

Bert Droste-Franke, Markus Voge, Davy van Doren

Transdisziplinäre Analyse komplexer sozio-technischer Sachverhalte

1. Einleitung

Die Entwicklung in Richtung zunehmender vielfältiger und gleichzeitiger Krisen, die über globale Zusammenhänge miteinander verknüpft sind, sowie kontinuierlicher und sich beschleunigender technologischer Wandel müssen als Rahmenbedingungen bei politischen Entscheidungen und damit auch in der Politikberatung berücksichtigt werden. Hinzu kommt die Einbettung von Technologien, ihrer Entstehung und Nutzung in komplexe sozio-technische Zusammenhänge. Insgesamt ergibt sich ein unüberschaubares Bild von verschiedenen miteinander verknüpften Sachverhalten, die letztendlich ausschlaggebend sind für eine erfolgreiche zukunftsfähige Gestaltung von Technologien und die damit einhergehenden Debatten.

Vor diesem Hintergrund ergibt sich eine Reihe besonderer Herausforderungen, die in aktuellen Analysen bei der Gestaltung von Technologien in komplexen sozio-technischen Zusammenhängen vor dem Hintergrund sich kontinuierlich verändernder Rahmenbedingungen oft nicht ausreichend berücksichtigt werden. Dazu gehört die Robustheit von Analysen. Das bedeutet, als besondere Herausforderungen, unter anderem Lösungen zu erstellen, die für verschiedenste Rahmenbedingungen gelten und die gleichzeitig transparent und somit zugänglich für Meta-Analysen sind. Dabei sollten alle wichtigen, auch praktischen Aspekte berücksichtigt werden. Auch die Erweiterung und Nutzung vorhandener Modelle sowie ihre Kombination für konkrete Problemlösungen sind solche Herausforderungen. Darauf aufbauend werden als neue Elemente der rationalen TA (vgl. Droste-Franke 2025) kombinierbare Methoden und Instrumente vorgestellt, mit denen die genannten Herausforderungen in verschiedenen Projekten angegangen wurden. Eine zentrale Rolle spielt dabei ein Co-Design-Prozess, bei dem wissenschaftliche und praktische Expertisen jeweils zweckgerichtet in die Projekte eingebracht werden, so dass in diesem Sinne transdisziplinäre Analysen entstehen. Mit verschiedenen tiefgehenden Analysemöglichkeiten wie soziale Netzwerkanalysen und agentenbasierte Modellierung für Innovationssysteme werden sozio-technische Strukturen transparent und untersuchbar gemacht. Wesentliche

Schritte für die Gestaltung von Technologien im Sinne einer Politik- und Gesellschaftsberatung sind die Analyse und Auswahl von Optionen, die eine Mischung von quantitativen und diskursiven Elementen enthält. Schließlich können die Analysen durch die Nutzung des IQIB-Innovation-Labs unterstützt werden. Mit den kombinierbaren Methoden und Instrumenten kann die Politikberatung verbessert werden. Im Fokus steht die Gestaltung möglichst zukunftsfähiger Technologien unter Berücksichtigung komplexer sozio-technischer Zusammenhänge und ihren besonderen Herausforderungen.

Im Folgenden werden zunächst die Herausforderungen der transdisziplinären Analyse komplexer sozio-technischer Sachverhalte diskutiert. Dabei wird neben weiteren theoretischen und praktischen Herausforderungen berücksichtigt, dass Handlungsempfehlungen möglichst „robust“ sein sollten. Des Weiteren wird die zentrale Rolle von Co-Design-Prozessen hervorgehoben, bevor Beispiele aus der Analyse von Innovationsnetzwerken, der Analyse und Auswahl von Gestaltungsoptionen und die Nutzung des Innovation-Labs vorgestellt wird. Im Fazit werden die genutzten Ansätze schließlich nochmal reflektiert.

2. Herausforderungen

2.1. Robuste Handlungsempfehlungen

Die Betrachtung sozio-technischer Sachverhalte zeichnet sich dadurch aus, dass sie die Technologie als eng verwoben mit der Gesellschaft und ihren Rahmenbedingungen ansieht. Technologien entstehen aus gesellschaftlichen Prozessen und Technologien werden von der Gesellschaft genutzt, um Bedürfnisse zu befriedigen (vgl. Büscher et al. 2019). Aus dieser Perspektive können konkrete Analysen entwickelt werden, die systemische Zusammenhänge darstellen und dazu geeignet sind, Bewertungen in Entscheidungssituationen durchzuführen beziehungsweise direkt für Gestaltungsprozesse aufgegriffen zu werden. Aus der Betrachtung von Energiesystemen zeigt sich, dass es von großer Relevanz ist, dass solche Analysen epistemisch und sozial robust sind (vgl. Droste-Franke 2025; Droste-Franke et al. 2015). Robust heißt dabei nicht, dass sie unflexibel sind, vielmehr sollen negative sowie positive Entwicklungen aufgenommen und in der Gestaltung von Technologien auf sie reagiert werden können. Letztendlich erfordert ein solches Verfahren ein schrittweises Vorgehen mit Phasen der Reflexion und Überprüfung, um dynamisch stabile Lösungen zu erarbeiten (vgl. Droste-Franke et al. 2015, S. 9). Wesentlich ist dabei, dass möglichst alles relevante vorhandene

Wissen genutzt wird und verschiedene, auch sich ändernde, Bewertungen der Gesellschaft berücksichtigt werden.

2.2. Theoretische beziehungsweise wissenschaftliche Anforderungen an Analysen

Aus einer eher theoretischen beziehungsweise wissenschaftlichen Perspektive ergeben sich verschiedene Anforderungen an solche Analysen, mit denen gute sozio-technische Lösungen für verschiedenste Entwicklungen der Rahmenbedingungen erarbeitet werden können.

Zum einen sollten Handlungsoptionen von Akteur*innen und Auswirkungen auf Umwelt und Gesellschaft detailliert dargestellt und diskutiert werden. Dabei ist die Vollständigkeit und Zweckmäßigkeit der untersuchten Aspekte wichtiger als der Detailgrad der Analysen. Zudem ist es für die Ableitung realitätsnaher Lösungen erforderlich, neben wissenschaftlichem Wissen nutzbares praktisches Wissen zu berücksichtigen. Eine besondere Herausforderung ist es dabei, praktisches, empirisches Wissen zu identifizieren, das trotz Veränderungen der Rahmenbedingungen durch Transformationen und Polykrisen, unverändert auch für die Analyse zukünftiger Situationen gültig ist und genutzt werden kann. Oftmals ist insbesondere solch erfahrungsbasiertes Wissen aus der Praxis der Schlüssel zu einer guten, anwendbaren Problemlösung (vgl. Droste-Franke et al. 2015; Wynne 1996).

Für problemorientierte Handlungsempfehlungen, die nicht nur für eine konkrete Situation gelten sollen, ist es sinnvoll, generalisierte Daten und Verhaltensweisen zu nutzen. Damit können zwar keine realistischen Aussagen für konkrete Ereignisse vor Ort getroffen werden, aber mit ihnen kann eine typische Situation möglichst genau für den Sachverhalt abgebildet werden. So können Gestaltungsoptionen erarbeitet werden, die im Idealfall auf andere, ähnliche Situationen übertragbar sind. Auf diese Weise lässt sich trotz Trade-off zwischen Generalisierung, Genauigkeit und Realitätsnähe eine gute Lösung erarbeiten (vgl. Droste-Franke 2025; Kaiser et al. 2022; Levins 1966).

Um die Analysen auch bei geänderten Rahmenbedingungen noch nutzen zu können, ist es zentral, dass sie in den wesentlichen Annahmen bezüglich Technologien und Rahmenbedingungen sowie normativen Elementen transparent sind.

2.3. Praktische Anforderungen an Analysen

Aus praktischer Sicht ergeben sich weitere Anforderungen für problemorientierte Analysen, um Handlungsempfehlungen zu erarbeiten, die auch bei unvorhergese-

henem technischem Wandel und schwierigen Rahmenbedingungen noch gute Lösungen darstellen (vgl. Droste-Franke et al. 2015).

Zum einen sollten frühzeitig Praktiker*innen hinzugezogen werden, um den Fokus auf Sachverhalte zu legen, die auch in der praktischen Umsetzung relevant sind. Das ist vor allem bei komplizierten Systemen schwierig, bei denen es sich als sinnvoll herausstellt, auf bereits etablierten Modellen aufzubauen, die jedoch in ihrem Fokus wesentlich angepasst werden müssen. Beispielsweise erfordert die Simulation von Stressfällen mit einem Optimierungsmodell für Energiesysteme eine wesentliche Anpassung der Zielsetzung (vgl. Gils and Yeligeti 2025).

Oftmals ist es zudem sinnvoll, verschiedene Modelle zu einzelnen Aspekten heranzuziehen und sich auf diese sowie wesentliche, aber grobe Zusammenhänge zu anderen wichtigen Aspekten zu konzentrieren. Eine Zusammenfassung zu Gesamtmodellen erscheint schon allein aufgrund der Relevanz verschiedenster zeitlicher und räumlicher Skalen zu unterschiedlichen Aspekten schier unmöglich, wie zum Beispiel bei der kombinierten Betrachtung von Effekten auf Ebene elektrischer Verteilnetze (< 1 Sekunde, lokale Netze) und auf Verkehr (Stunden und Tage, regionale Auswirkungen) (vgl. Droste-Franke et al. 2025a).

Eine Variationsmöglichkeit von Annahmen in einzelnen Komponenten (zum Beispiel zum Anteil mit PV-Anlagen belegter Dächer) und die Nutzung vielfältiger Darstellungsarten führen zudem dazu, dass verschiedenste Beteiligte einen aussagekräftigen Vergleich relevanter Optionen durchführen können (vgl. *ibid.*).

3. Co-Design zur zweckgemäßen Gestaltung von Analysen

Mit dem Ansatz des transdisziplinären Co-Designs ergeben sich Möglichkeiten, den oben diskutierten Anforderungen gerecht zu werden und Praktiker*innen möglichst von Beginn an in Analysen einzubeziehen. Grundlage dazu bildet der IQIB-Ansatz inter- und transdisziplinärer Expert*innengruppen (vgl. Droste-Franke 2025). Den Kern davon bildet der sogenannte IQIB-Lab-Workflow in 5 Schritten, als iteratives Vorgehen:

1. Zusammen mit praktischen Expert*innen, Interessengruppen beziehungsweise Entscheider*innen werden zunächst interessante Fragen, Problembereiche beziehungsweise Ziele der Analysen diskutiert. Das Ergebnis sind konkrete Fragen, die zur Problemlösung beantwortet und die Identifikation der relevantesten Aspekte, die zur Lösung berücksichtigt werden sollten.

2. Im zweiten Schritt werden verwendbare Modelle, Daten und Analysen identifiziert beziehungsweise ermittelt/zusammengestellt, entwickelt oder angepasst.
3. Im dritten Schritt werden konkrete Analysen, Experimente, durchzurechnende Szenarien zur Untersuchung beziehungsweise Visualisierung des Optionsraums konzipiert und durchgeführt.
4. Im vierten Schritt werden die Ansätze, erste Ergebnisse und Antworten vorgestellt, Unsicherheiten, Optionen und Grenzen der Analysen mit den praktischen Expert*innen aus Schritt 1 diskutiert und die Ergebnisse der Diskussionen aufgenommen. Aus Ihnen werden Verbesserungsmöglichkeiten erarbeitet, die dann in verbesserte Modelle und Analysen einfließen können. Dazu werden erneut die Schritte 2 bis 3 durchlaufen, bis die Ergebnisse in diesem Schritt noch einmal diskutiert werden. Diese Iteration kann mehrmals erfolgen.
5. Schließlich werden die Ergebnisse präsentiert, veröffentlicht und an die praktischen Expert*innen übergeben, so dass sie auch in der weiteren Praxis Anwendung finden können. Dazu kann es notwendig sein, die Nutzer*innenfreundlichkeit zu gewährleisten, sofern diese nicht schon zuvor Teil des Austausches mit den Adressaten war.

Bei der Umsetzung des Workflows können Umgebungen wie das IQIB-Innovation-Lab zusätzlich unterstützen (siehe Abschnitt 6). In ihm können auf insgesamt acht Bildschirmen mehrere Aspekte nebeneinander dargestellt werden.

4. Analyse von Prozessen in Innovationsnetzwerken

4.1. Aufbau von Netzwerken, das KomRüBer-Tool

Durch die Analyse sozialer Netzwerke kann die Struktur sozio-technischer Prozesse herausgearbeitet werden. Wer hat mit wem Kontakt, kooperiert mit anderen, wie und an wen wird Wissen transferiert beziehungsweise wer unterstützt aktiv? All diese Fragen können mit der Methode angegangen werden.

Im Projekt KomRüBer wurden durch die Sporthochschule Köln Netzwerke von Akteur*innen zur Umsetzung von Bewegungsangeboten in einem Gewerbegebiet entwickelt (vgl. Fohr et al. 2022). Der Einsatz der Netzwerkanalysen diente dazu, die Verbindungen, Dichte und Vollständigkeit beziehungsweise Zweckmäßigkeit der entstehenden Netzwerke parallel zu untersuchen. Dazu wurde die Entwicklung der Netzwerke durch die Bewegungsnetzwerkmanagerin mit einer

Visualisierung der über die verschiedenen Aktivitäten entstehenden Verknüpfungen zwischen den teilnehmenden Organisationen unterstützt. Im Laufe des Projekts wurde hierfür ein Web-basiertes Instrumentarium erarbeitet, in dem die Entwicklung der Netzwerke von Netzwerkmaßnahme zu Netzwerkmaßnahme beziehungsweise Veranstaltung zu Veranstaltung verfolgt werden konnte (siehe Abbildung 1). Die Eingabedaten sind einfache Exceltabellen für die Teilnahme an Austauschformaten, die zum Beispiel durch die Netzwerkmanagerin hochgeladen werden können.

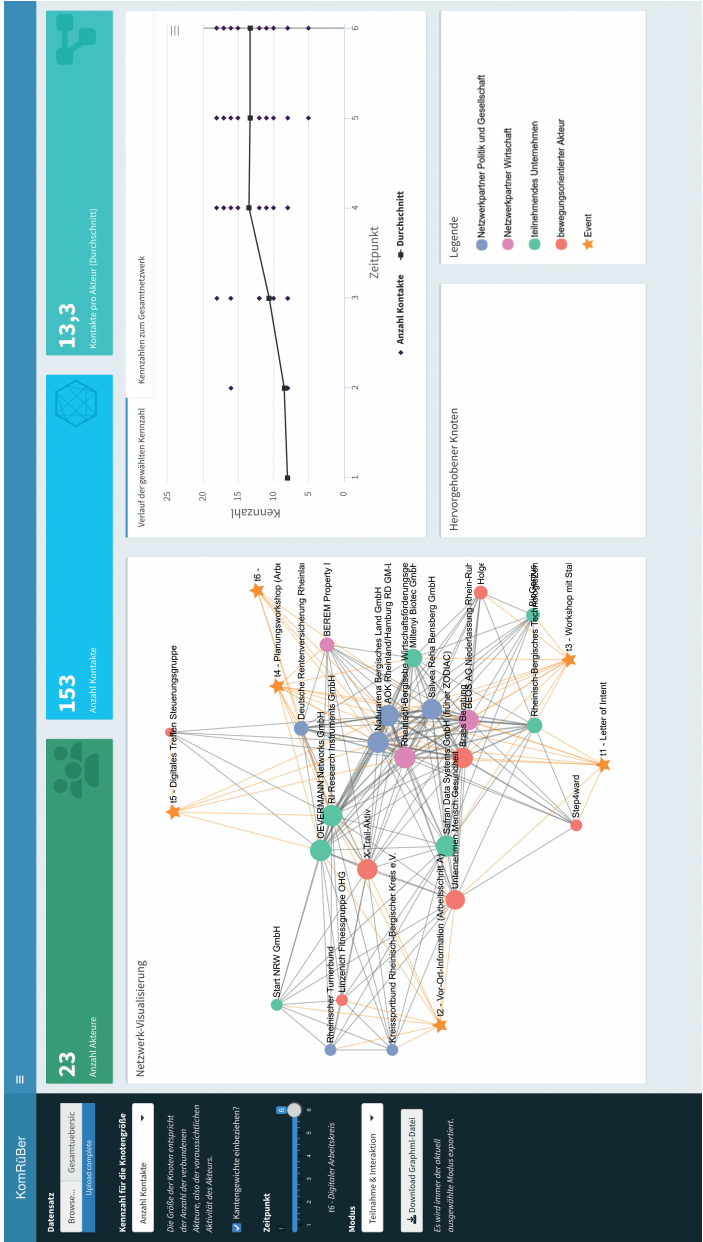


Abbildung 1: Screenshot des KomRüBer-Tools zur Begleitung des Aufbaus eines sozialen Netzwerks für die Umsetzung einer „Bewegungsnachbarschaft“ (Quelle: Eigene Darstellung)

Im Tool werden die entstehenden Netzwerke monomodal (nur Organisationen) oder bimodal (Veranstaltungen und Organisationen) dargestellt. Verschiedene in der Datei definierte Typen werden in verschiedenen Farben dargestellt. Im Projekt waren dies: Netzwerkpartner*innen aus Politik und Gesellschaft, Netzwerkpartner*innen aus der Wirtschaft, teilnehmendes Unternehmen und bewegungsorientierter Akteur/Akteurin. Die Darstellungen sind herunterladbar, so dass sie auch für Präsentationen oder Veröffentlichungen genutzt werden können. Des Weiteren werden verschiedene Metriken für die Organisationen als Knoten des sozialen Netzwerks gerechnet und über den zeitlichen Verlauf dargestellt. Zudem erfolgt die Darstellung von Details zu dem jeweils ausgewählten Knoten.

Mit dem Tool kann die zeitliche Entwicklung eines aktiv aufgebauten Netzwerkes und damit die Netzwerkwirksamkeit der einzelnen Vernetzungsmaßnahmen nachverfolgt werden. Stärken und Schwächen im Netzwerk können anhand der Visualisierungen und Metriken analysiert werden. So kann der Netzwerkaufbau an die jeweiligen Erfordernisse angepasst und das Netzwerk von den Akteur*innen zweckmäßig optimiert werden. Dabei ist die Visualisierung so umgesetzt, dass die einzelnen Entwicklungsschritte sukzessive darstellbar sind.

4.2. Zusammenhänge im Wiederaufbau nach der Ahr-Flut

In Wiederaufbauprozessen ergeben sich durch die Zusammenarbeit von Akteur*innen in verschiedenen Feldern soziale Netzwerke. Diese wurden durch das IQIB als Projektbüro im vom BMBF finanzierten und vom Ministerium direkt nach dem Flutereignis im Ahrtal initiierten Projekt „Klima-Anpassung, Hochwasser, Resilienz (KAHR)“ sichtbar gemacht (vgl. Droste-Franke et al. 2025b). Dazu wurden Informationen zu den Wiederaufbauaktivitäten unmittelbar nach der Hochwasserkatastrophe, beteiligten Akteur*innen, Akteursorganisationen, Bedarfen und Maßnahmen gesammelt und in einer Datenbank abgespeichert. So konnten sie als Grundlage für weitere Analysen im Projekt genutzt werden.

Grundlage der Datenbank sind unter anderem Veröffentlichungen der Presse, regionale Veranstaltungen, themenrelevantes Informationsmaterial und historische Quellen. Die Daten in der Datenbank wurden in einem Netzwerk visualisiert, das es ermöglicht, sich von Datensatz zu Datensatz zu hangeln. Zusätzlich verfügt es über eine Volltextsuche. Aus der Netzwerkdarstellung werden die Verknüpfungen direkt sichtbar. Neben einer Darstellung des Gesamtnetzwerks mit sichtbaren Verbindungen erster und zweiter Ordnung des ausgewählten Knotens, wird das Ego-Netzwerk mit den Knoten erster und zweiter Ordnung des aktuell ausgewählten Knotens separat dargestellt. Das Gesamtnetzwerk ist drehbar, so

dass vom Nutzenden möglichst die optimale Ansicht gewählt werden kann. Für den ausgewählten Knoten werden zusätzlich die in der Datenbank hinterlegten Informationen dargestellt.

Die Darstellung in Netzwerken erleichtert hier die Analyse der umfangreichen Daten zum Wiederaufbau, vor allem im Hinblick auf die Zusammenhänge untereinander, und bietet so die Grundlage zu detaillierteren Akteursanalysen.

4.3. Agentenmodelle zur Simulation von Technologieentwicklungen

Innovationsnetzwerke haben wesentlichen Einfluss auf die Genese neuer oder verbesserter Technologien aus vorhandenem wissenschaftlichem und praktischem Wissen (vgl. Fagerberg 2006). Mit ihnen kann die Dynamik der Entwicklung in Abhängigkeit verschiedener implementierter Politikmaßnahmen simuliert werden.

In einer Reihe von Projekten wurden vor diesem Hintergrund am IQIB agentenbasierte Modelle zur Simulation und Analyse von Prozessen in Innovationsnetzwerken entwickelt. Die Fokusse lagen dabei auf der Simulation von Innovationsdynamiken neuer Schlüsseltechnologien der Energiewende am Beispiel von Lithium-Batterien (vgl. Droste-Franke et al. 2020), auf Modellentwicklung und Modellkopplung zu Akteur*innenverhalten in Innovations- und Diffusionsnetzwerken am Beispiel der Wärmeversorgung von Haushalten (vgl. Brugger et al. 2023) und agentenbasierte Multi-Level-Modellierung sozio-technischer Energiesysteme (vgl. Adelt et al. 2023). Insgesamt wurden so verschiedenste Prozesse in Innovationsnetzwerken in jeweils angepassten agentenbasierten Modellen simuliert und analysiert. Zentral war in allen Modellen die Kooperation von Firmen und Forschungsinstitutionen und die Simulation der daraus entstandenen Innovationen. Die darin enthaltenen Prozesse waren unter anderem: Abbildung der Marktdynamik als Angebot und Nachfrage, die Aktivitäten von Entrepreneuren in Start-ups (ideenbasiert, produktionsbasiert, forschungsbasiert), Aktivitäten kleiner und großer Firmen (Agglomerate), die Abbildung von Lieferketten (Ressourcen, Komponenten, Module, Systeme), die Abbildung von Forschungstätigkeiten (Calls, Projektzusammenarbeit, Wissen, Wissensaufnahme), Märkte, Lernkurven (Einfluss von neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen, Produktionswissen, Produktionsumfang, Erfahrungen) und Aus- und Weiterbildung von Installateuren zur Technologieimplementierung.

Eine besondere Herausforderung bei der Umsetzung der Prozesse in Modelle war die Kalibrierung der Modelle. Eine Validierung, etwa anhand historischer Daten, war aufgrund der anzunehmenden strukturellen Veränderungen in den

Rahmenbedingungen durch den Transformationsprozess der Energiewende praktisch unmöglich. Stattdessen wurde darauf fokussiert, Handlungen als Grundlage der Modelle zu nutzen, die sich absehbar nicht grundsätzlich ändern, wie etwa Verhalten von Akteur*innen in Kooperationen, Verhalten von Firmen im Innovationsprozess, Verhalten von Installateuren im Hinblick auf Aus- und Weiterbildung. Dabei wurden in den betrachteten „Populationen“ jeweils verschiedene relevante Typen unterschieden. Die Simulationen ermöglichen direkte Einblicke darin, wie aus Handlungen Einzelner makroskopische Effekte entstehen. Dazu lassen sich bei Bedarf unter anderem Entwicklungen individueller Akteur*innen nachverfolgen. Sensitivitäten und Unsicherheiten werden durch Variation wesentlicher Annahmen berücksichtigt.

5. Analyse und Auswahl von Gestaltungsoptionen

5.1 *Instrument zur morphologischen Analyse*

In gesellschaftlichen Prozessen spielen oft viele Aspekte eine Rolle, die sich zudem gegenseitig beeinflussen. Schnell ergeben sich unüberschaubare, nicht leicht zu entwirrende Zusammenhänge, die nur schwer zu analysieren sind. Mit Hilfe einer morphologischen Analyse können solche Sachverhalte in einem ersten Schritt analysiert werden. Dazu werden Zusammenhänge zwischen verschiedenen externen und internen Variablen von Systemen dargestellt. Durch paarweise Analyse von Zusammenhängen im Sinne von Ausschlüssen – da Werte von Variablen nicht eingenommen werden können, wenn bestimmte Werte anderer Variablen realisiert sind – kann der Ergebnisraum von Zusammenhängen erheblich eingeschränkt werden (vgl. Ritchey 2011). Für die morphologische Analyse wurde am IQIB ein webbasiertes Instrumentarium entwickelt und vor allem zur Darstellung abgeleiteter Energieszenarien und zur Auswahl von zugrunde liegenden Annahmen in verschiedenen regionalen Energieportfolien genutzt (siehe unten Szenariotool) (vgl. Schaffrin et al. 2020). Es hilft vor allem dabei, Transparenz herzustellen und ermöglicht Sensitivitätsanalysen.

5.2. Erarbeitung eines regionalen Energiekonzepts

Im Projekt EnAHRgie¹ wurde gemeinsam mit Wissenschaftler*innen und Praktiker*innen in einer „Innovationsgruppe“ ein Methoden- und Instrumentenkasten erarbeitet, der für die Erstellung eines regionalen Energiekonzepts genutzt werden kann (www.enahrgie.de/tools). Die Ziele, Methoden, Instrumente und Ergebnisse wurden intensiv in der Innovationsgruppe diskutiert und entsprechend in Analysen umgesetzt. Im Verlaufe des Projekts wurden sogar neue, zunächst nicht geplante Analysen durchgeführt (multikriterielle Optimierung von Energieportfolien) während andere angepasst wurden. Unter anderem erfolgte die Indikatorenauswahl, aber auch die Entwicklung der Tools in enger Abstimmung mit den Akteur*innen vor Ort. Details sind in Schaffrin et al. (2020) veröffentlicht. Die sehr enge, fast idealtypische Zusammenarbeit zwischen Wissenschaftler*innen und Praktiker*innen zur Gestaltung von Analysen in dem Projekt ist Vorbild für weitere Projekte wie EnergieregionPlus, in denen, noch praxisnäher, eine Umsetzungsgruppe eingesetzt wird.²

5.3 Regionale Bewertung von Optionen mit Szenario-Tool

Im Rahmen des Projekts EnAHRgie wurde ein Szenario-Tool entwickelt, das zur interaktiven Darstellung der Optionen zur regionalen Energieversorgung im Landkreis auf Basis von Szenarien genutzt werden kann.³

Das Tool kann dazu genutzt werden, Szenarien darzustellen und die Zusammenhänge zwischen Annahmen und Auswirkungen auf verschiedene Indikatoren wie Treibhausgasemissionen, regionale Wertschöpfung und Flächeninanspruchnahme in der Übersicht, aber auch im Detail darzustellen. Es ist über das Internet verfügbar und individuell oder auch in Workshops nutzbar. Es wurde während des Projekts und danach vielfach für Diskussionen über die Optionen zur Umsetzung erneuerbarer Energien im Landkreis eingesetzt. Durch Hochladen von Daten aus anderen Regionen in einer Exceltabelle können die Szenarien auf andere Regionen angepasst werden.

Mit Hilfe einer morphologischen Matrix werden die Szenarien übersichtlich dargestellt und Variationen von Annahmen ermöglicht (siehe oben). Die Auswir-

1 EnAHRgie – Nachhaltige Gestaltung der Landnutzung und Energieversorgung auf kommunaler Ebene. Umsetzung für die Modellregion Kreis Ahrweiler

2 <https://www.ijib.de/de/energieregionplus-gestaltungsinstrumente-fur-eine-smarte-und-resiliente-regionale-energiewende.html>

3 www.enahrgie.de/tools

kungen auf wesentliche Indikatoren, etwa der Beitrag einzelner Technologien zum Energiemix, zu Treibhausgas-Emissionen und zur regionalen Wertschöpfung, werden übersichtlich und im Detail dargestellt.

5.4 Diskurse konsistenter Szenarien und Stressfälle

Um zukünftige Energiesysteme zu diskutieren, ist es sinnvoll, die Leistungsfähigkeit unterschiedlicher Optionen unter verschiedenen Rahmenbedingungen zu betrachten. Besonders wichtig ist es dabei, diese auch bei widrigen Bedingungen zu testen.

Vor diesem Hintergrund wurde im Projekt ReMoDigital ein Stresstest-Instrumentarium in einem Co-Design mit Praktiker*innen erarbeitet und umgesetzt (vgl. Droste-Franke et al. 2025a). Die Grundlage bilden Szenarien für die Entwicklung von Rahmenbedingungen, auf denen Stressfälle simuliert werden.

Insgesamt wurden vier Systemmodellierungen des DLR (nationale Energieversorgung, Verteilnetze, Verkehr und elektrisches Laden) auf die spezifischen Anforderungen angepasst und konsistent in dem Tool umgesetzt. Möglichkeiten verschiedener digitaler Resilienzmaßnahmen auf die Systeme können in verschiedenen Visualisierungen themenspezifisch nebeneinander zusammengestellt werden. Neben Übersichten sind auch Details der Analysen einsehbar. Dadurch werden die Leistungsfähigkeiten der Optionen aus den Ergebnissen sichtbar und trans- und interdisziplinär mit Expert*innen und Entscheider*innen diskutierbar.

6. Nutzung des IQIB Innovation Labs

Das Innovation Lab des IQIB besteht in seinem Front End im Wesentlichen aus acht großen Bildschirmen (75 Zoll), auf denen gleichzeitig und flexibel verschiedene Inhalte dargestellt werden können. Die Inhalte können dabei entweder von verschiedenen Endgeräten oder einem Computer mit acht Grafikausgängen bereitgestellt werden.

Mit der Nutzung des Labs werden die oben diskutierten Methoden und Instrumente zusätzlich unterstützt. So kann es dazu genutzt werden, um in Vorträgen einen umfassenden Überblick über komplexe Sachverhalte als Ganzes zu geben, um zum Beispiel mit Praktiker*innen gemeinsam Wissen zu erarbeiten, Zukunftsoptionen nebeneinander zu legen und zu diskutieren oder Zusammenhänge, Sensitivitäten und Unsicherheiten, etwa in Modellierungen oder bezüglich zukünftiger Szenarien mit Akteur*innen u.a. über interaktive Visualisierungen darzustellen und zu diskutieren. Konkrete regionalisierte Extrembeispiele haben

sich dabei als besonders wertvoll erwiesen. Diese wurden so umgesetzt, dass nicht die realen, sondern typische Verhältnisse angenommen wurden, wodurch sich die Ergebnisse gut auf andere Regionen übertragen lassen. Ergebnisse aus Analysen werden so greifbar und erfahrbar und so als Argumente in Diskursen nutzbar gemacht. In den Diskursen sind alle Beteiligten gleichmäßig am Tisch verteilt. Eine Frontalsituation wird automatisch vermieden, da alle von ihren Plätzen aus gut und flexibel auf den Bildschirmen präsentieren bzw. die Präsentation gut sehen können, was die Diskussionen auf Augenhöhe zusätzlich unterstützt und zum gegenseitigen Austausch anregt.

7. Fazit

In den Umsetzungen der Arbeiten des IQIB in verschiedenen Projekten konnten die verschiedenen Herausforderungen der Erarbeitung robuster Handlungsempfehlungen für die Politik- und Gesellschaftsberatung angegangen und verschiedene Lösungen zum Umgang mit ihnen erarbeitet werden.

Soziale Netzwerkanalysen und agentenbasierte Simulationen ermöglichen eine detaillierte Analyse und Abbildung von Zusammenhängen in sozialen Systemen. Auch zum Aufbau von Netzwerken können sie verwendet werden. Auf Basis unveränderter Prozesse auf Mikroebene von Akteur*innen können auch zukünftige Entwicklungen gut einbezogen werden.

Mit Hilfe der Analyse von Optionen und Visualisierungstools können sehr große Möglichkeitsräume eingeschränkt werden und vielfältige Annahmen übersichtlich variierbar gestaltet werden. So können Sensitivitäten erfahrbar und Zusammenhänge in Übersichten und im Detail mit wissenschaftlichen Modellen lösungsorientiert transparent und diskutierbar gemacht werden.

Bei der Entscheidungsunterstützung kann das Innovation Lab zusätzlich genutzt werden. Hier ist es wichtig, möglichst konkrete Beispiele bereitzustellen. Dabei sollte auf die allgemeinere Gültigkeit beziehungsweise die Übertragbarkeit der Ergebnisse geachtet werden.

Insgesamt ergibt sich damit eine Reihe von kombinierbaren Ansätzen, die genutzt werden können, um den diversen Herausforderungen in der Erarbeitung robuster Empfehlungen gerecht zu werden.

Diese Ansätze werden aktuell und in Zukunft weiterentwickelt und ausgebaut. Neben technologischen sollen auch regionale Innovationssysteme und Prozesse untersucht werden. Analyse- und Visualisierungstools sollen dabei zunehmend kombiniert und anwendungs- beziehungsweise umsetzungsnäher ein-

gesetzt werden und die Integration wesentlicher Aspekte für die Erarbeitung und Diskussion von Energieszenarien soll erweitert werden.

Danksagung

Der Beitrag basiert auf Erfahrungen aus vielen Projektarbeiten des IQIB, die ohne die Förderungen nicht möglich gewesen wären. Zu nennen sind vor allem (s. auch Anmerkungen im Text): KomRüBer (BMG), KAHr (BMBF, FKZ: 01L-R2102G), ActForAhrtal (DLR), InnoSen (BMW, FKZ: 03ET4032A), Manifold (BMW, FKZ: 03EI1006B), MoMeEnT (DFG, 409625677), EnAHRgie (BMBF, FKZ: 033LI10AN) und ReMoDigital (BMW, FKZ: 03EI1020A).

Referenzen

- Adelt, F.; Barsanti, M.; Hoffmann, S.; Sarma, D. S.; Schwarz, J. S.; Vermeulen, B.; Warendorf, T.; Binder, C.; Droste-Franke, B.; Lehnhoff, S.; Myrzik, J.; Rehtanz, C.; Weyer, J. (2023): Co-simulation of Socio-Technical Energy Systems: An Interdisciplinary Design Process. In F. Squazzoni (Hg.) (2023): *Advances in Social Simulation. ESSA 2022. Springer Proceedings in Complexity*, S. 477–488
- Brugger, H.; Pröpper, A.; Bernath, D.; Droste-Franke, B.; Voge, M.; van Doren, D.; Dobbins, A.; Fahl, U.; Haller, K.; Wassermann, S.; Steinbach, J.; Senkpiel, C.; Thelen, C.; Nolte, H.; Kost, C.; Kockel, C.; Kulawik, J.; Wille, F. (2023): Projekt MANIFOLD: Endbericht: gemeinsamer Endbericht des Projektes „MANIFOLD: Modellentwicklung und Modellkopplung zu Akteursverhalten in Innovations- und Diffusionsnetzwerken“. TIB, Braunschweig
- Büscher, C.; Schippl, J.; Sumpf, P. (Hg.) (2019): *Energy as a sociotechnical problem: an interdisciplinary perspective on control, change, and action in energy transitions*. London
- Droste-Franke, B. (2025): Möglichkeiten und Grenzen neuer Elemente der rationalen Technikfolgenabschätzung. In: Ornetzeder M.; Sotoudeh, R.; Peissl, W. (Hg.) (2025): *Methoden für die Technikfolgenabschätzung. Bewährte Praxis, aktuelle Herausforderungen, neue Chancen* (Arbeitstitel). Berlin
- Droste-Franke, B.; Carrier, M.; Kaiser, M.; Schreurs, M.; Weber, C.; Ziesemer, T. (2015): *Improving Energy Decisions. Towards Better Scientific Policy Advice for a Safe and Secure Future Energy System*. Springer, Berlin
- Droste-Franke, B.; Fohr, G.; van Doren, D.; Voge, M.; Bergfeld, M.; Derendorf, K.; Dziakowski, M.; Gils, H. C.; Harb, G.; Pragada, G.; Mocanu, T.; Netz, H.; Wigger, H.; Yeligi, M.; Brand, M.; Hage Hassan, B.; Narayan, A.; Prehofer, S. (2025a): *Resilience Monitoring for the Digitalisation of the Energy Transition (ReMoDigital)*. Schlussbericht, TIB, Braunschweig

- Droste-Franke, B.; Fohr, G.; Voge, M.; Nietgen, T.; van Doren, D.; Weidle, M.; O'Sullivan, M.; Deissenroth, M.; Nitsch, F.; Jacqué, K. (2020): Simulation von Innovationsdynamiken neuer Schlüsseltechnologien im Energiebereich am Beispiel von Lithium-Batterien. Schlussbericht, TIB, Braunschweig
- Droste-Franke, B.; Nietgen, T.; Kunkis, M. (2025b, in der Veröffentlichung): Erfahrungen zum Wiederaufbau. In: Schüttrumpf, H.; Birkmann, J.; Wolf, S.; Klopries, E.-M.; Trüdinger, A. (Hg.) (2025): Die Flutkatastrophe 2021 – Vom Wiederaufbau zur Klimaresilienz. Berlin
- Fagerberg, J. (2006): Innovation, a guide to the Literature. In: Fagerberg, J.; Mowery, D.; Nelson, R.R. (Hg.) (2006): The Oxford Handbook of Innovation. Oxford
- Fohr, G.; Voge, M.; Droste-Franke, B. (2022): Ergebnisbericht für das SNA-Teilprojekt in KomRüBer (Konzept, Umsetzung und Evaluation einer überbetrieblichen Bewegungsnachbarschaft unter Nutzung kommunaler und regionaler Strukturen). IQIB GmbH, Bad Neuenahr-Ahrweiler
- Gils, C.; Yeligi, M. (2025): Resilience analysis for the stationary energy system. In: Droste-Franke, B.; Fohr, G.; van Doren, D.; Voge, M.; Bergfeld, M.; Derendorf, K.; Dziakowski, M.; Gils, H. C.; Harb, G.; Pragada, G.; Mocanu, T.; Netz, H.; Wigger, H.; Yeligi, M.; Brand, M.; Hage Hassan, B.; Narayan, A.; Prehofer, S. (2025a): Resilience Monitoring for the Digitalisation of the Energy Transition (ReMoDigital). Schlussbericht, TIB, Braunschweig
- Kaiser, M.; Buklijas, T.; Gluckman, P. (2022) Models and Numbers; Representing the World or Imposing Order? Perspectives on Science, 30 (4), S. 525–548
- Levins, R. (1966): The strategy of model building in population biology, American Scientist, 54 (4), S. 421–431
- Ritchey, T. (2011): Wicked Problems – Social Messes. Decision Support Modelling with Morphological Analysis. Berlin, Heidelberg
- Schaffrin, A.; Beermann, J.; Derra, I.; Droste-Franke, B.; Gustav S.; Kanngießner, A.; Müller, M.; Schäfer, M.; Schneider, S.; Strothe, L.; von Haebler, J.; Walker, B.; Wist, S. (2020): Schlussbericht des Forschungsvorhabens EnAHRgie: Nachhaltige Gestaltung der Landnutzung und Energieversorgung auf kommunaler Ebene. Umsetzung für die Modellregion Kreis Ahrweiler. TIB, Braunschweig
- Wynne, B. (1996): May the sheep safely graze? A reflexive view of the expert — lay knowledge divide. In: Lash, S.; Szerszynski, B.; Wynne, B. (Hg.) (1996): Risk, environment, and modernity. Towards a New Modernity. London, S. 44 – 83

