppe „Recht der Netzregulierung“ und unterrichtete als Lehrbeauftragter für deutsches Verwaltungsrecht an der Universität Paris X Nanterre. Überdies ist er seit 2005 im Rahmen von Vortragsveranstaltungen als Referent im Bereich des Energiewirtschaftsrechts tätig. Bis 2009 war Herr Göge als Rechtsanwalt in der Sozietät Apel Höch als Rechtsanwalt beschäftigt und befasste sich dort mit Fragen des Energiewirtschaftsrechts. Seit 01.06.2009 ist Herr Göge Partner der auf Energierecht spezialisierten Kanzlei Höch und Partner Rechtsanwälte mbB. Dort beschäftigt sich Herr Göge schwerpunktmäßig mit der Beratung und Vertretung von Übertragungsnetzbetreibern, Verteilernetzbetreibern und sonstigen Netzbetreibern im Netzzugang (einschließlich Bedingungen und Entgelte) und im Netzausbau sowie im Bereich der erneuerbaren Energien.

### Prof. Dr. Bernd Holznagel

Prof. Dr. Bernd Holznagel, LL.M., Jahrgang 1957, ist Universitätsprofessor für Staats- und Verwaltungsrecht an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster und Direktor der öffentlich-rechtlichen Abteilung des Instituts für Informations-, Telekommunikations- und Medienrecht (ITM). Er ist außerdem Vorsitzender des Wissenschaftlichen Arbeitskreises für Regulierungsfragen der Bundesnetzagentur, Mitglied der Vereinigung Deutscher Staatsrechtslehrer, des Studienkreises für Presserecht und Pressefreiheit, des Deutschen Juristentages sowie des Münchener Kreises.

### Dr. Melanie Kaufmann

Frau Dr. Kaufmann studierte an der Universität Siegen im Diplom-Studiengang „Deutsches und Europäisches Wirtschaftsrecht“ mit dem Schwerpunkt Umwelt- und Energiewirtschaftsrecht und war im Anschluss daran als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Öffentliches Recht unter Berücksichtigung europäischer und internationaler Bezüge an der Universität Siegen tätig. Nach ihrer Promotion im Bereich des Energiewirtschaftsrechts begann Frau Dr. Kaufmann ihre Tätigkeit bei Höch und Partner in Dortmund. Ihr Tätigkeitsschwerpunkt liegt im Regulierungs- und Konzessionsrecht.

## Beschleunigungselemente in den drei Stufen

### Bedarfsplanung

- Prüfungskompetenz der Bundesnetzagentur
- (Frühzeitige) Öffentlichkeitsbeteiligung/Kommunikation
- Formelle Öffentlichkeitsbeteiligung
- Informelle Öffentlichkeitsbeteiligung
- Zyklische Bedarfsplanung
- Verbindliche Bedarfsfestlegung durch Gesetz – Abschichtung von Entscheidungen
- Alternativenprüfung
- Prüfung alternativer Netzverknüpfungspunkte
- Erdkabel als Technologiealternative
- NOVA-Prinzip
- Keine Rechtsschutzmöglichkeiten auf Ebene der Bedarfsfestlegung
- Fristen/Sanktionsmöglichkeiten



### Bundesfachplanung

- Offene Trassenplanung
- Vollständigkeit der Antragsunterlagen
- Öffentlichkeitsbeteiligung/Kommunikation
- Antragskonferenz in der Bundesfachplanung
- Behörden- und Öffentlichkeitsbeteiligung in der Bundesfachplanung
- Kommunikation
- Beteiligung der Bundesländer in der Bundesfachplanung
- Verbindliche Festlegung der Trassenkorridore – Abschichtung von Entscheidungen
- Bundesnetzagentur als Entscheidungsträger
- Abschnittsbildung
- Vereinfachtes Verfahren
- Projektmanager
- Fristen
- Kein Rechtsschutz auf der Ebene der Bundesfachplanung
- Öffentlichkeitsbeteiligung vor Antragstellung nach § 6 NABEG (§ 25 Abs. 3 VwVfG)
- Leitfäden und Methodenpapiere



### Planfeststellung

- Rechtswegverkürzung
- Antragskonferenz/Festlegung des Untersuchungsrahmens
- Vollständigkeit der Antragsunterlagen
- Öffentlichkeitsbeteiligung/Kommunikation
- Abschichtung von Entscheidungen
- Zuständigkeit der Bundesnetzagentur
- Integration von Nebenanlagen in das Planfeststellungsverfahren
- Abschnittsbildung
- Entlastung der Planfeststellungsbehörde durch § 19 Satz 4 Nr. 1 und 2 NABEG
- Obligatorischer Erörterungstermin innerhalb des Anhörungsverfahrens
- Anzeigeverfahren
- Projektmanager
- Fristen/Sanktionsmöglichkeiten
- Vorzeitige Besitzinweisung/Enteignungsverfahren
- Öffentlichkeitsbeteiligung vor Antragstellung nach § 19 NABEG (§ 25 Abs. 3 VwVfG)



Während die Erweiterung der Öffentlichkeitsbeteiligung und die dadurch erhoffte Akzeptanzstärkung einen wesentlichen Schwerpunkt des Gesetzespakets 2011 bildeten, ist in den beiden Vergleichsstaaten keine Intensivierung der Öffentlichkeitsbeteiligung erkennbar. Wesentliche Verfahrensänderungen wurden anders als in Deutschland nicht durchgeführt.

#### Rolle des Rechtsschutzes

Durch die Regelung in § 6 BBPlG i. V. m. § 50 Abs. 1 Nr. 6 VwGO entscheidet das Bundesverwaltungsgericht im ersten und letzten Rechtszug über Streitigkeiten, die in den Bundesbedarfsplan aufgenommene Netzausbauvorhaben betreffen. Dadurch wird der Weg bis zu einer rechtskräftigen Entscheidung deutlich verkürzt. Es handelt sich daher um eines der wesentlichen Elemente zur Verfahrensbeschleunigung.

Innerhalb des gestuften Planungs- und Genehmigungsverfahrens hat sich der Gesetzgeber im Interesse einer Verfahrensbeschleunigung gegen einen phasenweisen Rechtsschutz entschieden. Das bedeutet, dass für Dritte auf der Ebene der Bedarfsplanung sowie der Bundesfachplanung keine Rechtsschutzmöglichkeiten bestehen. Die Entscheidung über die Bundesfachplanung kann lediglich im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens zur Überprüfung gestellt werden. Ergibt sich dabei, dass in dem in der Bundesfachplanung festgelegten Trassenkorridor eine rechtmäßige Planfeststellung nicht erfolgen kann, muss das Verfahren der Bundesfachplanung wiederholt und der Antrag auf Planfeststellung abgelehnt werden. Damit gehen unweigerlich Verfahrensverzögerungen einher. Allerdings sind solche Verfahrensverzögerungen auch dann zu erwarten, wenn Dritte gegen die Entscheidung über die Bundesfachplanung vorgehen könnten. Zudem muss berücksichtigt werden, dass das Bundesverwaltungsgericht die Rechtmäßigkeit der Bundesfachplanung im Rahmen der Überprüfung der Planfeststellung mit einem vergleichsweise geringen zusätzlichen Aufwand prüfen kann.

Die bisherigen Verfahren, insbesondere die beklagten EnLAG-Vorhaben, haben gezeigt, dass auch Umweltbelange Gegenstand gerichtlicher Entscheidungen gegen Planfeststellungsbeschlüsse sind. Einer etwaigen Befürchtung vermehrter Klagen von Umweltvereinigungen, die Rechtsbehelfe erheben können, ohne eine Verletzung in eigenen Rechten geltend machen zu müssen (§ 2 Abs. 1 UmwRG), kann dadurch begegnet werden, dass diese frühzeitig in die Planungs- und Genehmigungsverfahren eingebunden und Umweltbelange entsprechend umfassend abgewogen werden. Die vom Gesetzgeber vorgesehenen weitreichenden

Beteiligungsrechte der Umweltvereinigungen können sich insoweit durchaus verfahrensbeschleunigend auswirken. Zudem kann die strenge Handhabung der umweltrechtlichen Prüfung durch das Bundesverwaltungsgericht und die dadurch bewirkte zunehmende Sensibilisierung der Behörden die Prüfung der Umweltbelange innerhalb des Planungs- und Genehmigungsverfahrens verbessern, was ebenfalls zu einem Rückgang von Klagen beitragen kann.

#### Befragung zur Relevanz der Beschleunigungselemente aus der Sicht der Praxis

Bei der Auswertung der Ergebnisse der Befragung war zu berücksichtigen, dass die Antworten zu der Frage, ob die im Rahmen des Gesetzes über Maßnahmen zur Beschleunigung des Netzausbaus Elektrizitätsnetze vom 28.07.2011 eingeführten Beschleunigungselemente ihre Funktion erfüllen (können) und ob und inwieweit die Beschleunigungselemente dabei die Prüfung der Umweltauswirkungen innerhalb des Planungs- und Genehmigungsverfahrens beeinflussen, überwiegend auf einer prognostischen Einschätzung basierten. Denn Erfahrungen können mangels fortgeschrittener Vorhaben nach dem NABEG allenfalls auf Erkenntnissen aus anderen Verfahrensordnungen, insbesondere den EnLAG Verfahren, beruhen.

Mit dem Ziel, den Einfluss der Beschleunigungselemente auf das Verfahrenstempo sowie auf den Umweltschutz zu evaluieren, wurden die herausgearbeiteten Beschleunigungselemente in einen Fragenkatalog für eine schriftliche Befragung überführt (siehe Anlage 6.2), in deren Rahmen die Wirkung der Beschleunigungselemente auf die Verfahrensdauer sowie den Umweltschutz abgefragt wurden. Die Grundgesamtheit für die schriftliche wie qualitative Befragung wurde hierzu zuvor anhand ausgewählter Referenzprojekte abgegrenzt. 128 Institutionen wurden angeschrieben. Der Rücklauf umfasste 52 ausgefüllte Fragebögen, was – qualitätsbereinigt – einer Ausschöpfung von 44 % entspricht.

Auf einer Skala von -5 bis +5 ergab die schriftliche Befragung bei 32 der insgesamt 35 Beschleunigungselemente einen positiven Mittelwert, bei 3 Beschleunigungselementen einen negativen Mittelwert, was eine hemmende Wirkung auf das Verfahrenstempo ausdrückt.

Auf der Stufe der Bedarfsplanung wurde dem Beschleunigungselement „keine Rechtsschutzmöglichkeiten auf Ebene der Bedarfsfestlegung“ die stärkste positive Wirkung auf das Verfahrenstempo (Mittelwert = 2,20), dem Beschleunigungselement „Alternativenprüfung (andere Netzverknüpfungspunkte, Erdkabel als Technologiealternative, NOVA-Prinzip)“ die stärkste negative Wirkung auf das Verfahrenstempo (Mittelwert = -0,46) beigemessen.

Auf der Stufe der Bundesfachplanung wurde dem Beschleunigungselement „Vereinfachtes Verfahren“ die stärkste positive Wirkung auf das Verfahrenstempo beigemessen (Mittelwert = 2,33), dem Beschleunigungselement „offene Trassenplanung“ die stärkste negative Wirkung auf das Verfahrenstempo (Mittelwert = -0,69).

Auf der Stufe der Planfeststellung wurde dem Beschleunigungselement „Rechtswegverkürzung“ die stärkste positive Wirkung auf das Verfahrenstempo beigemessen (Mittelwert = 2,51), dem Beschleunigungselement „Obligatorischer Erörterungstermin“ die niedrigste – dennoch aber eine positive – Wirkung auf das Verfahrenstempo (Mittelwert = 0,61). Auf der letzten Stufe des Planungs- und Genehmigungsverfahrens gab es mithin kein Beschleunigungselement, dem die Befragten eine verfahrenshemmende Wirkung beigemessen haben.

Bei der Bewertung der Auswirkungen auf den Umweltschutz haben sechs der insgesamt 35 Beschleunigungselemente – ebenfalls auf einer Skala von -5 bis +5 – negative Werte erhalten. Auf allen drei Stufen haben die Befragten die Fristenregelungen negativ beurteilt, ebenso wie die innerhalb der beiden letzten Stufen des Planungs- und Genehmigungsverfahrens vorgesehenen Möglichkeiten der Verfahrensvereinfachung („Vereinfachtes Verfahren“; „Anzeigeverfahren“). Zudem wurde die Einschränkung des Drittrechtsschutzes auf der Ebene der Bundesfachplanung („kein Rechtsschutz auf der Ebene der Bundesfachplanung“) negativ bewertet. Bei diesen Beschleunigungselementen haben die Befragten mithin angenommen, dass sie sich negativ auf die Prüfung der Umweltbelange auswirken können.

Auf der Stufe der Bedarfsplanung wurde dem Beschleunigungselement „Alternativenprüfung (andere Netzverknüpfungspunkte, Erdkabel als Technologiealternative, NOVA-Prinzip)“ die stärkste positive Wirkung auf den Umweltschutz beigemessen (Mittelwert = 1,98), dem Beschleunigungselement „Fristen/Sanktionsmöglichkeiten“ die stärkste negative Wirkung auf den Umweltschutz (Mittelwert = -0,29).

Auf der Stufe der Bundesfachplanung wurde dem Beschleunigungselement „Öffentlichkeitsbeteiligung (Antragskonferenz, Behörden- und Öffentlichkeitsbeteiligung)/Kommunikation“ die stärkste positive Wirkung auf den Umweltschutz beigemessen (Mittelwert = 2,04), dem Beschleunigungselement „Vereinfachtes Verfahren“ die stärkste negative Wirkung auf den Umweltschutz (Mittelwert = -0,74).

Auf der Stufe der Planfeststellung wurde dem Beschleunigungselement „Antragskonferenz/Festlegung des Untersuchungsrahmens“ die stärkste positive Wirkung auf den Umweltschutz beigemessen (Mittelwert = 2,19), dem Beschleunigungselement „Fristen/Sanktionsmöglichkeiten“ die stärkste negative Wirkung auf den Umweltschutz (Mittelwert = -0,36).

Ergänzend zu dieser Auswertung wurden qualitative, leitfadengestützte Interviews durchgeführt, um der leitenden Fragestellung nachzugehen. Insgesamt wurden 29 Interviews durchgeführt (Vorhabenträger: 10 / Genehmigungsbehörden: 12 / BNetzA: 3 / Sonstige: 4). Hieraus ergab sich, dass die Einschätzung der Befragten aus der schriftlichen Befragung zu den Auswirkungen der Beschleunigungselemente auf Verfahrensdauer und Umweltschutz von den Gesprächspartnern überwiegend bestätigt wurden. Teilweise wurden die Auswirkungen auf das Verfahrenstempo bzw. den Umweltschutz aber auch positiver eingeschätzt als im Rahmen der schriftlichen Befragung. Dies gilt nicht nur, aber insbesondere für das Beschleunigungselement der „Rechtswegverkürzung“. Nicht nur die positive Wirkung des Beschleunigungselements auf das Verfahrenstempo wurde von den Gesprächspartnern bestätigt. Auch die Auswirkungen auf den Umweltschutz wurden unter Hinweis darauf, dass das BVerwG als starker Sachwalter der Umwelt angesehen wird, gegenüber der schriftlichen Befragung deutlich positiver eingeschätzt. Auch die Auswirkungen des Beschleunigungselements „Leitfäden/Methodenpapiere“ haben die Gesprächspartner/innen im Rahmen der qualitativen leitfadengestützten Stakeholder-Interviews positiver eingeschätzt als im Rahmen der schriftlichen Befragung.

#### Bewertung der Ergebnisse der Befragungen

Da die Ergebnisse der schriftlichen Befragung mangels fortgeschrittener Vorhaben nach dem NABEG überwiegend auf prognostischen Angaben beruhen, hat sich bei einer Vielzahl von Beschleunigungselementen ein insgesamt uneinheitliches Meinungsbild gezeigt. Bei der Formulierung von Handlungsempfehlungen kam daher dem im Rahmen der qualitativen leitfadengestützten Stakeholder-Interviews zum Ausdruck

gebrachten Interesse der Verfahrensbeteiligten an einer Kontinuität des Rechtsrahmens eine umso stärkere Bedeutung zu.

#### Bewertung der Ergebnisse innerhalb der drei Verfahrensstufen Bedarfsplanung

Innerhalb der in §§ 12a ff. EnWG normierten Bedarfsplanung, die beginnend mit dem Szenariorahmen über die Erstellung des Netzentwicklungsplans in das Bundesbedarfsplangesetz (BBPlG) mündet, hat der Gesetzgeber das Plan- und Genehmigungsverfahren für Netzausbauvorhaben im Sinne von § 2 Abs. 1 NABEG gegenüber der Bedarfsfestlegung nach EnLAG deutlich erweitert. Seither gibt es eine zyklische Bedarfsplanung, die nicht nur eine umfassende Öffentlichkeitsbeteiligung, sondern auch eine Alternativenprüfung beinhaltet. Beides führt vordergründig zu einer Verlängerung der Planungs- und Genehmigungsverfahren.

Die Auswirkungen der gesetzlichen Regelungen zur Bedarfsplanung auf die Verfahrensdauer wurden von den Befragten dennoch nicht mehrheitlich negativ eingeschätzt. Auf der Grundlage der Mittelwerte aus der schriftlichen Befragung kann – mit Ausnahme des Beschleunigungselements „Alternativenprüfung (andere Netzverknüpfungspunkte, Erdkabel als Technologiealternative, NOVA-Prinzip)“ – im Gegenteil eine positive, jedenfalls aber eine neutrale Wirkung auf das Verfahrenstempo angenommen werden. Dennoch zeigte sich ausgedrückt in hohen Werten für die Standardabweichung kein einheitliches Meinungsbild der Befragten.

Ein homogeneres Meinungsbild zeigte sich bei der Bewertung der Umweltauswirkungen. Mit Ausnahme des Beschleunigungselements „Fristen/Sanktionsmöglichkeiten“ wurden die Auswirkungen auf den Umweltschutz überwiegend positiv, jedenfalls aber neutral bewertet. Insbesondere die Entscheidung des Gesetzgebers für eine frühzeitige Öffentlichkeitsbeteiligung auf der Ebene der Bedarfsplanung sowie die gesetzgeberische Entscheidung, schon bei der Planung des Bedarfs eine Alternativenprüfung durchzuführen, wurden mit Blick auf den Umweltschutz deutlich positiv bewertet.

Im Rahmen der qualitativen leitfadengestützten Stakeholder-Interviews wurde zudem die Bedeutung einer ganzheitlichen Betreuung der Netzausbauvorhaben betont, sodass die Entscheidung des Gesetzgebers für eine phasenübergreifende Betreuung der Netzausbauvorhaben durch die Bundesnetzagentur positiv zu bewerten ist.

Zudem kann das Ziel des Gesetzgebers, durch eine umfassende Öffentlichkeitsbeteiligung in einem frühen Verfahrensstadium ein Mehr an Transparenz und Beteiligung zu schaffen, durch die Regelungen zur Öffentlichkeitsbeteiligung auf der Ebene der Bedarfsfestlegung erreicht werden. Offen bleibt aber, ob sich die frühzeitige Öffentlichkeitsbeteiligung positiv auf das Verfahrenstempo auswirken kann. Dies kann allerdings erst nach Abschluss der Planfeststellungsverfahren beurteilt werden, was bei Abschluss der vorliegenden Evaluierung für keines der Netzausbauvorhaben nach NABEG zutrifft. Da die frühzeitige und umfassende Öffentlichkeitsbeteiligung teilweise als eines der größten Hemmnisse in Bezug auf die Verfahrensdauer angesehen wird, könnte sich auch ergeben, dass ein „Zurückfahren“ der sehr umfassenden Öffentlichkeitsbeteiligung auf der Stufe der Bedarfsplanung geboten ist. Aufgrund der mehrheitlich positiv eingeschätzten Wirkung auf den Umweltschutz sowie aufgrund des im Rahmen der Evaluierung gewonnenen Eindrucks, dass die Kontinuität des Rechtsrahmens ein entscheidender Faktor für die erfolgreiche Umsetzung der Netzausbauvorhaben ist, sprechen derzeit gute Gründe dafür, die Öffentlichkeitsbeteiligung auf der Ebene der Bedarfsplanung beizubehalten.

Auf der Grundlage der Ergebnisse der Befragung ist eine Anpassung der gesetzlichen Regelungen zur Bedarfsplanung in §§ 12a ff. EnWG (derzeit) nicht angezeigt.

#### Bundesfachplanung

Für Netzausbauvorhaben, die dem NABEG unterfallen, ist dem Planfeststellungsverfahren die Bundesfachplanung vorgelagert, in der nicht nur die Raumverträglichkeit des Netzausbauvorhabens, sondern auch und insbesondere die Umweltverträglichkeit geprüft wird. Hierzu ist die Strategische Umweltprüfung (SUP) als unselbstständiges Verfahren in das Verfahren der Bundesfachplanung integriert. Dabei hat der Gesetzgeber innerhalb der Bundesfachplanung umfassende Partizipationsmöglichkeiten der verschiedenen Interessenträger geschaffen. Die Partizipation innerhalb der Bundesfachplanung geht dabei deutlich über die Öffentlichkeitsbeteiligung in den Raumordnungsverfahren der Länder hinaus und kann neben der offenen Trassenplanung sowie der Zuständigkeit der Bundes-

„ Offen bleibt, ob sich die frühe Öffentlichkeitsbeteiligung positiv auf das Tempo auswirkt.“

netzagentur als wesentliche Neuerung gegenüber der bisherigen Gesetzeslage angesehen werden.

Gerade von den beiden wesentlichen Neuerungen, namentlich der offenen Trassenplanung sowie der fakultativen Öffentlichkeitsbeteiligung, erwartet sich der Gesetzgeber eine Akzeptanzstärkung gegenüber den Netzausbauvorhaben, die sich mittelbar positiv auf die Verfahrensdauer auswirken soll. Diese verfahrensbeschleunigende Wirkung haben die Befragten unter Hinweis auf einen hohen Bearbeitungs- und Prüfungsaufwand teilweise in Zweifel gezogen. Eine belastbare Bewertung, ob die Entscheidung des Gesetzgebers für eine offene Trassenplanung in der Bundesfachplanung eine Verfahrensbeschleunigung bewirken kann, kann aber erst nach Abschluss der Planfeststellungsverfahren erfolgen – bei Abschluss der vorliegenden Evaluierung befand sich aber noch keines der Netzausbauvorhaben nach NABEG im Planfeststellungsverfahren. Aufgrund der mehrheitlich neutral bzw. positiv eingeschätzten Wirkung auf den Umweltschutz, einer stärkeren Beteiligung der Öffentlichkeit am Entscheidungsprozess sowie des im Rahmen der Evaluierung gewonnenen Eindrucks, dass die Kontinuität des Rechtsrahmens ein entscheidender Faktor für die erfolgreiche Umsetzung der Netzausbauvorhaben ist, sollte im Rahmen der Bundesfachplanung gleichwohl an der offenen Trassenplanung festgehalten werden.

Ähnliches gilt für die Öffentlichkeitsbeteiligung auf der Ebene der Bundesfachplanung. Da die Wirkungen der Öffentlichkeitsbeteiligung auf den Umweltschutz mehrheitlich positiv eingeschätzt werden und die Öffentlichkeitsbeteiligung gleichzeitig gesellschaftlich erwartet und nur unter großem Widerstand wieder eingeschränkt werden könnte, sollte – auch im Sinne einer Kontinuität des Rechtsrahmens – an den Regelungen zur Öffentlichkeitsbeteiligung in der Bundesfachplanung festgehalten werden.

Die stärkste verfahrensbeschleunigende Wirkung haben die Befragten dem vereinfachten Verfahren beigemessen. Allerdings hat die Befragung gezeigt, dass von der Möglichkeit dieser Vereinfachung der Bundesfachplanung, die eine starke Beschleunigung erwarten lässt, in der Praxis kein Gebrauch gemacht wird. Eine Erleichterung der Anwendungsbedingungen des vereinfachten Verfahrens, die dies ändern könnte, ist aufgrund der erforderlichen SUP-Vorabprüfung nur schwierig umzusetzen. Aufgrund der bisherigen Umsetzungsdefizite sollte seitens des Gesetzgebers daher in Erwägung gezogen werden, ob nicht unter den in § 11 NABEG genannten Voraussetzungen vollständig auf die Durchführung einer

Bundesfachplanung sowie eines Raumordnungsverfahrens verzichtet werden kann. Aufgrund der positiven Bewertung der Wirkungen des vereinfachten Verfahrens auf das Verfahrenstempo bei gleichzeitig überwiegend neutraler Bewertung der Auswirkungen auf den Umweltschutz sollte die Option, die Bundesfachplanung in einem vereinfachten Verfahren durchzuführen, im Übrigen beibehalten werden.

Ferner sollte an den gesetzlichen Regelungen zur Bundesfachplanung festgehalten werden. Das gilt insbesondere für diejenigen Beschleunigungselemente, die sich nach der Meinung/Erfahrung der Befragten positiv auf das Verfahrenstempo auswirken und bei denen gleichzeitig nicht davon auszugehen ist, dass sie sich negativ auf den Umweltschutz auswirken. Das betrifft die Beschleunigungselemente „Vollständigkeit der Antragsunterlagen“, „Verbindliche Festlegung der Trassenkorridore – Abschichtung von Entscheidungen“, „Bundesnetzagentur als Entscheidungsträger“, „Abschnittsbildung“, „Projektmanager“ und „Öffentlichkeitsbeteiligung vor Antragstellung nach § 6 NABEG (§ 25 Abs. 3 VwVfG)“ und „Leitfäden und Methodenpapiere“. Gerade die zuletzt genannten Leitfäden und Methodenpapiere wurden sowohl beim Verfahrenstempo als auch beim Umweltschutz positiv bewertet. Um diese verbindlich zu machen, kann eine Festlegungskompetenz nach § 29 EnWG erwogen werden. Aber auch bei den Beschleunigungselementen „Fristen“ sowie „Kein Rechtsschutz auf der Ebene der Bundesfachplanung“, bei denen die Auswirkungen auf den Umweltschutz mit Werten von -0,11 und -0,41 leicht negativ bewertet wurden, sollte im Interesse einer Kontinuität des Rechtsrahmens sowie der positiv eingeschätzten Wirkungen auf das Verfahrenstempo an den derzeitigen gesetzlichen Regelungen festgehalten werden. Ebenso ist angesichts der Planungshoheit der Länder an dem Beteiligungsrecht der Länder in der Bundesfachplanung festzuhalten, zumal die Auswirkungen auf den Umweltschutz leicht positiv, jedenfalls aber neutral eingeschätzt werden.

#### Planfeststellung

Mit dem Ziel, das Planfeststellungsverfahren zu beschleunigen, hat der Gesetzgeber das Planfeststellungsverfahren für Netzausbauvorhaben, die von § 2 Abs. 1 NABEG erfasst werden, mit den Regelungen in §§ 18 ff. NABEG teilweise in Abweichung zu den Regelungen der §§ 43 ff. EnWG normiert.

Im Rahmen der Befragung hat sich insbesondere die Entscheidung des Gesetzgebers für eine Rechtswegverkürzung als besonders geeignet herausgestellt, den Netzausbau zu beschleunigen. Dabei wurde nicht nur

die Wirkung auf das Verfahrenstempo positiv bewertet. Von einem Teil der Befragten wurde die Zuständigkeit des Bundesverwaltungsgerichts auch mit Blick auf den Umweltschutz positiv bewertet. Das Bundesverwaltungsgericht wurde als „starker Sachwalter der Umwelt“ beschrieben.

Die Beschleunigungselemente „Vollständigkeit der Antragsunterlagen“ und „Öffentlichkeitsbeteiligung/Kommunikation“ wurden sowohl beim Verfahrenstempo als auch beim Umweltschutz deutlich positiv bewertet. Im Rahmen der schriftlichen Befragung ergab sich auch für das Beschleunigungselement „Antragskonferenz/Festlegung des Untersuchungsrahmens“ eine positive Bewertung sowohl für das Verfahrenstempo als auch den Umweltschutz. Allerdings wurden die Auswirkungen auf den Umweltschutz von den Gesprächspartnern der qualitativen leitfadengestützten Interviews eher neutral als positiv eingeschätzt. Es besteht daher kein Bedarf, die zugehörigen gesetzlichen Regelungen anzupassen. Dies gilt auch für diejenigen Beschleunigungselemente auf der Stufe der Planfeststellung, die beim Verfahrenstempo positiv bewertet wurden und bei denen die Auswirkungen auf den Umweltschutz neutral (bzw. leicht positiv) bewertet wurden.

Das Beschleunigungselement „Anzeigeverfahren“ wurde bei den Auswirkungen auf den Umweltschutz mit einem Mittelwert von -0,27 leicht negativ bewertet. Aufgrund der überwiegend positiv eingeschätzten Wirkungen des Anzeigeverfahrens auf das Verfahrenstempo sollte an der Option, anstelle des Planfeststellungsverfahrens ein Anzeigeverfahren durchzuführen, gleichwohl festgehalten werden. Aufgrund der – wie auch beim vereinfachten Verfahren – zu erwartenden Umsetzungsdefizite sollte in Erwägung gezogen werden, § 25 Satz 1 NABEG in eine Soll-Vorschrift zu ändern und § 18 Abs. 1 NABEG um eine Regelung des Inhalts zu ergänzen, der die Bundesnetzagentur verpflichtet, bei einer beantragten Leitungsänderung zu prüfen, ob die Voraussetzungen für eine unwesentliche Änderung im Sinne des § 25 Satz 2 vorliegen.

#### Zwischenfazit

Die Maßnahmen, die der Gesetzgeber im Interesse einer Verfahrensbeschleunigung im Rahmen der Gesetzesnovelle 2011 umgesetzt hat, werden in der Erwartung der Befragten ihren Zweck erfüllen. Die schriftliche Befragung und die Interviews haben überwiegend ergeben, dass die Beschleunigungselemente die bestehenden Planungs- und Genehmigungsprozesse mit Blick auf die Verfahrensdauer positiv

beeinflussen können und der Umweltschutz nach der Einschätzung der Befragten nur bei einigen wenigen Beschleunigungselementen negativ beeinflusst wird.

#### Bewertung – Zusammenhang Öffentlichkeitsbeteiligung und Beschleunigung

Mit dem Ziel, die Akzeptanz gegenüber den Netzausbaumaßnahmen zu erhöhen, hat sich der Gesetzgeber auf allen drei Stufen des Planungs- und Genehmigungsverfahrens für eine umfassende Öffentlichkeitsbeteiligung entschieden. Im Rahmen der qualitativen leitfadengestützten Stakeholder-Interviews haben die Befragten mehrheitlich die Ansicht vertreten, dass sich die Erwartung des Gesetzgebers aus heutiger Sicht nicht bestätigen wird. Belastbare Erfahrungen, die bestätigen könnten, dass (mehr) Öffentlichkeitsbeteiligung zu mehr Akzeptanz führt und deswegen der Netzausbau beschleunigt wird, kann es mit Blick auf den Gesamt-Projektzyklus zum NABEG aber noch keine geben.

Die Öffentlichkeitsbeteiligung hat sich gleichwohl als unverzichtbarer Bestandteil im Planungs- und Genehmigungsprozess erwiesen, weil sie auf ganz praktisch-konkrete Art die heutige Bürgergesellschaft und unser Demokratieverständnis widerspiegelt. Im Rahmen der qualitativen, leitfadengestützten Stakeholder-Interviews wurde dabei insbesondere die Antragskonferenz als sehr positiv bewertet, weil sich die Qualität der Planfeststellungsentscheidung durch frühzeitig bekannt werdende Konfliktlagen erhöhe. Zugleich wird ein Mehr an Verfahrenstransparenz erreicht.

Der Einfluss der Öffentlichkeitsbeteiligung auf die Akzeptanz gegenüber den Netzausbauvorhaben und damit auf die Verfahrensbeschleunigung wurde von den Befragten auf der dritten Stufe des Planungs- und Genehmigungsverfahrens dabei insgesamt stärker eingeschätzt als auf den vorgelagerten Stufen. Je fortgeschrittener die Planungen sind, desto entscheidender scheint mithin der Faktor „Akzeptanz“ zu sein, über den mittelbar eine Verfahrensbeschleunigung erreicht werden soll.

Demgegenüber wurde der Einfluss der Öffentlichkeitsbeteiligung gerade auf der Ebene der Bedarfsplanung als einem sehr fachspezifischen Planungsstadium, innerhalb dessen sich noch keine konkreten Betroffenheiten abzeichnen, als weniger bedeutend eingeschätzt als auf der Stufe der Planfeststellung. Insoweit könnte es sich unter dem Aspekt der weiteren Beschleunigung anbieten, die Öffentlichkeitsbeteiligung (insbesondere) in der Bedarfsplanung zu reduzieren.

Da aber zu erwarten ist, dass eine Änderung am aktuellen System in der Öffentlichkeit als „Zurück-schrauben der Öffentlichkeitsbeteiligung“ gewertet werden würde, sollten die gesetzlichen Regelungen zur Öffentlichkeitsbeteiligung nicht geändert werden, zumal die Befragten eine Kontinuität im Rechtsrahmen als elementar wichtig einstufen.

#### **Bewertung – Zusammenhang zwischen Verfahrensbeschleunigung und Umweltschutz**

Die zugunsten einer Verfahrensbeschleunigung vorgenommenen Gesetzesänderungen gehen überwiegend nicht zu Lasten des Umweltschutzes. Aus einem erhöhten Verfahrenstempo scheint nicht unweigerlich ein Weniger an Umweltschutz zu folgen. Auch wirksame Maßnahmen zur Verfahrensbeschleunigung – wie das vereinfachte Verfahren, die Verkürzung des Rechtsweges und Fristen/Sanktionsmöglichkeiten – scheinen nach Ansicht der Befragten nicht dazu zu führen, dass Umweltbelange nicht ausreichend berücksichtigt werden. Vielmehr werden die Auswirkungen auf den Umweltschutz überwiegend neutral eingeschätzt. Umgekehrt kann insgesamt festgestellt werden, dass besonders wirksame Elemente des Umweltschutzes nicht zulasten der Verfahrensbeschleunigung gehen, sondern die Auswirkungen auf das Verfahrenstempo überwiegend neutral, teilweise sogar positiv bewertet werden.

#### **Anregungen aus den Interviews und Workshops**

Die in den Interviews sowie den Workshops aufgeworfenen und diskutierten Fragen gehen teilweise über die eigentliche Fragestellung des Forschungsvorhabens hinaus und betreffen zum Teil eine rechtspolitische Weiterentwicklung des Rechtsrahmens.

- Die Identifikation des Einzelnen mit der Gesamtaufgabe sollte – jedenfalls bezogen auf das jeweilige Projekt – gefördert werden. Dies ist (auch) eine politische und Führungsaufgabe. Gegebenenfalls kann dieses Ziel durch eine übergeordnete Projektkoordination erreicht werden.
- Die Rolle der Politik wird – auf allen Politikebenen – als elementar eingestuft. Wenn sich die Politik klar positioniert oder gar an den Anhörungen beteiligt, wie dies in z.B. Schleswig-Holstein der Fall ist, wird damit gerechnet, dass das Projekt insgesamt auf höhere Akzeptanz stößt. Klare politische

Aussagen sind wichtig, um auch vor Ort für mehr Akzeptanz zu sorgen. Das zentrale Beispiel ist hierfür die Erdverkabelung. Bei den Bürgerinnen und Bürgern darf nicht der Eindruck erweckt werden, die Umsetzung eines Vorhabens läge allein im Interesse des Vorhabenträgers.

- Die politische Verlässlichkeit und die Belastbarkeit der Rahmenbedingungen sind zentrale Aspekte. Änderungen des Rechtsrahmens führen dazu, dass erst abgewartet wird, wie das Recht auszulegen ist. Das Regelwerk sollte daher nicht permanent verändert werden. Leitfäden und Methodenpapiere werden überwiegend positiv eingeschätzt. Leitfäden und Methodenpapiere sollten für alle zentralen Fragen erstellt werden. Gegebenenfalls bietet sich auch eine Festlegungskompetenz nach § 29 EnWG zugunsten der Behörde an.
- Bei allen Beteiligten des Planungs- und Genehmigungsverfahrens ist die personelle Kontinuität zentral, weil nur auf diese Weise kumulierte Erfahrungen und Arbeitsroutinen gesichert werden können. Erfahrung und Routine minimieren zudem die Sorge und das Risiko, dass Entscheidungen später durch ein Gericht aufgehoben werden. Es müssen zudem ausreichende Planungskapazitäten sowie hinreichende Finanzmittel bei allen Akteuren vorhanden sein.
- Fristen und Sanktionsmöglichkeiten stellen kein Allheilmittel dar. In der Praxis werden sie zudem kaum durchgesetzt. Die Befragten betonten in diesem Zusammenhang den Grundsatz „Gründlichkeit vor Schnelligkeit“. Eine konsequente Anwendung der Fristen könnte nach Einschätzung der Befragten das kooperative Miteinander der Akteure beeinträchtigen. Aufgrund ihres disziplinierenden und orientierenden Charakters sollten Fristen gleichwohl erhalten bleiben. Gegebenenfalls sollte eine weitere Untersuchung erfolgen, in welchen Bereichen eine konsequentere Anwendung von Fristen Arbeitsprozesse tatsächlich beschleunigen und in welchen Bereichen eine größere Flexibilität hilfreich sein kann.
- Die Konzentration des Rechtsschutzes auf das Bundesverwaltungsgericht hat sich unter dem Rechtsregime des EnLAG bewährt. Es ist nicht zu erwarten, dass der Umweltschutz unter der Verkürzung des Rechtsweges leidet. Dies war eine

der wesentlichen Aussagen der Befragten, die offenbar daraus resultiert, dass sich die Behörden und die Vorhabenträger stark an der Rechtsprechung des Bundesverwaltungsgerichts orientieren.

Die Vermeidung von Risiken, dass planerische Entscheidungen kassiert werden und der betriebene Aufwand vergebens war, steht im Vordergrund.

Unter Umständen ist wegen des wachsenden Arbeitsanfalls beim Bundesverwaltungsgericht eine personelle Aufstockung erforderlich.

- Um einen länderspezifisch unterschiedlichen Umgang im Rahmen der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung sowie bei der Verpflichtung zur forstrechtlichen Kompensation zu vermeiden, sollten die Ausgleichs- und Kompensationsmaßnahmen vereinheitlicht werden.

Die Schaffung eines entsprechenden Standards für naturschutzrechtliche Ausgleichsmaßnahmen in Form einer „Bundeskompensationsverordnung Natur“ gemäß § 15 Abs. 7 BNatSchG wird empfohlen.

Ebenso dürfte auch die Vereinheitlichung der Methode der forstrechtlichen Kompensation in Form einer „Bundeskompensationsverordnung Wald“ zu einer erheblichen Erleichterung führen.

Zudem ist angesichts der knappen Anzahl an Kompensationsflächen zur Vermeidung von Verzögerungen bei der Suche nach geeigneten Flächen die Förderung der Bevorratung von Flächen für den naturschutzrechtlichen Ausgleich („Ökokonto“) und analog dazu auch für die forstrechtliche Kompensation wünschenswert.

Die vorstehenden Anregungen aus den Interviews/Workshops zeigen, dass die Optimierung des Ordnungsrahmens eine kontinuierliche Aufgabe darstellt. Aktuell hat der Gesetzgeber einen Gesetzentwurf zur Beschleunigung von Planungs- und Genehmigungsverfahren im Verkehrsbereich vorgelegt.

## **Quellen**

Appel, Markus (2010): NVwZ, Subjektivierung von UVP-Fehlern durch das Umwelt-Rechtsbehelfsgesetz?

Bell, Albrecht/Hermann, Nikolaus (2004): NVwZ, Die Modifikation von Planfeststellungsbeschlüssen.

Berka, Walter (2006): ZfV, Starkstromwegeplanung und örtliches Bau- und Raumordnungsrecht. Zu den raumordnungsrechtlichen und baurechtlichen Zuständigkeiten bei überregionalen Starkstromwegen.

Bosch & Partner GmbH (2015): Qualifizierung des Alternativenvergleichs als Mittel zur Beschleunigung und Akzeptanzsteigerung der Planung von Stromtrassen, Projektbericht. [http://www.boschpartner.de/fileadmin/user\\_upload/pdfs/Erneuerbare\\_Energien/Alternativenvergleich\\_Bundesfachplanung.pdf](http://www.boschpartner.de/fileadmin/user_upload/pdfs/Erneuerbare_Energien/Alternativenvergleich_Bundesfachplanung.pdf). aufgerufen am 07.05.2018.

Binder, Bruno; Trauner, Gudrun (2009): Öffentliches Recht – Grundlagen. Wien.

Britz, Gabriele; Hellermann, Johannes; Hermes, Georg (2015): Energiewirtschaftsgesetz Kommentar. München.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2014): Handbuch für eine gute Bürgerbeteiligung. Berlin.

Bundesnetzagentur (2012): Leitfaden zur Bundesfachplanung nach §§ 4 ff. des Netzausbaubeschleunigungsgesetzes Übertragungsnetz (NABEG). [https://www.netzausbau.de/SharedDocs/Downloads/DE/Methodik/BundesfachplanungLeitfaden.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.netzausbau.de/SharedDocs/Downloads/DE/Methodik/BundesfachplanungLeitfaden.pdf?__blob=publicationFile). aufgerufen am 07.05.2018.

Bundesnetzagentur (2015): Methodenpapier Die Raumverträglichkeitsstudie in der Bundesfachplanung. [https://www.netzausbau.de/SharedDocs/Downloads/DE/Methodik/BFP\\_MethodenRVS-Freileitung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.netzausbau.de/SharedDocs/Downloads/DE/Methodik/BFP_MethodenRVS-Freileitung.pdf?__blob=publicationFile). aufgerufen am 07.05.2018.

Bundesnetzagentur (2017): Methodenpapier Die Strategische Umweltprüfung in der Bundesfachplanung für Vorhaben mit Erdkabelvorrang. [https://www.netzausbau.de/SharedDocs/Downloads/DE/Methodik/BFP\\_MethodenpapierSUP-Erdkabel.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.netzausbau.de/SharedDocs/Downloads/DE/Methodik/BFP_MethodenpapierSUP-Erdkabel.pdf?__blob=publicationFile). aufgerufen am 07.05.2018.

Bundesnetzagentur (2017): Vernetzt 1/2017. [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Bundesnetzagentur/Publikationen/VERNETZT/VERNETZT2017\\_01.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Bundesnetzagentur/Publikationen/VERNETZT/VERNETZT2017_01.pdf?__blob=publicationFile&v=2). aufgerufen am 07.05.2018.

Department of Energy & Climate Change (2014): Delivering UK Energy Investment. London.

Department of Energy & Climate Change (2011): Overarching National Policy Statement for Energy (EN-1), online abrufbar unter: [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/47854/1938-overarching-nps-for-energy-en1.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/47854/1938-overarching-nps-for-energy-en1.pdf). aufgerufen am 08.05.2018.

Department of Energy & Climate Change (2011): National Policy Statement for Electricity Networks Infrastructure (EN-5), [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/37050/1942-national-policy-statement-electricity-networks.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/37050/1942-national-policy-statement-electricity-networks.pdf). aufgerufen am 08.05.2018.

Eibl, Theresa; Felber, Bernhard; Fellingner, Marlies; Plakolm, Marie Sophie; Zwettler, Katharina (2010/2011): Rechtsstellung und Wirkung örtlicher Raumordnungsprogramme. Wien.

Fisahn, Andreas (2004): ZUR 2004, Effektive Beteiligung solange noch alle Optionen offen sind – Öffentlichkeitsbeteiligung nach der Aarhus-Konvention.

Führ, Martin/Schenten, Julian/Schreiber, Melanie/Schulze, Falk/Schütte, Silvia/Osigus, Torsten; Dopfer, Jaqui (2014): Evaluation von Gebrauch und Wirkung der Verbandsklagemöglichkeiten nach dem Umwelt-Rechtsbehelfsgesetz (UmwRG). Dessau-Roßlau.

Giesberts, Ludger/Tiedge, Andreas (2013): NVwZ 2013, Die Verordnung zu Leitlinien für die transeuropäische Energieinfrastruktur.

Hertel, Wolfram; Munding, Christoph-David (2012): NJW 2012, Frühe Öffentlichkeitsbeteiligung bei der Planung von Großvorhaben. Berlin.

Heitzmann, Daniel (2016): ALJ 2016, Transeuropäische Netze: Staatliche Planung im österreichischen Starkstromwegerecht. <http://alj.uni-graz.at/index.php/alj/article/view/56>. Graz. aufgerufen am 08.05.2018.

Austrian Power Grid (2016): Netzentwicklungsplan 2016. <https://www.apg.at/de/netz/netzausbau/Netzentwicklungsplan>. aufgerufen am 20.01.2017.

Kopp, Ferdinand O.; Ramsauer, Ulrich (2014) Verwaltungsverfahrensgesetz Kommentar. München.

Moench, Christoph/Ruttloff, Marc (2014): NVwZ, Rechtsschutzgarantie und Bundesfachplanung.

Posser, Herbert/Faßbender, Kurt (2013): Praxishandbuch Netzplanung und Netzausbau. Berlin/Boston.

Rodi, Michael (2012): Anspruchsvoller Umweltschutz in der Fach- und Raumplanung. Berlin.

Säcker, Franz Jürgen (2014): Berliner Kommentar zum Energierecht. Altusried-Krugzell.

Schadtle, Kai (2013): ZNER 2013, Neue Leitungen braucht das Land – und Europa!.

Für Gesetzesänderungen im Bereich des Netzausbaus ist aufgrund der Ergebnisse des vorliegenden Forschungsvorhabens im Interesse einer Kontinuität des Rechtsrahmens von einer grundlegenden Überarbeitung des Ordnungsrahmens indes abzuraten.

Punktuelle Anpassungen des Ordnungsrahmens, insbesondere beim vereinfachten Verfahren auf der Stufe der Bundesfachplanung, beim Anzeigeverfahren sowie der Plangenehmigung auf der Ebene der Planfeststellung, sind demgegenüber empfehlenswert.

-----

Der gesamte Bericht kann auf der Internetseite des UBA heruntergeladen werden:

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/evaluierung-des-gestuften-planungs-0>

Schenke, Wolf Rüdiger (2015): Verwaltungsgerichtsordnung Kommentar. München.

Schink, Alexander; Versteyl, Andrea; Dippel, Martin (2016): Kommentar zum Netzausbaubeschleunigungsgesetz Übertragungsnetz. Bonn/Berlin/Paderborn.

Siegel, Thorsten (2016): NVwZ, Die Präklusion im europäisierten Verwaltungsrecht.

Spannowsky, Willy; Runkel, Peter, Goppel, Konrad (2010): Raumordnungsgesetz Kommentar. München.

Steinbach, Armin (2013): Kommentar zum Recht des Energieleitungsbaus. Berlin/Boston.

Stracke, Marius (2017): Öffentlichkeitsbeteiligung im Übertragungsnetzausbau. Baden-Baden.

Studie im Auftrag der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena) – Energiewirtschaftliche Planung für die Netzintegration von Windenergie in Deutschland an Land und Offshore bis zum Jahr 2020, [https://shop.dena.de/fileadmin/denashop/media/Downloads\\_Dateien/esd/9113\\_dena-Netzstudie\\_I.pdf](https://shop.dena.de/fileadmin/denashop/media/Downloads_Dateien/esd/9113_dena-Netzstudie_I.pdf). aufgerufen am 29.05.2018.

Verheyen, Roda/Harrison, Kate (2015): Opportunities and restrictions for public participation in European transmission grid projects. Bonn.

de Witt, Siegfried/Scheuten, Frank-Jochen (2013): NABEG Netzausbaubeschleunigungsgesetz Übertragungsnetz mit Energieleitungsausbaugesetz. München.

Ziekow, Jan (2013): NVwZ, Frühe Öffentlichkeitsbeteiligung.

Ziekow, Jan (2007): NVwZ, Das Umwelt-Rechtsbehelfsgesetz im System des deutschen Rechtsschutzes.

## 2 | Ein Einblick in die Metastudie über Annahmen, Erkenntnisse und Narrative von Dezentralität, Regionalisierung und Stromnetze

### 1 | Hintergrund und Motivation

Im März 2018 veröffentlichte die Renewables Grid Initiative (RGI) die vom Öko-Institut erarbeitete Studie „Dezentralität, Regionalisierung und Stromnetze. Metastudie über Erkenntnisse, Annahmen und Narrative“. Die Studie, die fortan als „Metastudie“ bezeichnet wird, leistet einen Beitrag dazu, den Diskurs um das Thema Dezentralität und Stromnetze zu strukturieren. Sie untersucht die Zusammenhänge zwischen Dezentralität und Netzausbaubedarf anhand von einem Vergleich der Modellierungsergebnisse von neun in der öffentlichen politischen Debatte wichtigen Klimaschutzstudien, die in den letzten Jahren für Deutschland publiziert worden sind.

Mit diesem Fokus adressiert die Studie die Spannungsfelder und Abwägungsfragen von Zentralität, Dezentralisierung und zellularen Ansätzen. Dabei werden thematisch vier Leitfragen bearbeitet:

- 1) Wie werden Begriffe wie „Dezentralität“, „zellulärer Ansatz“ oder „Regionalisierung“ definiert?
- 2) Angenommen, es wird eine priorisierte lokale Angebots- und Nachfragedeckung angestrebt: Kann diese angesichts von restriktiven Flächenverfügbarkeiten bilanziell erreicht werden? Welche Rolle spielt in diesem Zusammenhang die Windenergie an Land?
- 3) Welche Erkenntnisse haben wir heute wirklich zum Thema Netzausbaubedarf verschiedener Szenarien? Mit welchen Annahmen erzeugen die einzelnen Studien welche Ergebnisse?
- 4) Was fehlt noch, um die derzeitige Diskussion weiter zu versachlichen?

Im Anschluss an die Veröffentlichung der Studie im März 2018 stellte Dr. Eva Schmid die Metastudie im Rahmen des RGI-Projekts „Debatte Stromnetze Gestalten“ auf mehreren Veranstaltungen vor. Sie führte einen Diskurs über die Ergebnisse, und zwar mit Akteur\*innen wie Bürger\*innen, NGOs, Verbänden

aus diversen Bereichen bzw. Sektoren der Energiewende sowie Verteilnetzbetreiber\*innen.

Ziel dieses vorliegenden Beitrags ist es, die zentralen Ergebnisse der Metastudie entsprechend der skizzierten Leitfragen zusammenzufassen und anschließend auf die Rezeption der Studie einzugehen.

Dieser Beitrag basiert weitestgehend auf den Erkenntnissen der Metastudie oder der ihr zugrundeliegenden Veröffentlichung „Energiewende – Zentral oder dezentral?“. Beide Studien des Öko-Instituts werden im Folgenden nicht mehr explizit zitiert.

### 2 | Grundlage der Metastudie

Unter einer Metastudie wird eine Arbeit verstanden, in der die Ergebnisse vorangegangener Forschungsarbeiten zu einer bestimmten Thematik verglichen werden. Die verschiedenen Forschungsarbeiten unterscheiden sich in den Dimensionen der Methodik und der Annahmen. Unterschiede in den Ergebnissen können dann meist auf Unterschiede in einer der beiden Dimensionen zurückgeführt werden.

In der Metastudie wurden die folgenden zwischen 2013 und 2018 veröffentlichten 12 Studien betrachtet:

- o Öko-Institut/Prognos: Zukunft Stromsystem II – Regionalisierung der erneuerbaren Stromerzeugung (WWF), 2018
- o Öko-Institut: Transparenz Stromnetze (BMBF), 2018
- o FAU: Regionalkomponenten bei der EE-Vergütung (MonK), 2017
- o Fraunhofer ISI/Consentec: Langfristszenarien (BMWi), 2017
- o 50Hertz et al.: Netzentwicklungsplan Strom 2017-2030, 2017
- o E-Bridge/Prognos et al.: Energiewende Outlook 2035 (50Hertz), 2016
- o Consentec: Netzstresstest (TenneT), 2016
- o Prognos/FAU: Dezentralität & zelluläre Optimierung (N-ERGIE), 2016
- o DIW/TU Berlin/Öko-Institut: Two Price Zones for the German Electricity Market – Market Implications and Distributional Effects, 2015
- o VDE: Der zellulare Ansatz, 2015

- o FAU: Regionale Preiskomponenten im Strommarkt (MonK), 2015
- o Reiner Lemoine Institut: Vergleich und Optimierung von zentral und dezentral optimierten Ausbaupfaden [...], 2013

In die quantitative Analyse gehen dann 27 Szenarien aus zehn dieser modellgestützten Studien ein, die sich als dezentrale Szenarien bezeichnen oder die als solche bezeichnet werden. Die Studien haben jeweils unterschiedliche Zielsetzungen und entsprechend auch methodisch unterschiedlich angelegten Modellierungen.

Für jede Studie wurde eine charakteristische Kurzbeschreibung verfasst. Diese beleuchtet den Analyseansatz bzw. die Methodik, das Dezentralitätskonzept, den Regionalisierungsansatz, die betrachteten Szenarien, sowie die wichtigsten Erkenntnisse. Ein Fokus wird auf die Analyse der räumlichen Verteilung (Regionalisierung) der installierten Kapazitäten zur Erzeugung von erneuerbaren Energien gelegt, die, wie sich in der Metaanalyse zeigen wird, wesentlich Einfluss auf die Ergebnisse bezüglich des Netzausbaubedarfs nimmt.

Eine Herausforderung bei dem quantitativen Vergleich der Szenarienergebnisse bestand darin, an die notwendigen Zahlen zu kommen. Oft werden in den Studien nur Graphen abgedruckt. Die meisten Urheber\*innen haben die Autorenschaft der Metastudie unterstützt. Zwei Studien mussten mangels Vergleichbarkeit oder mangels Datenverfügbarkeit ausgeschlossen werden (DIW/TU Berlin/Öko-Institut: Two Price Zones für the German Electricity Market, 2015; FAU: Regionale Preiskomponenten im Strommarkt, 2015). Zweite Herausforderung war, geeignete Metriken zu identifizieren, die sich zu einem Vergleich zwischen den Studien eignen. Dies betrifft insbesondere die Kennzahlen des Netzausbaubedarfs: Ein in „Anzahl an Korridoren“ ausgedrückter Netzausbaubedarf ist schlecht mit einem in „Trassenkilometern“ oder „Investitionsbedarfen“ angegebenen Netzausbaubedarf zu vergleichen.

### 3 | Begriffsdefinition von „Dezentralität“

In den untersuchten Studien fallen die vom Wesen her synonymen Begriffe „Dezentralität“, „Dezentralisierung“, „Regionalisierung“ oder „zellulärer Ansatz“. Diese Nennung hat dazu geführt, dass die Studien mit in die Metastudie aufgenommen wurden. Wie in den Kurzbeschreibungen der einzelnen Studien dargestellt, herrscht unter ihnen keine einheitliche Definition dessen, was „Dezentralität“ eigentlich wirklich meint. Das scheint daran zu liegen, dass Dezentralität (und dessen Syno-

### Franziska Flachsbarth

Dipl.-Ing. Franziska Flachsbarth ist wissenschaftliche Mitarbeiterin des Bereichs Energie und Klimaschutz am Öko-Institut. Sie studierte Wirtschaftsingenieurwesen mit dem Schwerpunkt Energieversorgung (Übertragungsnetze, Energiemarktmodellierung) an der BTU Cottbus. Kern ihrer Arbeit ist die Modellierung des zukünftigen Energiesystems und die Aufbereitung und Handhabung von Daten. Thematische Schwerpunkte sind Übertragungsnetze, dezentrale Energiesysteme und Investitionsentscheidungen..

### Eva Schmid

Dr. Eva Schmid ist Teamleiterin Deutsche und Europäische Klimapolitik bei Germanwatch. Sie promovierte am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) zur partizipativen Modellierung von Klimaschutzszenarien für Deutschland. Als Post-Doc am PIK widmete sie sich einerseits den Unterschieden von zentralen und dezentralen Energiesystemen und andererseits der Modellierung von europäischen Klimaschutzszenarien und der Rolle von Übertragungsnetzen im Stromsystem.

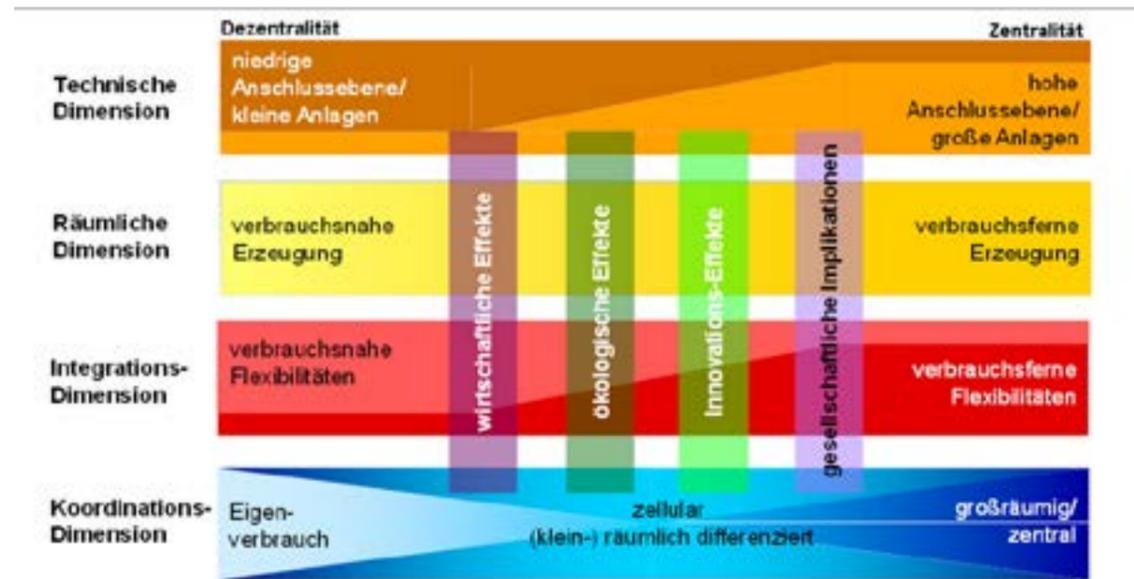
nyme) ein sehr vielschichtiger Begriff ist, der einerseits unterschiedliche (technische oder ökonomische) Dimensionen beinhaltet und andererseits aufgrund unterschiedlicher gesellschaftlicher Effekte bewertet werden kann.

Als ersten Beitrag zur Strukturierung der Debatte entwickelt die Studie eine konzeptionelle Graphik, die eben diese verschiedenen Dimensionen und Bewertungskriterien von „Dezentralität“ illustriert, vgl. Abbildung 1. Auf der linken Seite der Querbalken sind jeweils die dezentralen, auf der rechten die zentralen Ausprägungen der Dimensionen aufgetragen. In der Realität wird es immer eine mithilfe der Farbschattierung der Querbalken angedeutete Mischung der beiden polaren Extreme geben. Die Bewertungskriterien beziehen sich auf eine Auswahl von möglicherweise konfligierenden Politikzielen wie Wirtschaftlichkeit, ökologische Nachhaltigkeit, Innovationsfähigkeit und gesellschaftliche Ziele wie Gerechtigkeit und Teilhabe. Auf die einzelnen Dimensionen und Bewertungskriterien wird im Folgenden kurz eingegangen - tiefergehende Ausführungen sind in der Langfassung zu finden.

#### 3.1 Technisch-ökonomische Dimensionen

Die technische Dimension von Dezentralität adressiert die Größe der Erzeugungsanlagen. Mit einem dezentralen System werden eher kleinere, modulare Erzeugungseinheiten assoziiert, die an einer niedrigen Anschlussebene mit dem System verbunden sind. Es gilt also: Je mehr kleine Erzeugungsanlagen, desto dezentralisiert das System.

Abbildung 1: Technisch-ökonomische Dimensionen und Politikziel-Bewertungskriterien von (De)Zentralität.  
Quelle: Matthes et al. (2018)



Große Erzeugungsanlagen, die an der Höchstspannung angeschlossen sind, sind dagegen mit einem zentralisierten System assoziiert.

Die räumliche Dimension von Dezentralität nimmt die Nähe oder Ferne der Erzeugungsanlagen gegenüber der Nachfrage in den Blick. Ein System, in dem die Erzeugungsanlagen in unmittelbarer Nähe oder zumindest in der Region der Nachfrage installiert sind, wird als dezentral bezeichnet. Ein System, in dem die Erzeugung weit entfernt von den Nachfragezentren stattfindet, wird hingegen als zentralisiert bezeichnet. Ein zentralisierter Zubau von regenerativen Erzeugungsanlagen findet dann statt, wenn die regionalen EE-Anlagen die regionale Nachfrage bereits decken und in der Region dennoch weiterhin EE-Anlagen zugebaut werden, z.B. aufgrund vergleichsweise hoher energetischer Erträge.

Neben der Verbrauchsnähe der Erzeugungsanlagen ist die Verbrauchsnähe der Flexibilitätsoptionen von ebenso hoher Bedeutung. Dies wird hier als Integrationsdimension bezeichnet. Um die wetterabhängige Einspeisung von erneuerbaren Energien mit dem Lastgang der Nachfrage zusammenzubringen, bedarf es Flexibilitätsoptionen. Je näher die Flexibilitätsoptionen an den Erzeugungsanlagen oder an den großen Verbrauchern installiert sind, desto dezentraler ist die Integrationsdimension des Systems ausgeprägt. Große Flexibilitätsoptionen wie Pumpspeicherkraftwerke werden ebenso wie Großkraftwerke als zentrale Ausprägungsform der Integrationsdimension verstanden – unabhängig vom (grundsätzlich verbrauchs- und erzeugungsfernen) Standort der Anlage: Die Differen-

zierung in klein-dezentral und groß-zentral wie bei den Erzeugungsanlagen findet auch Anwendung für Flexibilitätsoptionen.

Die letzte hier betrachtete Dimension ist die Koordinationsdimension. Dabei geht es um die den Mechanismus, der Verbrauch und Nachfrage koordiniert, bzw. steuert bzw. das Marktdesign des Strommarkts. Es geht auch darum, wie Systemdienstleistungen und Flexibilität koordiniert werden – die verschiedenen Koordinationsaufgaben sind nämlich nicht unabhängig voneinander. Von einer zentralen Koordination wird gesprochen, wenn der Ausgleich von Angebot und Nachfrage durch ein einheitliches Marktsignal (auf nationaler Ebene) erfolgt. Unter einer dezentralisierten Koordination wird ein (zunächst) kleinräumiger Ausgleich von Angebot und Nachfrage verstanden. Uneinigkeit besteht darüber, wie das „zunächst“ ausgestaltet und wie groß „kleinräumig“ sein sollte. Einen Spezialfall des stark dezentralisierten Steuerungsmechanismus stellt der Eigenverbrauch dar, als dessen Extrem wären kleinräumige autarke Zellen zu bezeichnen.

Die Frage, wie die Ausgestaltung der techno-ökonomischen Dimensionen mit dem Netzausbaubedarf zusammenhängen, ist nicht sinnvoll für jede Dimension isoliert zu betrachten, sondern es kommt auf die Kombination an. Wenn Erzeugung fast ausschließlich verbrauchsnahe stattfindet, aber Flexibilität eher nur verbrauchsfern erbracht werden können, ist aus technischer Sicht trotzdem ein entsprechend hoher Netzausbaubedarf vonnöten. Die Metastudie zeigt, dass die Dimension der räumlichen Distanz zwischen

Erzeugung und Nachfrage den größten Hebel hat, um Netzausbaubedarf zu verringern. Allerdings werden Flexibilitätsoptionen in den meisten Studien nicht detailliert genug dargestellt, so dass die räumlichen Distanzen zwischen Erzeugung, Nachfrage und Flexibilitätsoptionen nicht verglichen werden konnten.

### 3.2 Bewertungskriterien

Während die Dimensionen sich auf Designelemente des Energiesystems beziehen, haben die in Abbildung 1 darüber liegenden Bewertungskriterien einen Bezug zu übergeordneten Politikzielen. Vier Cluster von Politikzielen treten in der Debatte um Dezentralität besonders hervor: Wirtschaftlichkeit, ökologische Nachhaltigkeit, Innovationsfähigkeit und soziale gesellschaftliche Ziele wie Gerechtigkeit. Die Ziele stehen miteinander im Konflikt: Die Verfolgung des einen widerspricht der Erreichung des anderen. Solche Zielkonflikte müssen im gesellschaftspolitischen Diskurs ausgehandelt werden. Damit wird offensichtlich, dass es sich um eine wertebasierte Entscheidung handelt, welches Maß an techno-ökonomischer Dezentralität für das Energiesystem zukünftig angestrebt werden soll.

Eine Beobachtung im Diskurs um Dezentralität ist, dass sich opponierende politische Gegner\*innen häufig auf jeweils andere Politikziele berufen – aber nicht explizit. Es wird über den Begriff der Dezentralität diskutiert – obwohl der eigentliche Konflikt nicht beispielsweise bei der Anlagengröße liegt, sondern darin, dass die politischen Gegner\*innen die Gewichtung und Priorisierung der Politikziele anders bewerten. Der Konflikt, der debattiert werden müsste, ist also die Gewichtung der Politikziele. Zum Beispiel: Ist mir aktive Teilhabe von Bürger\*innen am Energiesystem als Politikziel wichtig? Oder ist das für mich untergeordnet, und das Hauptziel meiner Bemühungen ist es, die kurzfristige Wirtschaftlichkeit des Energiesystems zu optimieren? Oder geht es mir eigentlich vor allem um ökologische Nachhaltigkeit? Dezentralität ist kein Selbstzweck, sondern ein Themenfeld, in dem der gesellschaftliche Zielkonflikt um die Priorisierung der politischen Ziele ausgetragen wird.

Um den Diskurs zu versachlichen und produktiver zu gestalten, lohnt es sich also, die Belange beim Namen zu nennen. Wenn Sie das nächste Mal mit jemandem über Dezentralität sprechen, so fragen Sie doch Ihr Gegenüber am besten eingangs im Gespräch: „Was meinen Sie genau mit Dezentralität und was versprechen Sie sich davon?“

#### 3.2.1 Dezentralität und wirtschaftliche Effekte

Das Politikziel der Wirtschaftlichkeit verlangt den in der langen Frist effizienten Umgang mit Ressourcen. Im öffentlichen und medialen Diskurs hingegen wird unter „Wirtschaftlichkeit“ meist die Minimierung der kurzfristigen Kosten im Sinne von Geldflüssen verstanden. Eine „wirtschaftliche Stromversorgung“ wird in diesem Diskurs dann an möglichst geringen Strompreisen im Großhandel gemessen. Diese Kennzahl ist insofern reduziert, als sie die externalisierten gesellschaftlichen Kosten nicht einbezieht. Dies betrifft z.B. Subventionierungen von konventionellen und erneuerbaren Kraftwerken und Umweltfolgekosten der langen Frist.

Die wirtschaftlichen Effekte von Veränderungen im Strommarkt werden in Studien häufig unter Berufung auf die Ergebnisse von Strommarktmodellen benannt. Die meisten in den Studien benutzten Modelle minimieren die variablen Stromerzeugungskosten oder die Gesamtsystemkosten über die Zeit. Sie haben somit auch nur eine beschränkte Sichtweise auf das Politikziel.

Dezentrale Lösungen weisen nach Analysen mithilfe von Strommarktmodellen in der Regel höhere Gesamtsystemkosten als zentrale Lösungen auf. Gründe dafür sind folgende:

- Werden mit einem Strommarktmodell die variablen Stromerzeugungskosten in einem zentralen Markt minimiert, so handelt es sich um das Gesamtminimum. Wird diese Kostenminimierung für einzelne Regionen separat durchgeführt und dann aufaddiert, so kann die Summe der Teilminima nur größer sein oder minimal dem Gesamtminimum entsprechen. Anders ausgedrückt: Die über Deutschland aufsummierten variablen Stromerzeugungskosten von dezentral koordinierten kleinräumigeren Ausgleichen von Angebot und Nachfrage liegen immer über denen eines zentral koordinierten Strommarktes.
- Eingang in die Rechnung der Gesamtsystemkosten finden auch die notwendigen Investitionen. Wenn dem Rechenmodell vorgeschrieben wird, dass es die erneuerbaren Windenergieanlagen verbrauchsnahe installieren soll, dann steigen die Gesamtsystemkosten des Ergebnisses, weil es in den verbrauchsnahe Regionen mit ertragsschwächerem Potential

„ Was meinen Sie genau mit Dezentralität und was versprechen Sie sich davon? “

vergleichsweise mehr Anlagen braucht, um die gleiche Menge an Strom zu erzeugen. Mit der höheren Anlagenzahl einher geht ein höherer Investitionsbedarf und (technologieabhängig) ein höherer Flächenbedarf für die Stromerzeugung. Entsprechend fallen die Stromgestehungskosten an Standorten mit geringeren energetischen Erträgen höher aus. Kritisch wird der vergleichsweise erhöhte Flächenbedarf in einem dichtbesiedelten Land wie Deutschland mit steigenden EE-Anteilen insbesondere, weil der Flächenbedarf bei verbrauchsnahe Zubau in Regionen mit hoher Nachfrage und dichter Besiedelung anfällt.

- Neben dem höheren Bedarf an verbrauchsnahe Erzeugungsanlagen besteht auch ein höherer Bedarf an verbrauchsnahe Flexibilitäten, da die Fluktuation des Angebotes zunimmt und entsprechend geglättet werden muss. Flexibilitäten können zusätzliche Investitionsbedarfe, Erschließungskosten und Speicherkosten durch zusätzliche Verluste verursachen. Die Fluktuation des Angebots nimmt bei einer lokal oder regional begrenzten Optimierung überproportional zu, weil dadurch die überregionalen Ausgleichseffekte wegfallen.
- Der Bau und Betrieb von Großanlagen ist aufgrund von Skaleneffekten günstiger als der von Kleinanlagen.

Es gibt hingegen auch Aspekte, welche die Systemgesamtkosten dezentraler Lösungen senken. Dies betrifft insbesondere den Stromübertragungsbedarf: Durch den verbrauchsnahe Zubau erneuerbarer Energieanlagen besteht ein geringerer Stromübertragungsbedarf, welcher sich einerseits in geringeren Netzverlusten im Übertragungsnetz, andererseits erwartungsgemäß in geringerem Netzausbaubedarf des Übertragungsnetzes niederschlägt.

Nach unseren Erkenntnissen bisher nicht eindeutig bestimmt ist, ob der Netzausbaubedarf im Verteilnetz abhängig vom Dezentralisierungsgrad unterschiedlich hoch ausfällt. Die Kosten für das Verteilnetz sind in den allermeisten Studien generell nicht betrachtet, weil die Bilanzgrenze so gezogen ist, dass nur das Übertragungsnetz modelliert wird.

Es gibt, wie eingangs beschrieben, Fragestellungen, die mit einem Strommarktmodell nicht adressiert werden können, die aber von hoher gesellschaftlicher Relevanz sind. Hierunter fallen z.B. auch Verteilungsfragen der wirtschaftlichen Effekte von Dezentralität. Strommarktmodelle können zwar die Strompreise, die sich auf dem Spotmarkt an der Börse einstellen würden, abbilden. Diese geben aber noch keinen Hinweis darauf, inwiefern

sie sich auf den Endkund\*innenpreis der Haushalte auswirken. In der Vergangenheit konnte beobachtet werden, dass der Strompreis an der Börse fällt, der Preis für die Endkund\*innen hingegen steigt. Es ist anders herum denkbar, dass der Strompreis an der Börse steigt und der Endkund\*innenpreis fällt. Durch die Entkopplung der Kosten der Stromerzeugung von den Preisen für die Endkund\*innen lässt sich nicht eindeutig sagen, wie sich diese Preise in einem dezentralen Stromsystem entwickeln würden.

Ebenso kann sich die lokale Wertschöpfung durch eine zunehmende Dezentralisierung des Stromsystems verändern, eine Kopplung besteht zwischen den beiden Elementen hingegen nicht. Es kann entsprechend keine Aussage hierüber getroffen werden.

Zuletzt sei darauf hingewiesen, dass Aussagen, die auf der Basis von einer Modellierung getroffen werden, idealisiert sind: In der Modellierung wird von vollständiger Voraussicht, perfekter Information und rationalen Handlungen ausgegangen. In der Realität ist nicht davon auszugehen, dass diese „Spielregeln“ stets eingehalten werden.

### 3.2.2 Dezentralität und ökologische Effekte

Mit der Befürwortung eines dezentralisierten Stromsystems geht häufig die Assoziation einher, dass dieses Stromsystem umwelt- und klimafreundlicher sei als ein zentralisiertes. Darüber, inwiefern Dezentralität auf das Politikziel der ökologischen Nachhaltigkeit wirkt, wissen wir, dass sowohl zentral als auch dezentral errichtete erneuerbare Energieanlagen im Vergleich zu fossilen Kraftwerken umwelt- und klimafreundlich sind. Wie bereits unter den wirtschaftlichen Effekten erläutert, nimmt bei einem gegebenen Ziel für die Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien die Standortwahl von erneuerbaren Energieanlagen Einfluss auf den Investitionsbedarf und damit auf den Ressourcen- und Flächenverbrauch. Zentrale, das heißt ertragsoptimierte Erzeugungsstandorte haben hier einen Vorteil gegenüber den verbrauchsnahe. Gegenkompensiert wird dieser Effekt durch die Ressourcen- und Flächenverbräuche, die für den Netzausbau benötigt werden. Doch abhängig von der Flexibilitätsoption werden auch hierfür zusätzliche Ressourcen- und Flächenverbräuche fällig. Ein höherer Flächenverbrauch geht in der Regel mit einem höheren Eingriff in die Natur einher, die örtlichen Gegebenheiten sind jedoch individuell zu bewerten.

Eine klare ökologische Vorteilhaftigkeit weist ein dezentrales Stromsystem gegenüber einem zentralen auf, wenn die Wärmeversorgung mit in Betracht gezogen wird: Eine Abwärmenutzung von KWK-Anlagen ist bei dezentralen, d.h. lastnahen Erzeugungsanlagen effizienter umgesetzt.

Eine Aussage darüber, ob ein dezentraler Erzeugungsvorrang die CO<sub>2</sub>-Emissionen reduziert, kann nicht grundsätzlich getroffen werden. Gegebenenfalls erzielbare CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktionen sind insbesondere abhängig von den Annahmen zu dem Bestand der deutschen Kohlekraftwerke: So lange der regionale Erzeugungsvorrang dazu führt, dass teurere, lokalere Erdkraftwerke Strom aus Kohlekraftwerken ersetzen, sinken die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen. In Regionen mit niedrigen Anteilen von erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung, kann der regionale Erzeugungsvorrang aber auch dazu führen, dass hier ein konventionelles Kraftwerk Strom erzeugt, obwohl an anderer Stelle Überschüsse aus erneuerbarer Erzeugung abgeregelt oder mit Verlusten zwischengespeichert werden. In diesem Fall verschlechtert sich die Emissionsbilanz durch den dezentralen Erzeugungsvorrang. Wird in einer letzten Stufe Deutschland im europäischen Netzverbund modelliert und wird die bisher ungenutzte deutsche Kraftwerkskapazität dann zur europäischen Nachfragedeckung genutzt, so hängt eine Verbesserung der europäischen Klimabilanz wiederum davon ab, ob die durch den dezentralen Erzeugungsvorrang verdrängte ausländische Kraftwerkserzeugung niedrigere spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionen aufweist als die neu in den Markt integrierten, teureren Kraftwerke. Dies läuft in der Regel auf einen Vergleich der Wirkungsgrade von Erdgaskraftwerken hinaus. In Bezug auf die Netzauslastung ist zu bedenken, dass in diesem Fall der Transportbedarf von Strom tendenziell vergrößert wird.

Mit einem dezentralen Stromsystem wird häufig assoziiert, dass innerhalb der Bevölkerung eine (noch) breitere Unterstützung der Energiewende erzielt werden könnte. Dies könnte dazu führen, dass der Ausbau der erneuerbaren Energieanlagen und Flexibilitätsoptionen schneller voranschreitet – und dies würde zu Einsparungen der CO<sub>2</sub>-Emissionen führen. Ob und in welcher Höhe dieser Effekt auftritt, ist nicht quantifizierbar. Hinsichtlich einer Bewertung der ökologischen Effekte von Dezentralität und Zentralität des Energiesystems zeigt sich, dass die Unterschiede zwischen beiden Ausprägungen mit steigenden Anteilen von erneuerbaren Energien abnehmen. In einer zunehmend regenerativen Stromerzeugungswelt nach realisiertem Kohleausstieg erscheint eine Diskussion um die ökologische Vorteilhaftigkeit der dezentralen Lösung somit nicht mehr zielführend – sofern an dieser Stelle keine bedeutenden ökologischen Unterschiede vernachlässigt wurden.

### 3.2.3 Dezentralität und gesellschaftliche Implikationen

Die gesellschaftlichen Implikationen, die als Bewertungskriterium für Dezentralität herangezogen werden, sind vielen Akteur\*innen in der Diskussion um Dezentralisierung besonders wichtig, vor allem auf Seiten derer, die für mehr Dezentralität argumentieren. Übergeordnete gesellschaftliche Ziele wie Gerechtigkeit und Teilhabe stehen hier im Mittelpunkt. Konkret werden im Diskurs häufig an eine Dezentralisierung des Stromsystems, die mit einer Zunahme an bürgerlichen Akteuren im System einhergeht, Erwartungen wie dessen stärkere demokratische Kontrolle geknüpft. Auch wird oft eine höhere Wertschöpfung in der Region und eine höhere finanzielle oder fiskalische Partizipation der Regionen als Vorteil einer dezentralisierten Energieerzeugung aufgeführt.

Eine Erhöhung der demokratischen Kontrolle wird einerseits mit der Etablierung von partizipativen Entscheidungsprozessen, andererseits mit der Einbindung regionaler Akteur\*innen in Verbindung gebracht. Partizipative Entscheidungsprozesse suggerieren, dass nach dem Prinzip der Basisdemokratie jede Person in gleichem Maße ein Mitspracherecht hat. Die Realität weicht aus verschiedenen Gründen hiervon ab:

- Personen, die sich an solch einem Prozess beteiligen, engagieren sich hierfür bereits aufgrund eines besonderen Interesses an der Thematik. Sie repräsentieren damit nicht die Bevölkerung, die dem Sachverhalt indifferent gegenübersteht.
- Auch in einem Partizipationsverfahren bestehen Machtverhältnisse, die sich z.B. darin äußern, dass redegeübte Personen kein Hemmnis verspüren, sich zu Wort zu melden.

Insofern kann die Frage gestellt werden, ob ein partizipativer Entscheidungsprozess per se demokratischer ist als ein solcher, der von gewählten Repräsentant\*innen durchgeführt wird. Auch die räumliche Nähe, die bei lokalen Akteur\*innen gegeben ist, fördert nicht per se die Demokratisierung eines Prozesses. Für eine möglichst demokratische Ausgestaltung entscheidender als die räumliche Nähe sei deshalb nach (Öko-Institut (2015)) der gewählte Beteiligungsprozess und die Auswahl der einbezogenen Akteur\*innen. Offen bleibt die Frage, inwieweit eine stärkere Demokratisierung und Partizipation von einer technisch-ökonomischen Dezentralisierung abhängt.

Ähnlich verhält es sich mit der Hoffnung, dass eine finanzielle und fiskalische Partizipation der Energieregionen von selbst mit einer Dezentralisierung des Stromsystems einhergeht.

Erneuerbare Energieanlagen ermöglichen es einer wesentlich größeren Bevölkerungsgruppe, als Akteur\*in am Stromversorgungssystem finanziell teilzuhaben. Die Vervielfachung der Akteur\*innen macht sich auch auf dem Strommarkt bemerkbar. Diese Entwicklung ist an die modulare Charakteristik von erneuerbaren Energieanlagen, und damit weniger an die Ausprägung der Dimensionen von Dezentralität gebunden. Eine Analyse der lokalen Begebenheiten und der Besitzstruktur der erneuerbaren Energieanlagen zeigt, dass der regionale Zubau erneuerbarer Energien nicht per se mit entsprechender lokaler Wertschöpfung einhergeht. Offen ist aber auch die Frage, ob dies in einem dezentraleren Stromsystem notwendig der Fall wäre oder ob ebenfalls zusätzliche Regeln aufgestellt werden müssten. Sicher hingegen ist, dass gesellschaftspolitische Fragen wie eine Demokratisierung des Stromversorgungssystems oder eine finanzielle Partizipation der Energieregionen losgelöst von der technischen Dezentralisierung des Stromsystems verhandelt werden können. Da der Diskurs dann klarer ist, könnte das auch erfolgsversprechender sein.

Für das langfristige Gelingen der Energiewende ist unabhängig vom Ausmaß der Dezentralisierung des Stromsystems wichtig, dass Regionen, die einen Beitrag zur Energiewende leisten und geleistet haben, eine Honorierung und positive Perspektiven für ihre Region erfahren.

### 3.2.4 Dezentralität und Innovations-Effekte

Einige Akteur\*innen setzen auf ihre Forderung nach einer Dezentralisierung des Stromsystems den Bewertungsmaßstab der Innovationseffekte an. Die Förderung von regionalen Märkten geht regelmäßig mit höheren Entdeckungsraten für Flexibilitätsoptionen und mit höheren Innovationsraten einher. In Bezug auf die Innovationsförderung z.B. in Form von dezentralen Innovationslaboren bietet die Nähe zu den relevanten Akteur\*innen unbestreitbar Vorteile.

Wenn sich hier auch nicht die Frage stellt, ob eine höhere Innovationsrate mit einer ausgeprägten Dezentralisierung einhergeht, so kann dennoch die Frage gestellt werden, ob und in welchem Maße die Vorteile dezentraler Technologien verbrauchsnahe Konzepte für Flexibilitätsoptionen und kleinräumige Steuerungsmodelle zwingend erforderlich machen. Auch hier ist denkbar, andere, selektive Formen zur Verbesserung der Innovationskraft produktiv zu machen.

## 4 | Regionalisierung

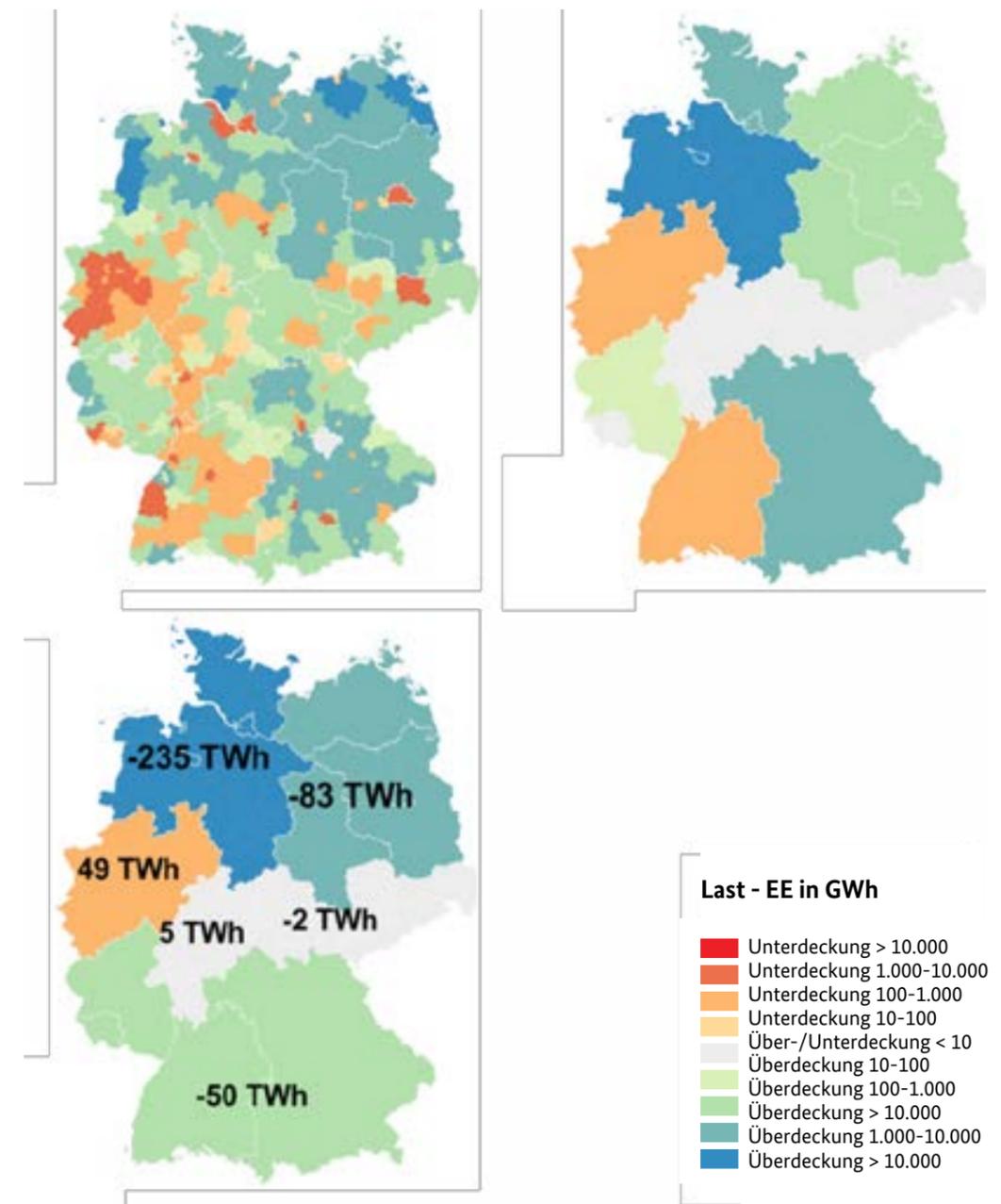
Ziel der Potentialanalyse der Metastudie ist es, die Frage einzugrenzen, ob es grundsätzlich möglich wäre, die regionale Nachfrage durch regionale Stromerzeugung aus Wind und Sonne innerhalb der einzelnen Landkreise Deutschlands vollständig zu decken. Zu diesem Zweck wurden jährliche Stromnachfragen und regenerative Stromerzeugungspotenziale auf Landkreisebene so zusammengefügt, dass die theoretisch maximal mögliche bilanzielle jährliche Nachfragedeckung aus regenerativen Energien in diesen Einheiten abgeschätzt werden kann. In dieser einfachen Mengengleichung wird von unbegrenzter Speicherkapazität bzw. Nachfrageflexibilität ausgegangen.

Die Analyse basiert weitestgehend auf den Daten, die in dem Projekt „Zukunft Stromsystem II. Regionalisierung der erneuerbaren Stromerzeugung“ von Prognos bzw. dem Öko-Institut auf Landkreisebene verwendet wurden. Die dem Szenariojahr 2030 entstammende Nachfrage stellt mit 481 TWh und einem entsprechend geringen Elektrifizierungsgrad anderer Sektoren eine konservative Schätzung dar. Die Flächenpotenziale zur Bestimmung der maximal möglichen Stromerzeugungsmengen aus Wasserkraft, Fotovoltaik und Wind an Land wurden unter Berücksichtigung von Flächennutzung, Naturschutzrestriktionen erhoben. In diesem Fall wird von dem theoretischen Flächennutzungspotential gesprochen. Gehen weitere Akzeptanz- und Naturschutzrestriktionen sowie Erfahrungswerte zum Verhältnis der im Grundsatz verfügbaren Flächen und der genehmigungsfähigen Flächennutzungen in die Potentialbetrachtung ein, wird von dem realistischen Flächennutzungspotential gesprochen.

Die aus letzteren abgeleiteten und von der Nachfrage abgezogenen verbleibenden regenerativen Erzeugungspotenziale sind in Abbildung 2 auf Landkreis-, Flächenbundesland- und Zonenebene dargestellt. Rot hervorgehobene Flächen weisen eine Nachfrageunterdeckung, blaue eine Nachfrageüberdeckung auf. Ein überdeckter Landkreis hat also bei vollständiger Ausnutzung seines realistischen regenerativen Erzeugungspotenzials und unter Einbeziehung von Speichern die grundsätzliche Möglichkeit, seine Nachfrage autark zu decken, wohingegen ein unterdeckter Landkreis dies selbst unter idealen Verhältnissen nicht vermag. Großstädte stellen klassischerweise unterdeckte Landkreise dar.

Die Ergebnisse der Potentialanalyse zeigten, dass erstens eine erhebliche Konzentration der Nachfrage in den Industrieregionen im Westen und Süden Deutschlands sowie in den Metropolregionen vorliegt. Zweitens kann die ertragsstarke Solarstromerzeugung vor

Abbildung 2: „Realistische“ Stromnachfragedeckung aus erneuerbaren Energien auf Landkreis- (links) und Flächenbundesland- (Mitte) und Zonen-Ebene (rechts). Quelle: Matthes et al. (2018)



allem in Süddeutschland und mit Blick auf die Dachpotenziale in den Metropolregionen zum Tragen kommen. Drittens ist die ertragsstarke Windstromerzeugung vor allem im Norden und Nordosten sowie im Offshore-Bereich verfügbar. Schließlich werden viertens die Herausforderungen in Bezug auf die öffentliche Akzeptanz von Windkraftanlagen an Land vor allem in den bevölkerungsstarken und durch starke Stromnachfrage geprägten Regionen restriktiv auf die umsetzbaren Potenziale wirken.

Diese Restriktionen nehmen mit zunehmender Vergrößerung der Aggregationsebenen ab, sie bleiben aber sogar nach Aggregation in sechs Zonen noch erkennbar: Für die importierenden Bundesländer südlich von Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Brandenburg hat der Stromaustausch selbst dann eine wichtige Rolle, wenn Kriterien wie Kosten, Landinanspruchnahme, Emissionen etc. noch nicht in Betracht gezogen werden.

## Quellen

50Hertz; Amprion; TenneT; TransnetBW (2017): Netzentwicklungsplan Strom 2030. Version 2017. Erster Entwurf der Übertragungsnetzbetreiber, Berlin. Verfügbar unter [https://www.netzentwicklungsplan.de/sites/default/files/paragraphs-files/NEP\\_2030\\_1\\_Entwurf\\_Teil1\\_0.pdf](https://www.netzentwicklungsplan.de/sites/default/files/paragraphs-files/NEP_2030_1_Entwurf_Teil1_0.pdf), zuletzt abgerufen am 24.02.2019.

Consentec (2016): Netzstresstest. Studie für TenneT TSO, Aachen. Verfügbar unter [https://www.tennet.eu/fileadmin/user\\_upload/Our\\_Grid/Stakeholders\\_DE/netzstresstest/nst/Consentec\\_TenneT\\_Netzstresstest\\_Bericht\\_Langfassung\\_20161125.pdf](https://www.tennet.eu/fileadmin/user_upload/Our_Grid/Stakeholders_DE/netzstresstest/nst/Consentec_TenneT_Netzstresstest_Bericht_Langfassung_20161125.pdf), zuletzt abgerufen am 24.02.2019.

DIW/TU Berlin/Öko-Institut (2015): Two Price Zones for the German Electricity Market – Market Implications and Distributional Effects.

E-Bridge Consulting (E-Bridge); Prognos; RWTH Aachen; Forschungsgemeinschaft für elektrische Anlagen und Stromwirtschaft (FGH) (2016): Energiewende Outlook 2035. Entwicklungspfade der Energiewende und deren Folgen. Abschlussbericht 50 Hertz Transmission, Berlin. Verfügbar unter <https://www.50hertz.com/de/Netz/Netzentwicklung/WofuerNetzausbau/50HertzEnergiewendeOutlook2035>, zuletzt abgerufen am 24.02.2019.

Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung; Consentec; Institut für Energie- und Umweltforschung; TU Wien; M-Five; TEP Energy (2017): Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland. Modul 4: Szenario „Geringerer Ausbau der Übertragungsnetze“, Karlsruhe, Aachen, Heidelberg. Verfügbar unter [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/B/berichtsmodul-4-geringerer-ausbau-der-uebertragungsnetze.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/B/berichtsmodul-4-geringerer-ausbau-der-uebertragungsnetze.pdf?__blob=publicationFile&v=4), zuletzt abgerufen am 24.02.2019.

Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg (2015): Regionale Preiskomponenten im Strommarkt. Gutachten im Auftrag der Monopolkommission, Erlangen-Nürnberg. Verfügbar unter [http://www.wirtschaftstheorie.wiso.uni-erlangen.de/wp-content/uploads/2016/02/gutachten\\_regionale-preiskomponenten07.10.15.pdf](http://www.wirtschaftstheorie.wiso.uni-erlangen.de/wp-content/uploads/2016/02/gutachten_regionale-preiskomponenten07.10.15.pdf), zuletzt abgerufen am 24.02.2019.

Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg (2017): Regionalkomponenten bei der EE-Vergütung. Studie für die Monopolkommission, Nürnberg. Verfügbar unter [http://www.wirtschaftstheorie.wiso.uni-erlangen.de/wp-content/uploads/2017/10/20170810\\_Studie\\_Regionalkomponente-nEE\\_mitAnhang.pdf](http://www.wirtschaftstheorie.wiso.uni-erlangen.de/wp-content/uploads/2017/10/20170810_Studie_Regionalkomponente-nEE_mitAnhang.pdf), zuletzt abgerufen am 24.02.2019.

## 5 | Erkenntnisse zum Netzausbaubedarf in einem dezentralisierten Stromsystem

Anhand der analysierten Szenarien zeigt sich, dass zur Erreichung von Klimazielen in Deutschland gegenüber heute ein Übertragungsnetzausbau szenarienunabhängig – und damit auch unabhängig vom Dezentralisierungsgrad – besteht.

Die Höhe des Netzausbaubedarfs ist vor allem abhängig von der regionalen Verteilung der erneuerbaren Stromerzeugung, insbesondere die des Windkraftausbaus. Studien, die einen um 20–50 Prozent geringeren Netzausbaubedarf errechnen, nehmen im Vergleich zum Netzentwicklungsplan 2017–2030 einen 3–6-fachen Windkraftausbau im Süden an. Überwiegend wird ein ebenfalls überproportionaler Ausbau der Windenergie in den Zone West unterstellt oder errechnet. Hier liegt der Mehrausbau um den Faktor 2 bis 3, in zwei Extremfällen um den Faktor 7 über den Annahmen des Netzentwicklungsplans. Häufig liegt den Szenarien, die einen deutlich geringeren Netzausbaubedarf annehmen, ein sehr starker Ausbau der solaren Stromerzeugung in der Zone Süd zu Grunde. Das Kapazitätsniveau der PV-Anlagen in der Zone Süd übertrifft das des Netzentwicklungsplans für den Zeithorizont 2030 und 2035 um den Faktor 2 bis 3.

Dezentral optimierende Koordinationsmechanismen führen in den analysierten Studien ebenfalls zu einem verringerten Netzausbaubedarf, jedoch ist der Einfluss gegenüber der lastnahen Verteilung der Windenergieanlagen an Land nachrangig.

Eine Auswertung von Szenarien mit ambitionierteren Ausbaupfaden für den Stromerzeugungsanteil erneuerbarer Energien deutet darauf hin, dass der Netzausbau gegebenenfalls auch nur zeitlich verzögert wird:

- Nach RLI (2013) nähern sich die Ausbaubedarfe des zentralen und dezentralen Szenarios bei EE-Anteilen > 80 Prozent einander an – und damit auch der Netzausbaubedarf.
- In einem stark auf den Ausbau von PV-Hausdachanlagen fokussierten Szenario des Öko-Instituts (2018) entsteht der zusätzliche Netzausbaubedarf im Vergleich zu einem eher auf Wind an Land fokussierten Klimaschutzszenario zwar zeitverzögert und regional unterschiedlich, aber in der gleichen Größenordnung.

Insgesamt fällt auf, dass die Studienlage es noch nicht erlaubt, einen studienübergreifenden systematischen Kosten-Nutzen-Vergleich der Ausgestaltungen des Stromsystems anzustellen. Hierzu sind die modelltech-

nischen Besonderheiten, die spezifischen Fragestellungen oder die Unterschiede in den Annahmen zu unterschiedlich. Die unterschiedlichen Studien hingegen können Anhaltspunkte, Tendenzen und Leitplanken angeben. Unter Nutzung der aufbereiteten Studienergebnisse kann der politische Diskurs zur Ausbalancierung der bestehenden Zielkonflikte jedoch qualifizierter geführt werden.

## 6 | Fazit: Was fehlt, um die derzeitige Diskussion zu versachlichen?

In der Zusammenschau der drei Untersuchungsebenen lässt sich neben den genannten Erkenntnissen eine Reihe von Handlungsbedarfen und Handlungsempfehlungen ableiten:

- Diese betreffen erstens einen strukturierten Diskurs zur Klärung der Frage, ob und in welchem Rahmen bzw. mit welchen Zeithorizonten dezentrale (zellulare) Steuerungsansätze jenseits der Eigenverbrauchsoptimierung eingeführt bzw. als Variante für die Netzausbauplanung berücksichtigt werden könnten.
- Zweitens bedürfen die Annahmen zu Ausbaugrenzen der regenerativen Stromerzeugung einer Validierung. Dies gilt sowohl für die Windkapazitäten auf See und an Land, als auch für die PV-Stromerzeugung in hoher räumlicher Auflösung, vor allem in den kritischen Zonen Süd und West. Die realisierbare Flächenschließbarkeit und Akzeptanz sollten hier in besonderem Maße Berücksichtigung finden.
- Drittens sollten dringend einheitliche Bewertungsraster für die Bilanzierung aller Kosten und Flächenbedarfe (jeweils für Erzeugungsanlagen, Flexibilitätsoptionen und Infrastrukturen) entwickelt werden, um für zukünftige Analysen auch hier Vergleichbarkeiten zu ermöglichen.
- Viertens wäre für bessere Vergleichbarkeit zukünftiger Analysen die Entwicklung einer pragmatischen Metrik hilfreich, mit der unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Modellierungsansätze der Umfang des Netzausbaubedarfs in vergleichbarer Weise beschrieben werden kann.

Die Metastudie bildet einen ersten umfassenden Versuch, die komplexe, an vielen Stellen von Narrativen geprägte sowie konzeptionell und datenseitig anspruchsvolle Materie im Spannungsfeld von Dezentralität und Netzausbau aufzuarbeiten. Eine Weiterführung dieses Analysestrangs erscheint zukünftig dringend geboten.

Öko-Institut (2018): Dezentralität, Regionalisierung und Stromnetze. Meta-Studie über Annahmen, Erkenntnisse und Narrative. Studie für die Renewables Grid Initiative (RGI), Berlin. Verfügbar unter <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Meta-Studie-Dezentralitaet-Regionalisierung-und-Stromnetze.pdf>, zuletzt abgerufen am 24.02.2019.

Öko-Institut (2018): Erhöhung der Transparenz über den Bedarf zum Ausbau der Strom-Übertragungsnetze („Transparenz Stromnetze“), Berlin. Verfügbar unter [http://www.transparenz-stromnetze.de/fileadmin/downloads/Oeko-Institut\\_2018\\_Transparenz\\_Stromnetze.pdf](http://www.transparenz-stromnetze.de/fileadmin/downloads/Oeko-Institut_2018_Transparenz_Stromnetze.pdf), zuletzt abgerufen am 24.02.2019.

Öko-Institut; Prognos (2018): Zukunft Stromsystem II – Regionalisierung der erneuerbaren Stromerzeugung. Studie für WWF Deutschland, Berlin. Verfügbar unter <https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/WWF-Zukunft-Stromsystem-2.pdf>, zuletzt abgerufen am 24.02.2019.

Öko-Institut (2015): Energiewende – Zentral oder dezentral? Diskussionspapier im Rahmen der Wissenschaftlichen Koordination des BMBF Förderprogramms: „Umwelt- und Gesellschaftsverträgliche Transformation des Energiesystems“, Freiburg i. Br. Verfügbar unter [https://www.oeko.de/de\\_zentral/](https://www.oeko.de/de_zentral/), zuletzt abgerufen am 24.02.2019.

Prognos; Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg (2016): Dezentralität und zellulare Optimierung – Auswirkungen auf den Netzausbaubedarf. Im Auftrag der N-ERGIE AG, Berlin, Nürnberg. Verfügbar unter [https://www.fau.de/files/2016/10/Energiestudie\\_Studie.pdf](https://www.fau.de/files/2016/10/Energiestudie_Studie.pdf), zuletzt abgerufen am 24.02.2019.

Reiner Lemoine Institut (2013): Vergleich und Optimierung von zentral und dezentral orientierten Ausbaupfaden zu einer Stromversorgung aus Erneuerbaren Energien in Deutschland. Studie im Auftrag von Haleakala-Stiftung, 100 Prozent Erneuerbar Stiftung, Bundesverband mittelständische Wirtschaft (BVMW), Berlin. Verfügbar unter [https://reiner-lemoine-institut.de/wp-content/publications/0\\_Vergleich\\_und\\_Optimierung\\_zentral\\_und\\_dezentral\\_071\\_100EE/Breyer2013.pdf](https://reiner-lemoine-institut.de/wp-content/publications/0_Vergleich_und_Optimierung_zentral_und_dezentral_071_100EE/Breyer2013.pdf), zuletzt abgerufen am 24.02.2019.

Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik/ Energietechnische Gesellschaft (VDE/ETG) (2015): Der zellulare Ansatz. Grundlage einer erfolgreichen, regionenübergreifenden Energiewende, Frankfurt am Main. Verfügbar unter [https://www.bund-natur-schutz.de/fileadmin/Bilder\\_und\\_Dokumente/Presse\\_und\\_Aktuelles/Pressemitteilungen/2017/Energie\\_und\\_Klima/VDE\\_ST\\_ETG\\_ZellulareAnsatz\\_web.pdf](https://www.bund-natur-schutz.de/fileadmin/Bilder_und_Dokumente/Presse_und_Aktuelles/Pressemitteilungen/2017/Energie_und_Klima/VDE_ST_ETG_ZellulareAnsatz_web.pdf), zuletzt abgerufen am 24.02.2019.

## 3 | Hochspannungsleitungen planen und deren Akzeptanz erhöhen

### mit dem 3D Decision Support System der ETH Zürich

#### 1 | Kurzbeschreibung

Die Planung von Hochspannungsleitungen ist ein heikles Thema, da deren Resultate nachhaltige Auswirkungen auf die Landschaftsästhetik und auf die Wahrnehmung des Lebensraums haben. Aus diesem Grund hat sich der politische Diskurs über Erdkabelleitungen in den letzten Jahren deutlich erhöht. Allerdings ist die Planung von Erdkabelleitungen komplex und bedarf eines computergestützten Ansatzes, um ideale Erdkabelkorridore zu bestimmen.

Das Forschungsprojekt «3D DSS – Erdkabel» der ETH Zürich baut auf dem vorangehenden Forschungsprojekt «3D GIS zur Planung von elektrischen Versorgungsnetzen» auf, das Algorithmen zur Identifizierung von Freileitungskorridoren erforscht hat und erweitert es, indem erforscht wird, wie Erdkabelkorridore modelliert werden können. Aus diesem Forschungsprojekt entstand das 3D DSS (3D Decision Support System) – ein Programm, das Planern und Entscheidungsträgern bei der Findung geeigneter Freileitungs- und Erdkabelkorridore dienen soll, indem diese berechnet und in 3D visualisiert werden. Die mit dem 3D DSS durchgeführten Fallstudien in der Schweiz und in Österreich zeigen ein positives Bild: Planungsexperten hegen hohe Erwartungen an die Zuverlässigkeit der Modellierung, die gemäß der neusten Studie in einem hohen Maße erfüllt wird.

Der vorliegende Artikel gibt einen Überblick über das Konzept, wie mit Multikriterieller Entscheidungsanalyse und Geografischen Informationssystemen (GIS) basierend auf gesetzlichen Vorgaben ein optimaler Leitungskorridor berechnet werden kann. Zudem präsentieren wir bisherige Erkenntnisse und zeigen auf, an welchen Fragestellungen wir aktuell forschen. Das Ziel des Projekts ist es, Ansätze zur Modellierung von Erdkabeln (u.a. in Kombination mit Freileitungen) zu entwickeln und hinsichtlich einer realistischen Planung gegeneinander abzuwägen, sodass Planer und Entscheidungsträger bei ihrer täglichen Arbeit darauf zurückgreifen können.

#### 2 | Einleitung

Im Zuge der Energiewende ist es nötig, das bestehende Stromnetz in ganz Europa auszubauen, da erwartungsgemäß mehr Strom durch das Netz fließen wird und die Stromspitzen unvorhersehbarer über den Tag und das Jahr verteilt sein werden. Erfreulicherweise ist das Bewusstsein gegenüber einem nachhaltigen Umgang mit den zur Verfügung stehenden Ressourcen gestiegen, was zu einer steigenden Nachfrage nach sauberem Strom geführt hat.

Trotz all dieser positiven Entwicklungen werden Hochspannungsleitungen und insbesondere Freileitungen von weiten Teilen der Bevölkerung häufig negativ wahrgenommen. Einige Gründe dafür liegen darin, dass die Masten von Freileitungen für viele Einwohner das Landschaftsbild stören, sich negativ auf die Wahrnehmung des Lebensraums auswirken oder gar den Wert einer Liegenschaft mindern können. Dazu kommt, dass Elektrizität zwar als unverzichtbares Konsumgut angesehen, aber als gefährlich, unheimlich und gesundheitsschädigend wahrgenommen wird. Erstens beruht die gefährliche Komponente darauf, weil ein Stromschlag Schmerzen oder Verbrennungen verursacht oder im Extremfall Menschen tötet. Zweitens beruht die unheimliche Komponente darauf, weil Elektrizität zwar unsichtbar, aber bei Regen dennoch als Knistern hörbar ist. Drittens beruht die gesundheitsschädigende Komponente darauf, weil über die Auswirkung der durch Leitungen (und Antennen) emittierte nichtionisierende Strahlung auf die Gesundheit Uneinigkeit herrscht.

Fasst man diese drei Komponenten zusammen, ist gemäß der Auffassung einiger Personen eine potentielle Gefahr für die eigene Gesundheit zwar präsent, aber nicht direkt erkennbar. Aus diesem Grund kann dieser Sachverhalt bei den betroffenen Personen Unbehagen und diffuse Ängste auslösen.

Ungeachtet allfälliger Ängste ist der Wille, auf Strom zu verzichten und Einbußen bezüglich der Ausübung des eigenen Lebensstils in Kauf zu nehmen, vergleichsweise gering, auch nicht zuletzt, da Elektrizität wesentlich zur Volkswirtschaft und zum gesellschaftlichen Wohlstand beiträgt. Aus diesem Grund wird Elektrizität – und

damit verbunden, die sichtbaren Freileitungen – oft als notwendiges Übel angesehen. Jeder braucht Strom, aber niemand will ihn sehen – dazu gelten zwei Prinzipien: «aus den Augen, aus dem Sinn» und «NIMBY» (not in my backyard). Entweder möchte man die Leitungen überhaupt nicht oder wenn, dann nicht in der unmittelbaren Lebensumgebung sehen. Gerade in Demokratien und in aufstrebenden Wohlstandsgesellschaften regt sich daher ein merklicher Widerstand gegen Freileitungen und allgemein gegen neue Hochspannungsprojekte.

Aus diesem Grund hat sich das Institut für Kartografie und Geoinformation der ETH Zürich dieses Themas angenommen und erforscht Ansätze, wie die negativen Auswirkungen neuer Hochspannungsleitungen minimiert werden können. Dabei werden Algorithmen entwickelt, die innerhalb eines Untersuchungsgebiets den optimalen Verlauf von Freileitungen und Erdkabeln berechnen. Da die Meinung, was als optimal gilt, zwischen unterschiedlichen Interessensvertretern ungleich aufgefasst wird, versucht das Forschungsteam, aus allen Meinungen eine Alternative zu finden, die für alle Beteiligten stimmt.

Das Forschungsprojekt widmete sich 2014–2017 der Bestimmung optimaler Freileitungspfade, während seit 2018 an der Bestimmung optimaler Pfade für Erdkabel geforscht wird. Als Ziel sollen dabei beide Ansätze vereint werden, sodass für beide Leitungstypen optimale Teilverläufe berechnet werden, um schliesslich geeignete Strecken für Teilverkabelungen zu ermitteln.

Das dabei entwickelte System – das 3D DSS – soll dabei drei Funktionen erfüllen: Erstens soll die Planungsfunktion Planer bei der Findung optimaler Alternativen für Korridore und Trassen auf einer mathematisch-objektiven Entscheidungsgrundlage unterstützen, indem es diese schnell, einfach und zuverlässig berechnet. Zweitens soll die Analysefunktion Entscheidungsträger beim Vergleich unterschiedlicher Alternativen zur Findung einer besten Alternative unterstützen. Drittens soll die Kommunikationsfunktion die Kommunikation zwischen unterschiedlichen Interessensvertretern unterstützen und den Planungsprozess transparent gestalten, was zu mehr Akzeptanz bei der betroffenen Bevölkerung führen soll. Insgesamt erhofft sich das Forschungsteam, mit dem 3D DSS den Planungsprozess zu vereinfachen und zu beschleunigen, was insgesamt die Kosten senkt und zur schnelleren Umsetzung der Energiewende führt.

#### Joram Schito

Joram Schito hat an der Universität Zürich Geografie mit Spezialisierung auf Geografische Informationswissenschaft studiert und dabei eine Auszeichnung für seine Masterarbeit erhalten. Als diplomierter Gymnasial- und Berufsschullehrer in Geografie und Allgemeinbildung hat er während vier Jahren an diversen Schulen unterrichtet und dabei Lehrerfahrungen gesammelt. Seit 2014 promoviert er bei Prof. Dr. Martin Raubal am Institut für Kartografie und Geoinformation der ETH Zürich und forscht am Einfluss von entscheidungsunterstützenden Systemen zur Planung von Hochspannungsleitungen. Dabei steht das Lösen raumbezogener Probleme im Vordergrund, mit deren Resultate Verhandlungen über optimale Trassenführungen erleichtert werden sollen.

#### 3 | Funktionsweise des 3D DSS

Setzen sich Planer zum Ziel, auf eine möglichst objektive Weise geeignete Flächen für den Bau einer Hochspannungsleitung mithilfe eines Geografischen Informationssystems zu identifizieren, wird weltweit grundsätzlich das Verfahren angewandt, das von Houston und Johnson [1] und von Bevanger u.a. [2] in zwei groß angelegten Studien eingesetzt wurde.

Dabei werden die Funktionsprinzipien von Geografischen Informationssystemen (GIS; Geographic Information Systems) und Multikriterieller Entscheidungsanalyse (MCDA; Multi-Criteria Decision Analysis) miteinander kombiniert. GIS übernehmen die räumlichen Fragestellungen, da sich durch sie räumlich referenzierte Daten modellieren, erfassen, verarbeiten, analysieren und darstellen lassen. MCDA hingegen stellt Werkzeuge zur Entscheidungsfindung zur Verfügung, sodass mehrere Faktoren in ein Modell einfließen können, aus denen durch die Anwendung mathematischer Regelwerke sich schliesslich eine finale Alternative berechnen lässt.

Das im Rahmen des Forschungsprojekts entwickelte System verbindet beide Komponenten und trägt die Bezeichnung 3D DSS – 3D Decision Support System. Es besteht grundsätzlich aus drei Komponenten: den Daten, den Algorithmen, welche den optimalen Korridor- und Trassenverlauf anhand des Entscheidungsmodells modellieren und der grafischen Benutzeroberfläche mit den wichtigen Steuerelementen. Folgend werden der Aufbau und die Funktionsweise dieser Komponenten näher beschrieben.

**3.1 Ermittlung des optimalen Korridors**

Eine Hauptschwierigkeit liegt darin, das Entscheidungsmodell so realitätsnah wie möglich zu gestalten. Die im Entscheidungsmodell enthaltenen Faktoren müssen einerseits auf einer gesetzlichen Grundlage basieren, die der Normenhierarchie des jeweiligen Landes oder Bundeslandes entspricht, aber auch vergangene Rechtsprechungen berücksichtigt. Andererseits müssen die Faktoren räumlich verortet werden können und sollten im Idealfall feste Grenzen aufweisen. In unserem Forschungsprojekt wurden basierend auf gesetzlichen Vorgaben [3] und in Zusammenarbeit mit unseren Projektpartnern 34 Faktoren in drei Kategorien festgelegt (siehe Tabelle 1).

Jeder Faktor ist räumlich als Fläche definiert, sodass z.B. der Faktor «Wald» alle Waldflächen repräsentiert. Das Entscheidungsmodell ist so aufgebaut, dass die Interessensvertreter definieren müssen, inwieweit welcher Faktor wie stark vor dem Bau einer Hochspannungsleitung geschützt werden soll. Durch die Vermeidung der entsprechenden Flächen wird außerdem ein Hauptziel verfolgt (siehe Tabelle 1), d.h., dass die Erreichung von Hauptzielen dadurch definiert ist, inwieweit die entsprechenden Gebiete durchquert werden.

**Tabelle 1: Verwendetes Entscheidungsmodell mit 34 Faktoren in drei Kategorien plus die Hauptziele, die durch den Schutz des jeweiligen Faktors verfolgt werden**

Kategorie	Faktor	Hauptziel
Umwelt-/Biotopschutz	Biosphärenreservate	Ökosystemschutz: primär
	Trockenwiesen und -weiden	
	Feuchtgebiete mit hoher Schutzwürdigkeit	
	Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler	
	Moorlandschaften	
	Moore	
	Vogelschutzzonen	Ökosystemschutz: sekundär
	Feuchtgebiete mit mittlerer Schutzwürdigkeit	
	Wald	
	Naturschutzgebiete	
	Schutzgebiete nach Jagdgesetz	
	Nationalparks	
	UNESCO Welterbe	
Geotope	Landschaftsschutz: sekundär	
Technische Umsetzbarkeit	Naturgefahrenzonen	Risiken minimieren
	Grundwasserzonen	Umsetzung gewährleisten
	Ungeeignetes Relief	
	Gewässer	
Raumplanung	Infrastrukturanlagen	Infrastrukturanlagen vermeiden
	Flughäfen / -plätze	Risiken minimieren
	Landschaftszerschneidung durch Energieinfrastrukturen	Bündelung erhöhen
	Landschaftszerschneidung durch Verkehrsinfrastrukturen	
	Landwirtschaftszonen	Landschaftsschutz: sekundär
	Lärmempfindliche Gebiete (40 dbA)	Lebensraum schützen: primär
	Wohn- / Arbeits- / gemischte Zonen	
	Wohnzonen	
	Sichtbarkeit potentieller Masten minimieren	
	Kulturschutzgebiete mit hoher Schutzwürdigkeit	
	Kulturschutzgebiete mit mittlerer Schutzwürdigkeit	
	Historisch wichtige Gebiete	
	Historisch wichtige Verkehrspfade	
	Öffentliche Zonen	
Erholungsgebiete		
Tourismuszonen	Lebensraum schützen: sekundär	

Folglich verursacht die Durchquerung jedes Gebiets eine bestimmte Menge an Raumkosten. Diese Raumkosten werden von den Interessensvertretern für jeden Faktor einzeln definiert, indem bestimmt wird, wie groß der Raumwiderstand des jeweiligen Faktors gegen den Bau einer Hochspannungsleitung ist. Dafür wird eine lineare, fünfstufige Skala verwendet, bei der die Interessensvertreter die Faktoren für den Bau einer Hochspannungsleitung von «geeignet» über «neutral» bis «ungeeignet» einstufen müssen. Faktoren, die aus gesetzlichen Gründen nicht bebaut werden dürfen, können zudem für die Durchquerung als verboten markiert werden. Bei Faktoren, die aus gesetzlichen Gründen einer hohen Schutzwürdigkeit unterstehen, kann die fünfstufige Skala so eingeschränkt werden, dass eine Eignung für den Bau nicht gewählt werden kann. Diese Raumwiderstandswerte werden anschließend mit einer Gewichtung multipliziert. Diese Gewichtung widerspiegelt die subjektive Präferenz hinsichtlich der Schutzwürdigkeit zwischen «neutral» über «wichtig» bis «sehr wichtig». Den Interessensvertretern wird durch dieses System eine Möglichkeit gegeben, die einzelnen Faktoren untereinander zu vergleichen und sowohl objektiv als auch subjektiv zu bewerten.

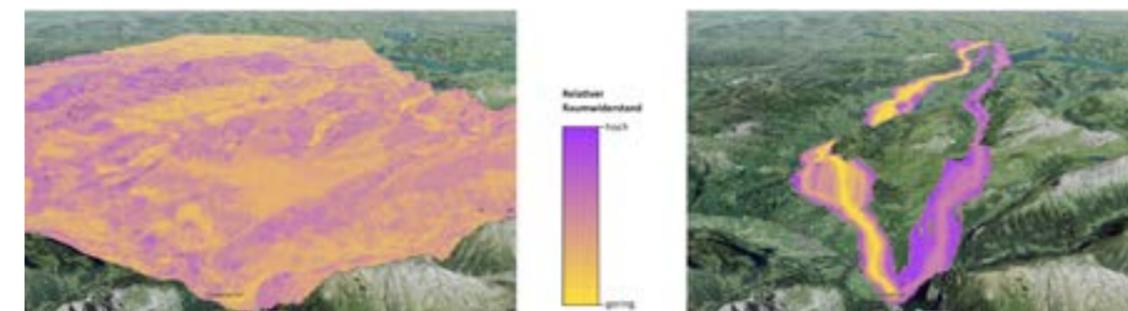
Nachdem allen Faktoren i ein Raumwiderstand w und eine Gewichtung g zugeteilt wurde, werden – da sich Schutzgebiete überlappen können – für jede Stelle x der Widerstand und die Gewichtung eines Faktors miteinander multipliziert und über alle Faktoren aufaddiert. Dies ergibt den totalen Widerstand t an der Stelle x (siehe Formel 1).

Berechnet man für jede Stelle x in einem Untersuchungsgebiet den totalen Raumwiderstand  $t_x$ , lässt sich daraus eine Raumwiderstandskarte erstellen (siehe Abbildung 1 links). Anschließend wird aus der totalen Kostenoberfläche die globale Kostenoberfläche abgeleitet, indem vom Start zum Ziel und zurück der Dijkstra-Algorithmus (löst das Problem der kostengünstigsten Pfade von einem Startpunkt aus) pro Feld die geringsten Kosten berechnet, die aufgewendet werden müssen, um das entsprechende Feld auf irgendeinem Weg zu erreichen. Diese globale Kostenoberfläche (siehe Abbildung 1 rechts) zeigt, wie hoch die aufsummierten Kosten sind, die aufgewendet werden müssen, um vom Start zum Ziel zu gelangen. Entsprechend repräsentiert die globale Kostenoberfläche, inwieweit sich welche Gebiete für den Bau einer Hochspannungsleitung eignen. Der Pfad der geringsten Kosten (in der Abbildung 1 rechts gelb dargestellt) entspricht dabei dem sogenannten Least Cost Path und stellt somit das Optimum der entsprechenden Alternative dar. Der Korridor wird so festgelegt, dass ausgehend vom Minimalwert der globalen Kostenoberfläche ein bestimmter Maximalwert festgelegt wird, bis zu welchem alle in Frage kommenden Punkte dargestellt werden.

**Formel 1: Berechnung des totalen Widerstands an der Stelle x (vereinfacht)**

$$t_x = \sum_{i=1}^n w_{i,x} \cdot g_i$$

**Abbildung 1: Totale Kostenoberfläche (links) und die entsprechende globale Kostenoberfläche (rechts) einer fiktiven Konfiguration im Untersuchungsgebiet Innertkirchen-Mettlen. Die globale Kostenoberfläche (rechts) zeigt die Raumwiderstandswerte vom Minimum bis 0.1 Standardabweichungen der gesamten Verteilung. Die Farbskalen sind dabei relativ zum jeweiligen Minimal- und Maximalwert normalisiert (d.h., dass die Farben der beiden Abbildungen nicht dieselben Werte repräsentieren). Dargestellt mit dem 3D DSS der ETH Zürich unter Verwendung von CESIUM. Quelle: ETH Zürich**



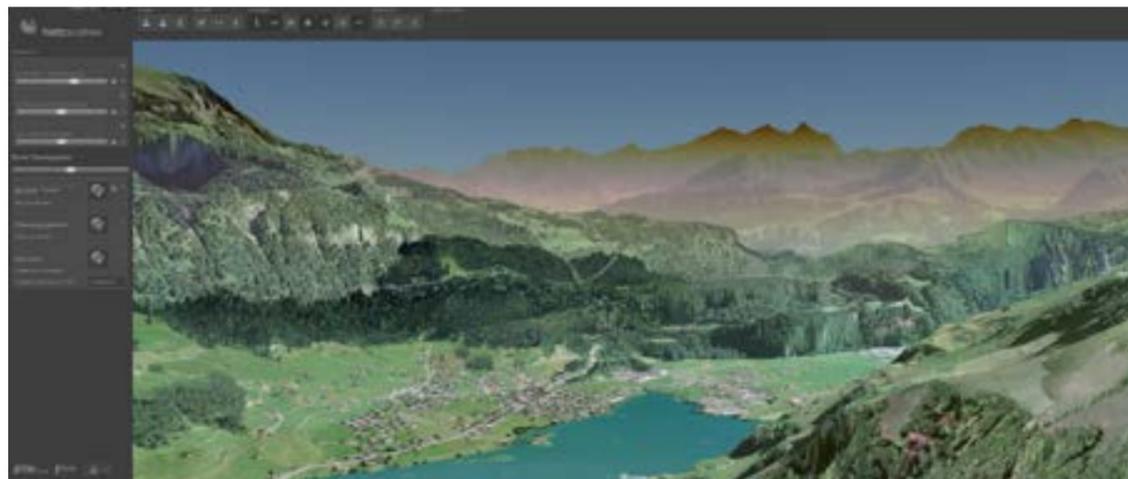
Die Formel 1 stellt lediglich eine generalisierte Form dar, wie die totale Kostenoberfläche berechnet wird. Die ausführliche Funktionsweise, die das ganze Spektrum von «ungeeignet» bis «geeignet» berücksichtigt, wird in Raubal u.a. [4] beschrieben.

Des Weiteren wurden unterschiedliche Mechanismen getestet, inwiefern sich die Wertefunktionen und das Zusammenspiel zwischen Widerstand und Gewichtung auf die resultierende Kostenoberfläche auswirkt. Diese Resultate werden in Schito u.a. [5] genauer beschrieben. Folgend werden diejenigen Modelle präsentiert, die sich in unserer bisherigen Forschung als optimal erwiesen haben.

### 3.2 3D-DSS-Schnittstelle

Unser Forschungsteam hat eine webbasierte Schnittstelle entwickelt, die es Nutzern ermöglicht, die Faktoren eines Entscheidungsmodells nach dem oben beschriebenen Prinzip hinsichtlich Widerstand und Gewichtung zu bewerten. Die Kostenoberflächen, Korridore und Trassen werden innert weniger Sekunden berechnet und in 3D dargestellt. Zudem kann die Ausdehnung der raumwirksamen Faktoren ein- und ausgeblendet werden, was die Planung zusätzlich unterstützt. Als virtueller Globus wurde «CESIUM» gewählt, da das Paket open-source ist und da sich zusätzliche Daten wie z.B. LiDAR Laser-Scanning-Daten (siehe Abbildung 2 dunkelgrüne Flächen im Hintergrund) oder 3D-Gebäudemodelle integrieren lassen. Planer schätzen dabei die Möglichkeit, innerhalb des Studiengebiets interaktiv zu navigieren und um einen Eindruck zu gewinnen, wo eine zukünftige Leitung geplant werden könnte.

**Abb.2: Die 3D DSS-Schnittstelle mit der Visualisierung eines Teils des Studiengebiets in der Zentralschweiz. Die visualisierte Freileitung im Hintergrund wurde mit zufälligen Werten generiert und bildet daher ein fiktives Szenario ab. Quelle: ETH Zürich**



Das 3D DSS erlaubt zudem, die Magnetfelder der jeweiligen Leitung in Abhängigkeit der Spannung und der Verbauung (Freileitung oder Erdkabel) darzustellen. Außerdem kann bei jedem Faktor eine zusätzliche Distanz definiert werden, die es ermöglicht, die entsprechenden Flächen um den jeweiligen Betrag über ihre Grenzen hinaus zu schützen. Auf diese Weise erhalten schützenswerte Gebiete wie z.B. Naturschutzgebiete durch die Eingabe von 100 Metern einen zusätzlichen Puffer, über welchen diese vor dem Bau einer Hochspannungsleitung «geschützt» bzw. «verschont» werden können. Dieses Prinzip wurde erstmals in Schito [6] beschrieben und wurde in Schito u.a. [5] als voraussagekräftigstes Modell identifiziert. Nicht zuletzt schätzen unsere Projektpartner die Option für eine zusätzliche Pufferdistanz sehr, da dies realen Planungsbedingungen am nächsten kommt.

### 4 | Aktuelle Arbeiten: Planung von Erdkabelkorridoren mit dem 3D DSS

Eine der häufigsten Fragen, denen wir immer wieder begegnen, wenn wir über unser Forschungsprojekt reden, ist, ob zukünftig alle Hochspannungsleitungen in den Boden kommen. Diese Wunschvorstellung ist in der Bevölkerung spürbar präsent, zumal sich die diffusen Ängste reduzieren, wenn die Leitung nicht sichtbar ist. Aufgrund eines Gerichtsentscheids der höchsten juristischen Instanz in der Schweiz wurde entschieden, dass bei zukünftigen Hochspannungsprojekten immer auch ein Erdkabelkorridor oder zumindest ein Abschnitt als Erdkabel vorgeschlagen werden muss. Im aktuellen Projekt befassen wir uns daher mit der Modellierung von Erdkabelkorridoren und mit der Frage, wie man Erdkabelabschnitte am besten mit Freileitungsabschnitten verbindet.

### 4.1 Erdkabel modellieren

Im Gegensatz zu Freileitungen werden bei Erdkabeln der Untergrund und das Bauinfrastrukturmanagement stärker in Betracht gezogen. Konkret soll bereits bei der Modellierung des Korridors die Bebaubarkeit des Untergrunds und die Zugänglichkeit für schwere LKWs und Maschinen geprüft werden. Des Weiteren muss die Modellierung gewährleisten, dass die Muffenschächte in regelmäßigen Abständen angeordnet und für eine jährliche Routineüberprüfung zugänglich sind. In unserem Modell prüfen wir daher, ob im Untergrund nebst den bestehenden Leitungen noch ausreichend Platz vorhanden ist, um neue Rohrböcke für die Installation von Erdkabeln verlegen zu können. Dies ist komplex, da bestehende Rohrböcke nebst den Lagekomponenten x und y noch eine Tiefenkomponente z aufweisen. Die Bebaubarkeit muss demnach in die Tiefe modelliert werden können.

Unser Ansatz schließt zuerst alle Gebiete aus, die aus gesetzlichen oder bautechnischen Gründen für die Verlegung von Rohrböcken oder für eine Spülbohrung ohnehin nicht in Frage kommen. Die restlichen Gebiete werden anschließend je nach Bedarf in einer Auflösung von 1–5 m gekachelt. Um herauszufinden, ob im Untergrund in einer bestimmten Tiefe noch Platz vorhanden ist, wird der Untergrund in ca. 4–5 Kategorien eingeteilt (z.B. 0.7–1.4 m, 1.5–2.4 m, 2.5–4.9 m und 5.0–8.0 m). Für jede Zelle wird für jede Tiefenkatgorie eruiert, ob die entsprechende Zelle bereits verbaut oder noch frei ist. Ähnlich dem Ansatz von Rheinert [7] oder Piveteau [8] wird anschließend ein Algorithmus angewandt, der alle benachbarten freien Zellen miteinander verbindet und die Kosten so festlegt, dass die Fortsetzung in der gleichen Richtung in der gleichen Tiefenkatgorie günstiger ausfällt als eine Richtungs- oder Tiefenänderung. Aufgrund dieses Netzwerkgraphen kann anschließend mit dem Dijkstra-Algorithmus der optimale Korridor- oder Trassenverlauf modelliert werden.

### 4.2 Erdkabel mit Freileitungen verbinden

Unter der realen Annahme, dass Erdkabel in Verbindung mit Freileitungen modelliert werden sollen, ergibt sich die Frage, wie sich dieses Problem konzeptionell, aber auch technisch lösen lässt. Da die Voraussetzungen für die Modellierung von Freileitungen und für Erdkabel unterschiedlich sind, kann auch nicht dasselbe Entscheidungsmodell angewandt werden. In der klassischen Betrachtung der räumlichen MCDA [9] löst man dieses Problem, indem zuerst die Kostenoberflächen beider Leitungstypen mit separaten Entscheidungsmodellen modelliert werden. Anschließend setzt man für beide Fälle eine Wahrscheinlichkeit oder eine Gewichtung mit der Summe gleich 1 fest, mit der die

Kostenoberflächen multipliziert werden. Die daraus resultierende Kostenoberfläche sollte dabei die kombinierte Ideallösung beider Leitungstypen repräsentieren.

Das Problem hierbei ist, dass die Fragestellung eigentlich ein Entweder-oder-Problem darstellt, wobei die Entscheidungsträger für das Untersuchungsgebiet insgesamt einen idealen Korridor und darin für jeden Streckenabschnitt den idealen Bautyp ermitteln müssen. Unser Ansatz versucht, dieses Problem pragmatisch zu lösen, indem gemäß schweizerischer Gesetzgebung [10], [11] davon ausgegangen wird, dass zwar der Anteil an Freileitungen gegenüber Erdkabeln überwiegen, aber an Stellen erhöhten Konfliktpotenzials das Verlegen eines Erdkabels in Betracht gezogen werden soll. Daher entwickeln wir aktuell einen Ansatz, der für jeden Ort zuerst das Konfliktpotential ermittelt, das sich durch den Bau einer Freileitung ergeben würde. An Stellen mit erhöhtem Konfliktpotenzial wird dann automatisiert nach geeigneten Standorten für zwei Übergangsbauwerke gesucht. Zwischen diesen Stellen wird dann geprüft, ob sich der Bau des Erdkabels verwirklichen lässt und die Instandhaltung gewährleistet werden kann [12].

Unsere Forschungstätigkeit konzentriert sich in nächster Zeit darauf, den klassischen mit dem neuen Ansatz bezüglich Praxistauglichkeit und der Qualität der prognostizierten Linienführungen zu vergleichen. Für die Modellierung einer kombinierten 380-kV-Leitung untersuchen wir eine voralpine Region in der Zentralschweiz, für eine 150-kV-Erdkabelleitung ein Quartier in Zürich und für eine 70-kV-Erdkabelleitung ein suburbanes Gebiet im Norden Belgiens. Die urbanen bzw. suburbanen Gebiete bedingen vor allem, dass eine geeignete Lösung auf engem Raum gefunden wird, was erfordert, dass der Detailgrad zu Lasten der Verarbeitungsrate erhöht werden muss.

### 4.3 Alternativen vergleichen und analysieren

Hinsichtlich der Erweiterung auf die Modellierung von Erdkabeln wird die Schnittstelle des 3D DSS aktuell so angepasst, dass entweder Freileitungen oder Erdkabel oder kombinierte Leitungen modelliert werden können. Zudem entwickeln wir stets neue Möglichkeiten, wie sich unterschiedliche Alternativen analysieren und vergleichen lassen. Aktuell arbeiten wir an einer Option, die es erlaubt, mögliche Trassenführungen interaktiv zu zeichnen und anschließend nach definierten Zielen auszuwerten. Konkret kann dadurch untersucht

„ Diffuse Ängste reduzieren sich, wenn die Leitung nicht sichtbar ist.“

werden, welche Faktoren (siehe Tabelle 1) die definierten Ziele über welche Distanz oder Fläche verletzen. Diese Metrik erlaubt es einerseits, unterschiedliche Alternativen gegeneinander abzuwägen, aber andererseits, auch pareto-optimale Lösungen zu finden. Somit können bei Verhandlungen über Korridor- und Trassenführungen Alternativen beigezogen werden, die stets pareto-optimal sind. Erste Umfragen in Zusammenarbeit mit Leitungsplanern haben gezeigt, dass eine solche Funktion zu einem hohen Grad erwünscht ist und das Potenzial in sich birgt, die Meinung der Leitungsplaner zugunsten einer optimaleren Lösung zu revidieren.

### 5 | Diskussion

Einer der grössten Diskussionspunkte betrifft die generelle Herangehensweise des multikriteriellen Konzepts, um geeignete Räume für eine Hochspannungsleitung zu finden. Dabei eröffnen sich mehrere Fragen: Ist es juristisch legitim, Gebiete anhand ihrer Schutzwürdigkeit zu operationalisieren? Können unterschiedliche Widerstandswerte aufgrund unterschiedlicher Schutzverordnungen zu einer Summe aufsummiert werden oder muss jedes Gebiet einzeln auf unterschiedliche Schutzverordnungen geprüft werden? Wie sollen gesetzlich vorgegebene Faktoren berücksichtigt werden, die nicht räumlich-explicit sind und daher nicht ins räumliche Entscheidungsmodell aufgenommen werden?

Die aufgeführten Fragen stellen juristische Streitpunkte dar, für die es keine einfache Antwort gibt. Einerseits verfolgt das 3D-DSS-Projekt das Ziel, Ansätze zu ergründen, die geeignete Planungsgebiete und Leitungskorridore modellieren, wohingegen juristische Verfahren häufig dann eingeleitet werden, wenn es um die Fachplanung geht, bei der parzellenscharf abgewogen wird, ob eine projektierte Trassenführung die gesetzlich vorgegebenen Richtwerte einhält und die Schutzgebiete meidet. Obwohl solche Analysefunktionen implementiert sind, soll das 3D DSS primär Experten als Planungshilfe und zur Entscheidungsunterstützung dienen, um damit in einem frühen Planungsstadium geeignete Korridorvarianten zu berechnen, die anschließend verglichen und diskutiert werden können. Der dabei angewandte multikriterielle Ansatz mag aufgrund der mathematischen Operationalisierung juristisch nicht legitim sein, da solche Entscheide von Fall zu Fall abgewogen werden müssen. Dennoch eröffnen sich den Entscheidungsträgern durch die Betrachtung sich überlagernder Schutzgebiete Informationen darüber, welche Gebiete von besonderer Bedeutung sind und daher gemieden werden sollten.

Umgekehrt stellt sich die Frage, ob und inwieweit ein solcher Mechanismus, der die Schutzwürdigkeit von sich überlagernden Schutzgebieten aufaddiert, so manipuliert werden kann, dass bestimmte Gebiete für einen Korridor gar nie in Betracht gezogen werden. Angenommen, dass bestimmte Teile eines Gebiets in mehreren Schutzinventaren aufgelistet werden, soll dann das ganze Gebiet per se von der Planung ausgeschlossen werden, da der Raumwiderstand für einen geeigneten Korridor scheinbar unüberwindbar hoch ist? In aktuellen Diskussionen in Zusammenarbeit mit unseren Projektpartnern wurde vermehrt der Wunsch geäußert, dass grundsätzlich keine Gebiete infolge zu hoher Raumwiderstände ausgeschlossen werden dürfen, zumal zur Berechnung des Raumwiderstands nicht immer alle Faktoren von gleich hoher Bedeutung sind. In eine ähnliche Richtung geht die Frage, ob kleinräumige Schutzgebiete, die mit einer Freileitung gesetzlich und technisch problemlos überspannt werden können (z.B. Moorbiotope oder Fassunggebiete von Grundwasserschutzzonen), überhaupt in die Findung eines Korridors einbezogen werden sollen. Aus diesem Grund zwingt der multikriterielle Ansatz die involvierten Experten gewissermaßen dazu, sich vertieft mit der Festlegung der Einflussfaktoren des Entscheidungsmodells auseinanderzusetzen.

Weitere Vorteile des multikriteriellen Ansatzes sind zudem seine Transparenz, seine Praxisnähe und seine mathematische Objektivität, sodass unterschiedliche Meinungen beigezogen werden können, um damit eine beste Lösung für alle Interessensvertreter zu eruieren. Unsere Aussagen werden außerdem dadurch bestärkt, dass eine aktuelle Studie, die mit fünf Leitungsplanern und fünf Behördenvertretern in den Bereichen Genehmigungsverfahren, Raumplanung und Umweltschutz durchgeführt wurde, dem 3D DSS eine hohe Genauigkeit attestiert, tatsächlich geeignete Räume und Korridorvarianten zu finden.

Ein weiterer strittiger Punkt ist, ob und in welchem Rahmen ein solches entscheidungsunterstützendes System zur Information der Bevölkerung über geplante Hochspannungsprojekte verwendet werden soll. Die Meinungen zu diesem Punkt gehen weit auseinander: Einerseits sind viele Planer der Auffassung, dass ein solches System der Bevölkerung aufzeigen könnte, wie komplex, aber transparent die Planung von Hochspannungsleitungen ist. Diese Planer erhoffen sich, dass die Auseinandersetzung mit der Schutzwürdigkeit des Lebensraums zu mehr Akzeptanz führt. Hingegen sind andere Planer der Meinung, dass ein solches System Experten vorbehalten werden sollte, damit die Planung von Hochspannungsleitungen nicht zu einem Spiel verkommt, indem durch Gamification versucht wird, bessere Resultate zu erzielen.

Tatsächlich würde sich in so einem Fall die Frage stellen, für wen eine berechnete Route überhaupt optimal ist, zumal die Meinungen über die Schutzwürdigkeit unterschiedlicher Objekte subjektiver Natur sind. In dieser Hinsicht können wir kein abschließendes Bild darüber geben, inwieweit sich die Akzeptanz von Hochspannungsleitungen erhöhen lassen würde, da diese davon abhängt, ob das verwendete Planungsinstrument in der Bevölkerung als neutral, objektiv und zuverlässig wahrgenommen wird.

### 6 | Herausforderungen und Ausblick

Die bautechnische Betrachtung des Untergrunds stellt insofern eine facettenreiche Herausforderung dar, als dass das bisherige Entscheidungsmodell für Freileitungen um einige Komponenten ergänzt werden muss, die für die Modellierung von Erdkabeln wichtig sind. Als Beispiele seien an dieser Stelle die Vermeidung von Querungen von Wasserleitungen, aber auch die nicht an allen Orten bekannte geologische Eignung des Untergrunds zu nennen. Des Weiteren stellen unterschiedliche Bauarten wie beispielsweise die Verlegung von Rohrblöcken im offenen Grabenverfahren oder die Verlegung von Leitungsrohren durch Spülbohrung ebenso unterschiedliche Anforderungen an den Algorithmus, der die Eignung zum Bau berechnet und die Kosten schätzt.

Wie oben erwähnt, wird dem Vergleich zwischen unterschiedlichen Alternativen auch seitens unserer Projektpartner eine hohe Beachtung geschenkt. Aus diesem Grund werden wir in den kommenden Monaten daran forschen, welche Analysetools am zuverlässigsten zwischen unterschiedlichen Varianten unterscheiden und pareto-optimale Lösungen bestimmen. Die Resultate über eine laufende Studie sollten voraussichtlich 2019 veröffentlicht werden. Zu guter Letzt werden wir in nächster Zeit nach Lösungen suchen, wie die Visualisierung von kombinierten Leitungen verbessert werden kann und die Erscheinung des 3D-Modells realistischer aussehen lässt.

### 7 | Danksagung

Das 3D DSS-Projekt wird vom Schweizerischen Bundesamt für Energie gefördert und von den Stromnetzbetreibern Swissgrid, ewz und Elia finanziell unterstützt (2014–2017 ebenso von APG und BKW). Die Forschungsarbeiten sind Teil der Tätigkeiten des Swiss Competence Center for Energy Research on the Future Swiss Electrical Infrastructure (SCCER-FURIES), welches von Innosuisse – der Schweizerischen Agentur für Innovationsförderung finanziell unterstützt wird.

### Quellen

- [1] G. Houston und C. Johnson, «EPRI-GTC Overhead Electric Transmission Line Siting Methodology», Electric Power Research Institute and Georgia Transmission Corporation, Palo Alto, CA and Tucker, GA (USA), Technical Report 1013080, 2006.
- [2] K. Bevanger u. a., «Optimal design and routing of power lines; ecological, technical and economic perspectives (OPTIPOL).», Norwegian Institute for Nature Research, Trondheim (Norway), Final Report 1012, 2014.
- [3] UVEK, «Bewertungsschema für Übertragungsleitungen», Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bern, Schweiz, 28-Feb-2013.
- [4] M. Raubal, J. Schito, A. Grêt-Regamey, und U. Wissen Hayek, «Einsatz von 3D GIS zur transparenten und nachhaltigen Planung von elektrischen Versorgungsnetzen», Bundesamt für Energie BFE, Ittigen (Switzerland), Schlussbericht SI/507073-01, 2017.
- [5] J. Schito, U. Wissen Hayek, und M. Raubal, «Enhanced multi criteria decision analysis for planning power transmission lines», in Proceedings 10th International Conference on Geographic Information Science (GIScience 2018), Melbourne (Australia), 2018, Bd. 114.
- [6] J. Schito, «Modeling and optimizing transmission lines with GIS and Multi-Criteria Decision Analysis», it – Information Technology, Bd. 59, Nr. 1, S. 1–9, Jan. 2017.
- [7] P. Rheinert, «Freileitungen minimaler Sichtbarkeit und deren gleichzeitige Optimierung nach mehreren Kriterien», Dissertation, Universität Saarbrücken, Saarbrücken (Germany), 1999.
- [8] N. Piveteau, «A Novel Approach to the Routing Problem of Overhead Transmission Lines», Master Thesis, Universität Zürich UZH, Zurich (Switzerland), 2017.
- [9] J. Malczewski, GIS and Multicriteria Decision Analysis. New York, NY (USA): John Wiley & Sons, 1999.
- [10] UVEK, «Sachplan Übertragungsleitungen (SÜL)», Bundesamt für Energie (BAFU) und Bundesamt für Raumentwicklung (ARE) im Auftrag des Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, 12-Apr-2001.
- [11] Schweizerisches Bundesgericht, Urteil 1C\_398/2010 vom 5. April 2011. 2011.
- [12] J. Schito und M. Raubal, «Planning transmission lines upside down: How earth cables are combined with overhead lines», gehalten auf der SCCER FURIES – 5th Annual Conference, Lausanne (Switzerland), 2018.

#### **Impressum**

**Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas,  
Telekommunikation, Post und Eisenbahnen**

Tulpenfeld 4

53113 Bonn

Telefon: 0800 638 9 638

[www.netzausbau.de](http://www.netzausbau.de)

[netzausbau.de/newsletter](http://netzausbau.de/newsletter)

[twitter.com/netzausbau](https://twitter.com/netzausbau)

[youtube.com/netzausbau](https://youtube.com/netzausbau)

[facebook.com/netzausbau](https://facebook.com/netzausbau)

**Satz, Layout und Grafik**

Bundesnetzagentur

**Redaktionschluss**

06.09.2019

**Fotografie/Bildnachweis**

Bundesnetzagentur (sofern nicht anders angegeben)

**Druck**

MKL Druck GmbH & Co. KG

Graf-Zeppelin-Ring 52

48346 Ostbevern

**Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas,  
Telekommunikation, Post und Eisenbahnen**

Tulpenfeld 4

53113 Bonn

Telefon: 0800 638 9 638

[www.netzausbau.de](http://www.netzausbau.de)

[netzausbau.de/newsletter](http://netzausbau.de/newsletter)

[twitter.com/netzausbau](https://twitter.com/netzausbau)

[youtube.com/netzausbau](https://youtube.com/netzausbau)

[facebook.com/netzausbau](https://facebook.com/netzausbau)