



Energie. Weiter denken

# **METHODISCHES VORGEHEN BEI DER ERSTELLUNG DES SYSTEM- ENTWICKLUNGSPLANS SEP**

Teil der dena – BET – Netzstudie III

Aachen, 17.12.2021

**Bearbeiter/in:**

Dominic Nailis  
Jakob Schlags  
Dr. Michael Ritzau

## INHALTSVERZEICHNIS

---

|          |   |          |
|----------|---|----------|
| <b>1</b> | <b>Begriffe.....</b>  | <b>3</b> |
| <b>2</b> | <b>Einleitung.....</b>  | <b>4</b> |
| 2.1      | Status Quo .....  | 4        |
| 2.2      | Rolle und Zweck des Systementwicklungsplans („SEP“).....                      | 5        |
| <b>3</b> | <b>Methodenvorschlag.....</b>   | <b>6</b> |
| 3.1      | Einleitung .....  | 6        |
| 3.2      | Methodik des SEP .....  | 7        |
| 3.2.1    | Ziele .....   | 7        |
| 3.2.2    | Kriterien.....  | 8        |
| 3.2.3    | Umfeldszenarien .....   | 11       |
| 3.2.4    | Weichenstellungen und Boundary Conditions .....                               | 12       |
| 3.2.5    | Zukunftsbilder (i), „Archetypen“ .....  | 14       |
| 3.2.6    | Beschreibung der Archetypen .....   | 17       |
| 3.2.7    | Robustheit gegenüber Umfeldveränderungen.....                                 | 18       |
| 3.2.8    | Verengung des Lösungsraumes auf ein erstes Leitbild.....                      | 18       |
| 3.2.9    | Zukunftsbilder (ii), „Geschärfte Zukunftsbilder“ .....                        | 19       |
| 3.2.10   | Beschreibung der Geschärften Zukunftsbilder .....                             | 20       |
| 3.2.11   | Robustheitsprüfung der Geschärften Zukunftsbilder .....                       | 21       |
| 3.2.12   | Validiertes Leitbild.....   | 21       |
| 3.2.13   | Strategie.....  | 22       |
| 3.2.14   | Ankerpunkte.....  | 23       |
| 3.2.15   | Zusammenfassung .....   | 25       |
| 3.3      | Zusammenfassung der Modellanforderungen .....                                 | 25       |
| 3.3.1    | Zusammenfassung der bisher identifizierten Modellanforderungen.....           | 25       |
| 3.3.2    | Ergänzende Aspekte.....   | 26       |
| 3.4      | Inneren Anpassungsbedarfe der Folgeprozesse durch Ausgestaltung des SEP ..... | 27       |
| 3.4.1    | Zeitliche Ausgestaltung.....  | 27       |
| 3.4.2    | Szenariorahmen der NEP-Prozesse.....  | 29       |
| 3.4.3    | Umgang mit mehreren Szenarien .....   | 30       |
| 3.4.4    | Probabilistik.....  | 32       |
| 3.5      | Ergänzende Aspekte.....   | 32       |
| 3.5.1    | Vorausschauende Planung.....  | 32       |
| 3.5.2    | Schnittstelle SEP – Europäische Union.....                                    | 32       |

## 1 BEGRIFFE

---

Zu Beginn der Methodenbeschreibung sollen im Folgenden einige zentrale Begriffe in der Reihenfolge ihrer Verwendung beschrieben werden. Diese Liste dient auch dem späteren Nachschlagen.

- **Ziele:** Unbedingt zu erreichende Eigenschaften des System-Zustandes zum zugehörigen Betrachtungszeitpunkt (Stützjahr, Zieljahr), z. B. „Netto-Null-Emission in 2045“.
- **Kriterien:** Eigenschaften des geplanten Systems zum zugehörigen Betrachtungszeitpunkt (Stützjahr, Zieljahr), die für eine Beurteilung seiner Eignung herangezogen werden sollen, z. B. „Systemkosten in 2050“, daraus ableitbar auch Summengrößen („Systemkosten von heute bis 2050“).
- **Umfeldszenarien:** Set von Größen, das aus der Sphäre deutscher Politik und/oder Gesellschaft nicht oder kaum beeinflussbar ist, z. B. „Weltmarktpreis Gas“ oder „CO<sub>2</sub>-Preis EUA“. Verschiedene Entwicklungen werden durch verschiedene Umfeld-Szenarien (x, y, z, ...) beschrieben. Abzugrenzen von: → Weichenstellungen
- **Weichenstellungen** eine oder ein Set von Größen, die durch Politik und Gesellschaft mittelfristig prinzipiell gut beeinflussbar sind, z. B. „Ausbaupfad EE“. Jede der Größen ist eine Weichenstellung, ein Set aus diesen Weichenstellungen beschreibt die aktiven Bestrebungen und Entscheidungen von Politik und Gesellschaft (A, B, C, ...). Abzugrenzen von: → Umfeldszenarien
- **Boundary Conditions:** (Begrenzende Randbedingungen) Grenzen, innerhalb derer eine jede Weichenstellung aus Restriktionen heraus sinnvoll festgelegt werden kann. Z. B: „Offshore-Wind mehr als 70 GW kritisch wg. Flächenausnutzung in der Nordsee“
- **Zukunftsbilder:** bestehen aus der Kombination der oben genannten Komponenten „Umfeldszenario“ und „Weichenstellungs-Set“ sowie weiteren Modellannahmen und -ergebnissen. Sie beschreiben eine mögliche Zukunft und können dabei verschiedene Ausprägungen annehmen:
  - **Archetypische Zukunftsbilder:** sind Zukunftsbilder, bei denen die Weichenstellungen jeweils sehr einseitig getroffen werden, um bestimmte Eckpunkte des Lösungsraumes zu analysieren. Jedes Archetypische Zukunftsbild muss dennoch stimmig, also z. B. bilanziell lösbar sein. (z. B. „umfassende Elektrifizierung“, „die Wasserstoff-Welt“)
  - **Geschärfte Zukunftsbilder:** sind Mischformen der einseitigen, Archetypischen Zukunftsbilder, die mit dem Ziel gebildet werden, absehbare Trends, Technologieoffenheit und Diversifizierungsaspekte zu berücksichtigen, und somit enger beieinander liegen können als die Archetypischen Zukunftsbilder.
- **Leitbild:** Beschreibung eines zukünftigen, realisierbaren Zustands des Energiesystems sowie zeitlicher Zwischenpunkte auf dem Weg dorthin. Die Beschreibung ist analog einem Zukunftsbild, dabei aber in einigen Aspekten bewusst unscharf, trifft also nicht alle denkbaren Festlegungen, sondern lässt Bandbreiten zu.
  - **Erstes Leitbild:** Leitbild auf Basis der Archetypischen Zukunftsbilder, wird verwendet, um Grundsatzentscheidungen zu treffen, Gemeinsamkeiten zu erkennen oder erstrebenswerte Zwischenwerte aufzuspüren.
  - **Validiertes Leitbild:** Leitbild auf Basis der Geschärften Zukunftsbilder, wird verwendet um möglichst konkret (nur noch in notwendigen Aspekten unscharf) die Basis für Strategie, Narrativ und Ankerpunkte zu bilden.
- **Strategie:** Begründeter Katalog von Umsetzungsempfehlungen an die Politik, um die Erreichung des validierten Leitbildes zu gewährleisten.

- **Narrativ:** Textliche/prosaische Beschreibung des Leitbildes zur Verdeutlichung für Nicht-Fachleute und Öffentlichkeit.
- **Ankerpunkte:** Quantitativer Teil der Empfehlung des SEP an die Politik und die nachgelagerten Infrastrukturplanungsprozesse. Z. B.: Basisannahmen aus den Umfeldszenarien, Energie-Endverbrauch nach Energieträgern, bestimmte Mengenziele wie EE-Ausbau, Export/Importmengen etc.

## 2 EINLEITUNG

---

### 2.1 Status Quo

Die Anforderung, das Energiesystem aus- und umzubauen ist nicht neu. Sie resultierte stets und resultiert heute aus **Zielen im politischen und gesellschaftlichen Umfeld**. Heute sind dies zum Beispiel das „1,5° - Ziel“, das Ziel, Effizienz zu steigern, der Kohle- und Atomausstieg, die Ziele bzgl. der Anzahl zugelassener Elektrofahrzeuge etc. Diese Ziele werden unterschiedlich konkret gefasst und bilden einen formellen oder informellen Rahmen, innerhalb dessen sich die vorstellbaren Zukünfte der Energiewirtschaft ausprägen. Die Form reicht vom politischen Statement bis zur gesetzlichen Verankerung.

Auf Umsetzungsseite stehen die **Infrastrukturbetreiber** (im Rahmen dieser Ausarbeitung die Netzbetreiber leitungsgebundener Energieversorgung) vor der Herausforderung, ihre Netze bedarfsgerecht auszubauen. Die Betreiber von Strom-Übertragungsnetzen etwa haben, so ist es in § 12 (3) EnWG geregelt, „*die Fähigkeit des Netzes sicherzustellen, die Nachfrage nach Übertragung von Elektrizität zu befriedigen*“. Sie müssen also, genau wie ihre Pendanten auf Seiten der Gasnetze<sup>1</sup>, den Bedarf antizipieren und sich in ihrer Ausbauplanung danach richten. Hierzu beschreibt das EnWG das Verfahren der Netzentwicklungsplanung (NEP) und gibt in § 12a (1) noch den konkreteren Hinweis, dass die verwendeten Zukunftsszenarien „*die Bandbreite wahrscheinlicher Entwicklungen im Rahmen der mittel- und langfristigen energiepolitischen Ziele der Bundesregierung*“ abdecken müssen. Zugleich sind diese Akteure im regulierten Umfeld zu effizientem Planen angehalten. Ein überdimensionierter Netzausbau ist nicht erwünscht. Die Planung der Netze verschiedener Sektoren (Strom, Gas, Wärme) geschieht mit geringen Schnittstellen weitestgehend unabhängig voneinander.

Der NEP gibt den Netzbetreibern Planungssicherheit und einen kalkulierbaren Investitionsrahmen im Rahmen des Systems der deutschen Anreizregulierung. Des Weiteren erfüllt er faktisch noch eine weitere Aufgabe: Eigentlich gedacht als Abbild und Resultat des politischen Willens und dessen Projektion in die Zukunft („Bandbreite wahrscheinlicher Entwicklungen“) wird er praktisch häufig in umgekehrter Richtung verwendet, nämlich als Prognose der Zukunft und Inputgröße für politische Überlegungen. Kurz gesagt: Der NEP übernimmt faktisch eine **Politikberatungs-Aufgabe**, für die er eigentlich nicht vorgesehen ist. Den Rahmen hierfür setzen die ÜNB, wenn auch im gesetzlich kodifizierten Verfahren, begleitet durch Konsultationen und genehmigt durch die BNetzA, selbst.

Das **Energiesystem befindet sich in einer hohen Transformationsdynamik**, die auch in den kommenden Jahren weiter zunehmen wird. Der Umbau, der dem Oberziel der Dekarbonisierung und des Klimaschutzes dient, führt zu einer massiven Veränderung des Erzeugungsmixes (Ausbau der erneuerbaren Energien, Abschaltung von Kohle- und Kernenergiekraftwerken). Auch die Nachfrageseite unterliegt Veränderungen in Menge und Struktur, als Beispiele können Ladevorgänge der Elektromobilität (perspektivisch auch bidirektionales Laden/Entladen), Verhalten der „Prosumer“ oder elektrische Wärmepumpen genannt werden. Durch die Dargebotsabhängigkeit der erneuerbaren Energien und deren weiter steigenden Anteil kommt der Sektorkopplung eine immer größere Bedeutung zu (Power to Heat, Power to Gas/H<sub>2</sub>, Power to Liquid). Zudem führen die erwartete und im Rahmen der nationalen Wasserstoffstrategie beschlossene Ausbreitung des Energieträgers Wasserstoff in vielerlei Hinsicht zu Veränderungen, die die bisherigen Sektorengrenzen überspringen. All

---

<sup>1</sup> Der Ablauf auf Strom- und Gasseite ist derzeit nicht identisch, die inhaltliche Anforderung sich auf die Transportaufgabe der Zukunft einstellen zu müssen, gilt aber für beide Medien.

diese Änderungen im Inneren Deutschlands beeinflussen zudem das Import-Export Verhalten an den Bundesgrenzen. Kurzum: Die Transportaufgabe in allen Sektoren ändert sich schnell und tiefgreifend, auch die Verteilnetze stehen vor regional unterschiedlich ausgeprägten aber teilweise einschneidenden Veränderungen.

Die zunehmenden Wechselwirkungen verschiedener Energieträger, insbesondere Strom, Gas, Wärme und Wasserstoff verlangen eine sektorübergreifende Betrachtung der Infrastrukturen über die bisher weitgehend getrennt Prozesse des NEP Strom und des NEP Gas hinaus.

Um die bisherige Planungslogik von Energienetzen an die hohe Dynamik der Gegenwart und Zukunft anzupassen und sie auf ihre Kernaufgaben zu fokussieren, wird vorgeschlagen, der bisherigen, individuellen Netzentwicklungsplanung einen sektorübergreifenden Prozess vorzuschalten. Dieser Prozess soll gewährleisten, dass auf Basis gesellschaftlicher Erwartungen und politischer Entscheidungen Infrastrukturbetreiber einen sektorübergreifenden verlässlichen Rahmen erhalten. Dieser Zwischenschritt ist mit dem Systementwicklungsplan (SEP) im Projekt „Netzstudie III“ entwickelt worden und wird im Folgenden im Detail diskutiert.

## 2.2 Rolle und Zweck des Systementwicklungsplans („SEP“)

Die folgende Graphik verbildlicht, wie der neue Zwischenschritt „SEP“ sich in die bestehende Planungslogik einfügen soll:

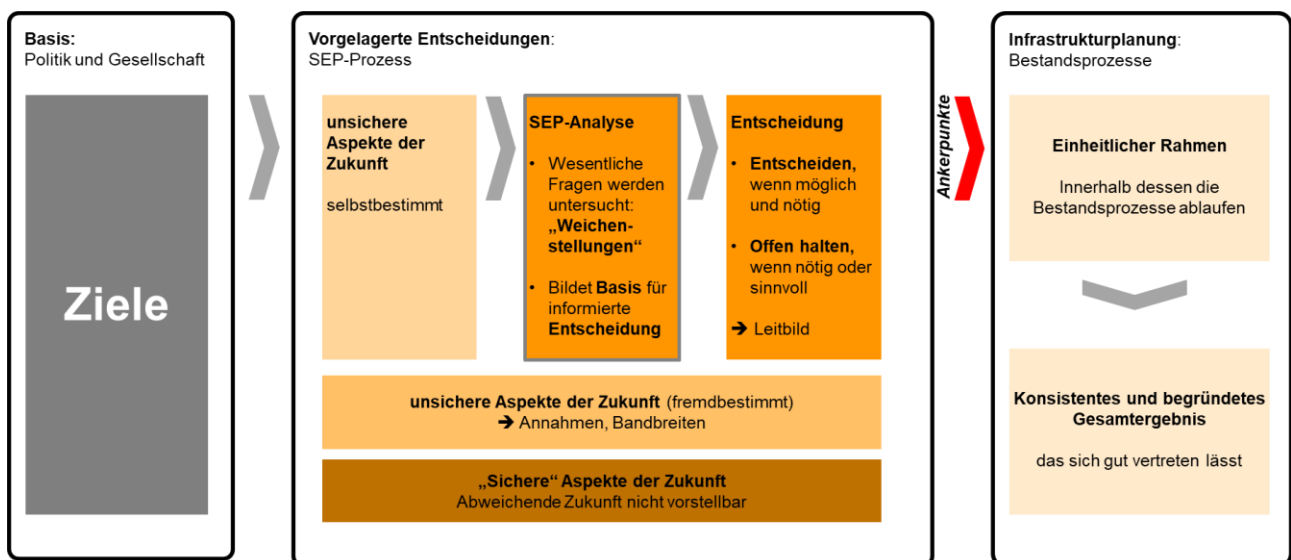


Abbildung 1: Der SEP als Schritt zwischen Zielen und Infrastrukturplanung

Zwischen Zielen von Politik und Gesellschaft einerseits und der konkreten sektorübergreifenden Infrastrukturplanung andererseits findet der SEP aus den eingangs skizzierten Gründen seine Berechtigung.

Aus methodischer Sicht ist es zweckdienlich, hierbei zwischen den „sicheren“ und den unsicheren Aspekten der Zukunft zu unterscheiden. Innerhalb der unsicheren Aspekte wiederum ist es sinnvoll, die Differenzierung nach Größen, die durch die deutsche Politik und Gesellschaft beeinflussbar sind, und denen, die nicht oder kaum beeinflussbar sind, sehr sorgfältig vorzunehmen. Diese Kaskade führt zur Identifizierung der zu entscheidenden Fragen, der sogenannten Weichenstellungen. Hinsichtlich bestimmter Weichenstellungen ist des Weiteren zu berücksichtigen, ob und inwieweit dadurch bestimmte Lock-In Effekte eintreten vor dem Hintergrund langer Investitionszyklen.

Die Anforderungen an den SEP lassen sich aus dem Problemaufriss ableiten:

- Eine **langfristige** Planung ist sinnvoll, um dem tiefgreifenden Umbau des Energiesystems gerecht zu werden. Am Beispiel Wasserstoff wird deutlich, dass der Blick in die kommende Dekade nicht

# B E T

ausreicht, denn die Entscheidung über einen Einstieg in die neue Infrastruktur ist mit großem zeitlichem Vorlauf zu treffen.

- Eine **integrierte** Betrachtung über die Sektorengrenzen hinweg ist notwendig, um die optimale Kombination der verschiedenen Energieträger erkennen zu können und deren Interdependenzen abzubilden. Die Partikularsicht auf Strom – Gas – Wärme – Wasserstoff reicht dafür nicht aus, es bedarf des Systembildes.
- Ein **Leitbild für die Zukunft** soll der sektorspezifischen Infrastrukturplanung der NEPs vorgelagert sein und im Rahmen des SEP entstehen. Dieses Leitbild steht im politischen und gesellschaftlichen Diskurs. An ihm orientieren sich die folgenden Schritte.
- Bezüglich der Infrastrukturplanung muss dieses Leitbild eine konkrete Frage beantworten: „**Auf welche Zukunft müssen die Energie-Infrastrukturen vorbereitet werden?**“ Wenn der SEP diese Frage hinreichend beantwortet, kann die Infrastrukturplanung sich ihrer eigentlichen Aufgabe widmen, hat Planungssicherheit bezüglich ihrer Annahmen und ist von Politikberatungsaufgaben entlastet.
- Die Übergabe aus dem SEP an die Folgeprozesse erfolgt durch **Ankerpunkte**, die der Planung nicht vorgreifen, sie aber – ähnlich wie Leitplanken – lenken.
- Teil des SEP muss außerdem eine **Strategie-Empfehlung** an die politische Ebene sein, auf welche Weise die Umsetzung des Leitbildes gelingen kann.
- Hinsichtlich der gesellschaftlichen Diskussion muss aus dem SEP zudem ein Narrativ entstehen. Die Botschaft, warum Energiewende wichtig und erstrebenswert ist und in welche Zukunft wir uns da gemeinsam begeben wollen, auch wenn es teilweise Mühen kostet, dient dem Zweck der Akzeptanz und damit der Machbarkeit der Energiewende.

Auf welche Weise diese Anforderungen erfüllbar sind, wird in den folgenden Kapiteln erläutert.

## 3 METHODENVORSCHLAG

---

### 3.1 Einleitung

Die im Rahmen der Dena – B E T – Netzstudie III entwickelte Methodik des SEP umfasst 14 Einzelstationen, die in der nebenstehenden Graphik dargestellt sind.

Die Leitfrage, auf die mit Hilfe der Methodik eine Antwort gefunden werden soll, lautet: „**Auf welche Zukunft müssen die Energie-Infrastrukturen vorbereitet werden?**“ Hierauf zielt die Methodik ab.

Im Rahmen des Projektes konnten einige der Stationen durch die Pilotierung erprobt, andere konnten nicht erprobt werden.

# B E T

Zunächst werden im Folgenden diese 14 Stationen beschrieben. Die Unterkapitel in 3.2 folgen diesen 14 Schritten. Aus den Bedarfen der methodischen Einzelschritte ergeben sich Anforderungen an die im SEP einzusetzenden Modelle. Diese werden gesondert ausgewiesen, siehe hierzu Kap. 0.

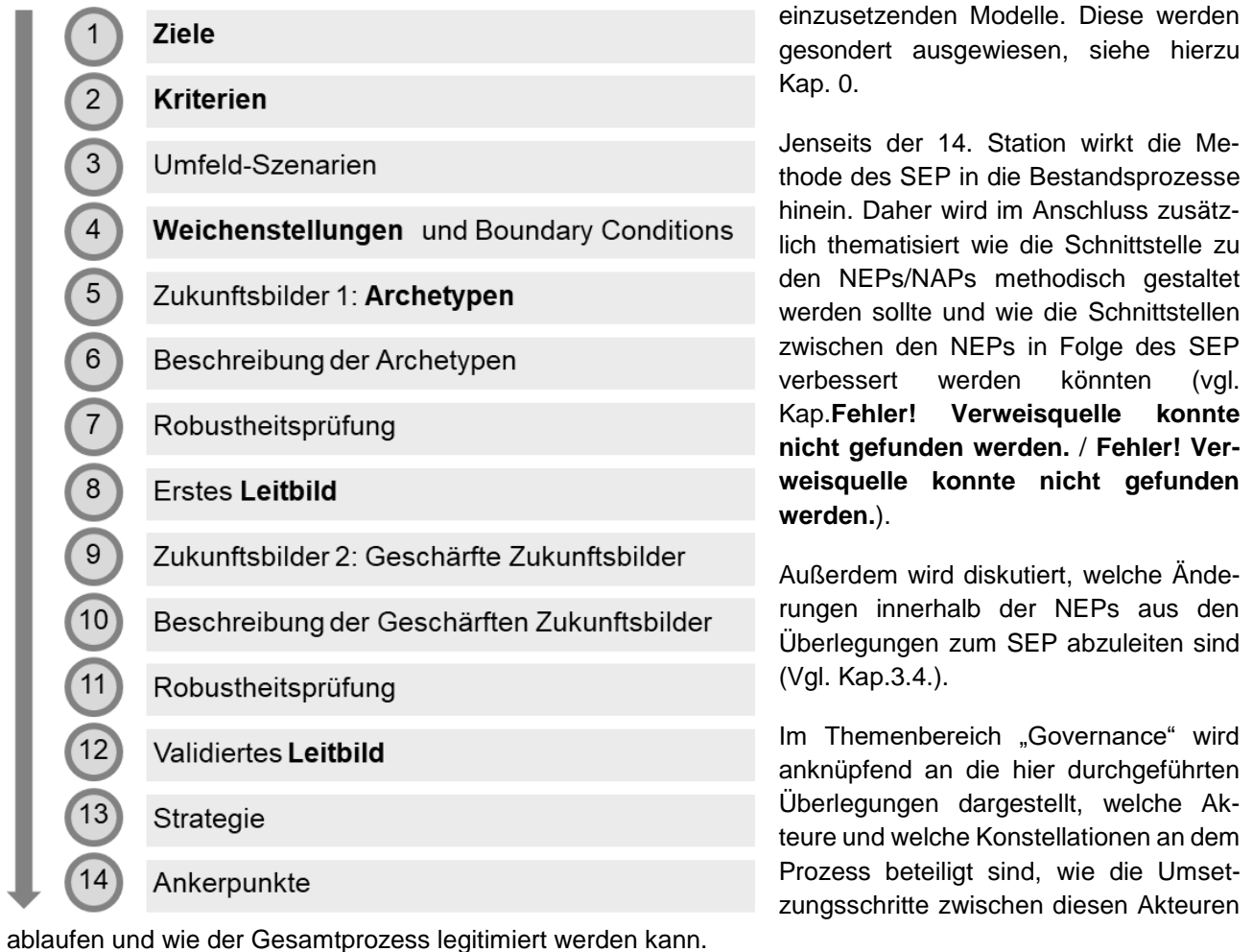


Abbildung 2: 14 Stationen der SEP-Methodik

## 3.2 Methodik des SEP

### 3.2.1 Ziele

**Definition:** Ziele im Sinne dieser Methodik sind Größen, die unbedingt erreicht werden sollen. Diese werden durch den Auftrag der Politik an die Gremien des SEP festgelegt. Bezüglich des SEP sind die Ziele also eine Inputgröße. Bei der Festlegung und Formulierung dieses Input ist zu beachten, dass eine frühzeitige Beteiligung der Öffentlichkeit zu einer hohen Akzeptanz der Ziele beitragen kann. Außerdem sollten die Ziele im Sinne der Vorgabe an den SEP messbar sein.

Die Definition von Zielen impliziert, dass deren Erreichung als notwendig erachtet wird. **Eine Lösung, etwa ein Leitbild, welches das oder die Ziele verfehlt, ist keine zulässige Lösung.**

Die hier zu fixierenden Ziele haben ihren Ursprung z. B.

- in bestehenden nationalen Gesetzen (nationale Klimaziele, Ausbauziele EE, Atomausstieg, Kohleausstieg) hinter die sie nicht zurückfallen sollen und dürfen, oder
- in europäischen Verpflichtungen (EU-Richtlinien und Zielvorgaben, Klimaschutz) oder

# B E T

- in politisch/gesellschaftlicher Mehrheitsmeinung (z. B. „Abwägung und Schwerpunktsetzung zwischen Offshore ausbauen und Wind an Land“).

Die SEP-Ziele können also in ihrer quantitativen Ausprägung über bestehende Zielvorgaben und Verpflichtungen hinaus gehen oder diese weiter in die Zukunft fortschreiben, sollen sie aber nicht in Frage stellen. Sie können zudem (zusätzlich) andere Dimensionen oder Themen betreffen als die gesetzlichen Festlegungen, z. B. besondere Anforderungen an die Versorgungsqualität.

Die SEP-Ziele bilden eine zentrale Basisgröße des SEP-Prozesses. Sie bilden im Idealfall eine gesellschaftliche Konsensmeinung sowie die bestehenden Verpflichtungen ab.

**Methodischer Ansatz:** Das Zustandekommen der Ziele ist ein vorgelagerter Prozess, der sich kontinuierlich in Politik und Gesellschaft vollzieht. Das Erreichen politischer Legitimität des Zielekanons ist durch die Gremien des SEP und ihr Zusammenspiel mit der politischen Entscheidungsebene im Rahmen der Governance zu sichern. Eine **methodische Herausforderung** liegt darin, dass Ziele im gesellschaftlichen und politischen Kontext dynamisch sind. Das aktuelle Beispiel des anzunehmenden Jahres für die Erreichung bilanzieller Klimaneutralität (2050 → 2045) zeigt dies deutlich. Um dennoch mit den Zielen umgehen zu können, bedarf es eines „model data freeze“, also eines Stichtages, zu dem die Annahmen fixiert werden. Zugleich sind einmal definierte Ziele auch immer wieder zu hinterfragen und der Dynamik nachzuführen. Auf Grund langer Planungs- und Nutzungsdauern von Infrastrukturelementen ist andererseits zu vermeiden, dass die Ziele des SEP mit zu häufiger Frequenz und in zu kurzen Abständen angepasst werden. Aus diesem Grund ist der Gesamtprozess des SEP zyklisch entworfen. Im nächsten Durchgang können also modifizierte oder andere Ziele zugrunde gelegt werden.

**Projekterfahrung:** Es wurde als Ziel „Klimaneutrale Verbrauchssektoren bis 2050 (netto Null)“ angesetzt.<sup>2</sup> Daneben sollten wie ausgeführt politische Festlegungen (Kohle- und Atomausstieg) nicht in Frage gestellt werden, um der Notwendigkeit langfristiger Planung Rechnung zu tragen. Die genaue Terminierung des ordnungsrechtlich festgelegten Kohleausstiegs<sup>3</sup> erfolgte auf 2038 (gemäß Gesetz) und berücksichtigte keine Vorverlegung, wie sie aktuell diskutiert wird. Weitere Aspekte wurden in den Gremiensitzungen als sehr erstrebenswert erkannt, etwa das Maß der Versorgungssicherheit und die Frage nach der Zulässigkeit von CCS in Deutschland. Diese wurden letztlich nicht als Ziele definiert, da sie noch nicht hinreichend ausdefiniert waren, um messbar zu sein (Versorgungssicherheit) oder über die Kategorie der Kriterien abgedeckt wurden (hierzu später).

Aus heutiger Sicht wären

- Klimaneutralität 2045
- Kohleausstieg 2035 (ggf. 2030)
- Atomausstieg (wie geplant)

Geeignete Orientierungspunkte für die Zielfestlegung.

**Modellanforderung:** Die verwendete Toolchain/Modellwelt muss in der Lage sein, die Zielerreichung zu prüfen und/oder sicher zu stellen. Wenn z. B. CO<sub>2</sub>-Emissionen Deutschlands als Ziel definiert werden, müssen die Modelle die relevanten Emissionen ausweisen oder als Modellbedingung berücksichtigen.

---

<sup>2</sup> Zum Zeitpunkt der Bearbeitung war die Zielverschärfung auf „netto Null“ im Jahr 2045 noch nicht gegeben.

<sup>3</sup> Ein marktgetriebener Minder- oder Nichteinsatz der Kohlekraftwerke kann dennoch zu einem faktischen früheren Ende der Kohleverstromung führen.



## 3.2.2 Kriterien

**Definition:** Im Gegensatz zu einem Ziel muss ein Kriterium nicht unbedingt und vollständig erreicht werden. Vielmehr ist es erstrebenswert, möglichst viel oder wenig von dieser Größe zu erreichen, beispielweise sollte das Kriterium „Systemkosten“ typischerweise minimiert werden.

Zweck der Kriterien ist die (wenn möglich quantitative) Beschreibung der späteren Zukunftsbilder. Sie bilden dafür verschiedene Dimensionen, also Eigenschaften eines jeden Zukunftsbildes ab. (Vereinfacht: Bild A ist vielleicht teurer, verursacht aber geringeren Netzausbaubedarf. Bild B vice versa.). Anhand der Kriterien in den einzelnen Zukunftsbildern kann das Leitbild als bewusst in einzelnen Aspekten noch unscharfe Mischung oder Kombination der Zukunftsbilder abgeleitet werden.

Zweck der Kriterien ist nicht die (rechenbare) Abwägung „gut gegen schlecht“ durch den Optimierer/Modellierer. Zwar liegt bei den meisten denkbaren Einzel-Kriterien nahe, welche Ausprägung erstrebenswert ist („günstig besser als teuer“ etc.), doch soll die Bewertung der Zukunftsbilder erst später im Gesamtkontext erfolgen. Am Beispiel der Kosten lässt sich zeigen, dass geringe Kosten grundsätzlich begrüßenswert sind, ein jeder Akteur aber auch auf die Verortung dieser Kosten (z. B. Infrastrukturkosten vs. Energiekosten) blicken wird, um seine Einschätzung zu bilden. Eine Gewichtung und Verrechnung gegeneinander ist bewusst nicht angelegt, um dem Wertegerüst des individuellen Bewertenden in der Abwägung nicht vorzugreifen. z. B. kann eine Person Kostengünstigkeit ggü. Umweltschutz persönlich anders gewichten als eine andere. Hier beschreiben die Kriterien lediglich: „Szenario A ist kostengünstiger als B, B hat geringere Umweltauswirkungen als A.“

Die Messbarkeit stellt eine Herausforderung dar, der sich die Akteure bei der Kriterien-Definition bewusst sein sollten: Der Umgang mit messbaren Kriterien ist angenehm, da das Tupel aus Zukunftsbild und Kriterien-Bemessung keiner weiteren Diskussion bedarf. In diesem Fall resultiert aus dem Kriterium eine Modellanforderung, den Kriterienwert ausweisen zu können, das Modell muss z. B. für ein Kriterium „Emissionsmenge“ den messbaren Wert „x Mio. t CO<sub>2</sub>“ ausgeben. Ist dies gegeben, ist das Ziel erreicht.

Doch lassen sich nicht alle Kriterien objektiv messen und im Modell erheben. Es ist möglich, dass qualitative Faktoren als Maßstab bzw. Kriterium herangezogen werden sollen. Ebenso kann es sein, dass die Modellanforderung (Messbarkeit des Kriteriums) nicht hinreichend erfüllbar ist (Bsp.: „Landschaftsverbrauch“). In diesen Fällen ist zumindest erstrebenswert, dass eine Einschätzung der qualitativen Kriterien durch die Basis der quantitativen Rechenergebnisse unterstützt wird (Bsp.: Rückschluss von Stromkreiskilometer => Trassenbedarf => Landschaftsverbrauch).

**Methodischer Ansatz:** Die **Auswahl und Festlegung** abgestimmter, anwendbarer (Vgl. Schritt 6) und sachgerechter Kriterien ist eine Kernaufgabe der Gremien des SEP (→ Vgl. Governance), in der gesellschaftliche und wirtschaftliche Interessen mit Fachkompetenz gebündelt werden. Die Gremien repräsentieren die Interessen der vertretenen Gruppierungen. Methodisch ist der intensive Austausch, der Diskurs zur Erörterung der Argumente und Interessen, der Ansatz der Wahl.

Dieser Austausch ist zwar ggf. mühsam und nicht zwingend konvergent, zugleich ist er aber ein Abbild der Kontroverse in der repräsentierten Gesellschaft und daher eine wichtige Grundlage für die spätere Verwendbarkeit der Kriterien und deren Kommunikation in die Gesellschaft. An die beteiligten Menschen stellt der Ansatz hohe Anforderungen bzgl. ihrer Integrität, Kommunikationsfähigkeit, Kompromissbereitschaft, ihres Pragmatismus und ihrer Handlungsweisheit.

**Projekterfahrung:** Im Projekt wurden die fünf Hauptkriterien identifiziert. Jedes davon wurde mit zwei bis drei Unterkriterien greifbarer und teilweise messbar gestaltet. Diese lauteten:

**Kosten-Effizienz** als Vergleichs-Maß dafür, welches der Zukunftsbilder die gesteckten Ziele am kostengünstigsten erreicht. Unterkriterien sind:

- Erzeugung: Kosten die für die Bereitstellung der Energie anfallen wie z. B. Brennstoffkosten,

# B E T

- Infrastruktur: Kosten, die für die Installation der benötigten Infrastruktur (Netze, Kraftwerke etc.) anfallen,
- Import/Export: Kosten, die an den räumlichen Außengrenzen des Systems anfallen, z. B. für den Import von Wasserstoff.

**Emissionsmenge:** Die Emissionsmengen sind als Ziel für das Jahr 2045 definiert. Dieses Ziel wird von allen Zukunftsbildern erreicht. Auf dem Weg dorthin ist es allerdings pfadabhängig, wie hoch die kumulierten Emissionen sind.

- CO<sub>2</sub>-Emission in Deutschland (also Emissionsort D, auf eine sachgerechte Abbildung der Emissionen, die mit einem importierten Produkt zusammenhängen, ist zu achten, damit Importszenarien nicht verzerrt positiv dargestellt werden, z. B. wenn Strom importiert wird.)
- CO<sub>2</sub>-Emission in Europa (Dito EU)

**Robustheit:** Als grundsätzliche Eigenschaft von Szenarien, nicht nur in einer ganz bestimmten Ausprägung der Zukunft zu funktionieren, sondern auch bei abweichenden Entwicklungen noch ausreichend Reaktionsspielräume zu haben

- Diversifizierung bezüglich Technologien, (eine zu enge Fokussierung auf eine oder wenige Technologien stärkt die Abhängigkeit von diesem Pfad)
- Diversifizierung bezüglich Primärenergieträger, (ähnlich bei Technologien: Ein Energiesystem, das sich auf mehrere Pfeiler stützt, wird Schwierigkeiten in einem der Bereiche eher verkraften)
- Import-Unabhängigkeit (je weniger die Zukunftsbilder von Entscheidungen und Entwicklungen außerhalb Deutschlands abhängen, desto mehr ist durch eigenes Handeln ein korrigierendes Eingreifen möglich).

**Umweltverträglichkeit:** Über den Aspekt des Klimaschutzes hinaus gehende Berücksichtigung der Beeinflussung der Umwelt durch die Maßnahmen, die in einem jeden Szenario jeweils ergriffen werden müssen

- Auswirkungen auf Biodiversität, (z. B. durch Beeinträchtigung bedrohter Arten)
- lokale Auswirkungen des Zukunftsbildes auf Mensch und Umwelt (z. B. unterschiedliches Maß der Flächen- und Landschafts-Inanspruchnahme) und
- Risiken für Mensch und Umwelt (ggf. von verwendeten Technologien ausgehende Gefahren, heute oder in Zukunft).

**Flexibilität:** Trägt dem Umstand Rechnung, dass auf dem Weg in die ungewisse Zukunft ein Nachsteuern und die Option zur Korrektur von getroffenen Entscheidungen hilfreich ist. Die Zukunftsbilder ermöglichen dies ggf. in unterschiedlichem Maße. Hierbei können im Einzelnen betrachtet werden:

- geringer notwendiger Entscheidungsvorlauf (Planung/Genehmigung)
- geringe Bindung an Entscheidung (technische Lebensdauer)
- geringe Kapitalbindung
- Allgemein: die Möglichkeit, Entscheidung später zu treffen

Eine besondere Bedeutung kam dem Kriterium „Akzeptanz“ zu. Dieses war zunächst Teil der Kriterienliste, wurde dann aber nach intensiver Diskussion verworfen. Ursächlich für diesen Schritt war, dass Akzeptanz am besten durch ein geeignetes Set der übrigen Kriterien zu erzielen wäre, also z. B. durch eine überzeugende

Kombination von Kostengünstigkeit und Umweltverträglichkeit. Umgekehrt wurde die Befürchtung geäußert, dass das Label „Hoher Akzeptanzwert“ auf einem Zukunftsbild bei den Menschen, die gerade dieses Bild für nachteilig halten, zum Gefühl der Bevormundung führen kann. Die Unterkriterien, die für Akzeptanz bzw. zur Erreichung von Akzeptanz vorgesehen waren (Landschaftsverbrauch, Trassenkilometer, Umweltrisiken) finden sich zudem in den verbleibenden Kriterien gut wieder. Letztlich ist es eines der Ziele des SEP insgesamt, die Akzeptanz für den Umbau des Energiesystems zu vergrößern.

Es hat sich gezeigt, dass die Festlegung von Kriterien die Modellanforderungen mitbestimmt und den Umsetzungsaufwand erhöhen kann, was an anderer Stelle (kurze Rechenzeiten, Arbeitsflexibilität, Aufwandsminimierung) ungünstig werden kann. Eine sinnvolle Abwägung ist darum erforderlich.

Im Rahmen der Pilotierung waren die Kriterien nur teilweise auswertbar, da die verwendete Toolchain nicht auf den Kriterienkatalog abgestimmt war<sup>4</sup>.

**Modellanforderungen:** Die Modellwelt soll in der Lage sein, die Kriterien-Bemessung zu unterstützen. Sofern ein Kriterium quantifizierbar ist, müssen die Modelle eine quantitative Aussage zu diesem Kriterium bereitstellen. Bei nicht-quantifizierbaren Kriterien erfolgt im Folgenden die Einschätzung durch die Gremien des SEP, sie kann ggf. durch die Modellrechnung unterstützt werden.

### 3.2.3 Umfeldszenarien

**Definition:** Die Umfeldszenarien sind ein Teilbereich der Zukunftsbilder. Sie beschreiben den Teil der Zukunft, der aus der Sphäre deutscher Politik und/oder Gesellschaft nicht oder kaum beeinflussbar ist. Als Beispiele hierfür können etwa globale Entwicklungen des Weltmarkt-Gaspreises oder internationale Klimaziele gelten.

Es gibt stets unterschiedliche, mögliche Entwicklungen des Umfeldes (x, y, z...). Dies repräsentiert die Ungewissheit der Zukunft, die sich unserem Einfluss weitestgehend entzieht. Dennoch ist es möglich, dass bestimmte Parameter in allen verwendeten Umfeldszenarien gleich ausgeprägt sind. Diese Parameter werden als „sicher“ im Sinne eines robusten Trends angenommen. Eine abweichende Zukunft, in denen diese Parameter anders ausgeprägt wären, wird als nicht betrachtenswert angesehen, typischerweise weil sie unwahrscheinlich ist oder weil, träte sie ein, die hier untersuchte Fragestellung nicht mehr von hoher Relevanz wäre (Extrembeispiel: Alle Umfeldszenarien gehen von stabilen, friedlichen Rahmenbedingungen in Europa aus, keines von disruptiven Ereignissen.).

**Methodischer Ansatz:** Eine scharfe Trennung zwischen **beeinflussbar und nicht beeinflussbar** existiert nicht und muss durch Diskussion und Abwägung getroffen werden. So sind z. B. die Zertifikatepreise im europäischen Emissionshandel auch von Deutschland mit zu beeinflussen (durch Anpassung der Caps), diese Anpassung ist aber langwierig und ihr Ausgang angesichts unterschiedlicher politischer Interessen verschiedener Staaten sehr ungewiss. Daher wäre der CO<sub>2</sub>-Preis ein Beispiel für einen Bestandteil des Umfeld-Szenarios.

Ähnliches gilt für die Abwägung zwischen **relevanten und nicht relevanten** Größen innerhalb der Umfeldszenarien: Eine eindeutige Trennung zwischen relevanten und nicht relevanten Größen ist nicht vorhanden, es bedarf einer aktiven Abgrenzung. Als Orientierung (aber nicht als Entscheidung) kann betrachtet werden, welche Größen von den einschlägigen Modellen als Eingangsparameter benutzt werden. Diese sind hypothetisch zumindest der Kern der relevanten Größen, da für das Modellergebnis irrelevante Größen für gewöhnlich nicht mit erhoben werden.

Umfeldszenarien können z. B. über Meta-Analysen vorhandener Studien, aus Konsultationen, aus Informationen der Bundesländer, aus regionalen Detaildaten etc. gewonnen werden. Sie sollten dabei ihrem Charakter nach keine „Stress-Szenarien“ sein, also nicht planvoll extreme und unwahrscheinliche Entwicklungen abbil-

---

<sup>4</sup> Die Modelle des AIRE-Konsortiums waren gemäß ihrer Projektaufgabe auf andere Größen ausgerichtet. Eine Anpassung der Modellierung hat im Rahmen der Zusammenarbeit/Pilotierung nicht stattgefunden.

# B E T

den. Außerdem sollten sie jeweils möglichst konsistent die einzelnen relevanten Parameter zueinander beschreiben, also nicht aus vielen Einzelstudien zusammengesetzt sein, ohne die Konsistenz der verwendeten Extrakte zu prüfen.

Ein pragmatischer Weg zur Generierung von Umfeldszenarien besteht darin, im Zuge einer Metastudie vorhandene Szenariosettings auf ihre Eignung zu prüfen und zu modifizieren bzw. zu ergänzen. Sofern die Modifikation und Ergänzung mit der notwendigen Sorgfalt geschehen, werden auch die modifizierten Szenarien konsistent sein, also z. B. keine bilanziellen Unstimmigkeiten aufweisen.

Für den SEP-Prozess stellt insbesondere das erste Set von Umfeldszenarien eine Herausforderung dar. In weiteren Durchgängen kann auf Basis des Vorherigen und im Lichte der Konsultationen und Ergebnisse die Passgenauigkeit weiter verbessert werden. Der Aufwand hierfür wird geringer sein als im ersten Durchlauf.

Die Erhebung von Umfeldszenarien ist Aufgabe der Gremien des SEP.

**Projekterfahrung:** Im Projekt wurde bezüglich der Umfeldszenarien auf die Arbeiten des AIRE-Konsortiums zurückgegriffen. Anders als hier beschrieben, wird im Kontext des AIRE-Projektes methodisch nicht zwischen Umfeld und Weichenstellungen differenziert. Die AIRE-Szenarien sind stets eine Kombination aus Umfeld und angenommenen Handlungen und Entwicklungen, also Weichenstellungen.

**Modellanforderungen:** Die Modellwelt muss in der Lage sein, verschiedene Umfeldszenarien sachgerecht in die Modellierung einfließen zu lassen.

## 3.2.4 Weichenstellungen und Boundary Conditions

**Definition:** Im Gegensatz zu den kaum beeinflussbaren Umfeldszenarien und den exogen vorgegebenen Zielen sind die **Weichenstellungen** nicht nur Größen, die durch Politik und Gesellschaft mittelfristig prinzipiell gut beeinflussbar und in die eine oder andere Richtung steuerbar sind, sondern auch die Größen, deren wünschenswerte Ausprägung im SEP aufgrund ihrer besonderen Relevanz untersucht wird, also letztlich die, zu denen Entscheidungen getroffen werden können und sollen. Hierunter fallen z. B. nationale EE-Ausbauziele, die Wasserstoffstrategie und die enthaltenen Ausbauziele H2 etc, Ausstiegspfade für bestimmte Technologien, usw.

Es ist aus Gründen der Praktikabilität sinnvoll, die Zahl der Weichenstellungen so klein wie möglich und so groß wie nötig zu halten, also eine Auswahl zu treffen. Die Gremien des SEP müssen sich daher auf bestimmte, relevante, also den Infrastrukturausbau determinierende, Weichenstellungen fokussieren.

Weichenstellungen können zwar beeinflusst, aber aus verschiedenen Gründen nur in gewissen Grenzen sinnvoll getroffen werden. Diese Grenzen sind die **Boundary Conditions**. Z. B. kann das Ausbauziel für Offshore-Wind nach derzeitiger Einschätzung nicht mehr als ca. 70 GW betragen, da das Vorhandensein entsprechender Flächen in der AWZ der Nordsee fraglich ist. Es ist von hoher Relevanz, sich über diese Grenzen der im Rahmen der Weichenstellung erfolgenden Varianten-Setzungen bewusst zu werden, gleich, ob sie technisch oder durch andere Restriktionen hervorgerufen werden. Eine unrealistische Annahme in einer Weichenstellung führt zu einem diesbezüglich unrealistischen Szenario.

Bestimmte „Sets“ solcher Weichenstellungen (A, B, C...) innerhalb der Grenzen der Boundary Conditions beschreiben den beeinflussbaren Teil eines Zukunftsbildes. Hierunter fallen z. B. auch öffentlich diskutierte „Gesamtkonzepte“ wie verschiedene Ansätze der Dezentralität, auch diese können im Rahmen der Weichenstellung abgebildet oder zumindest approximiert werden.

**Methodischer Ansatz:** Mögliche Weichenstellungen müssen zunächst identifiziert werden. Konkret ist zu klären, welche relevanten Weichen vorhanden sind und mit welchen der SEP sich auseinandersetzen muss. Leitkriterium ist dabei einerseits die Beeinflussbarkeit, andererseits die Relevanz auf den Infrastrukturbedarf.

# B E T

Parallel dazu ist der Bereich möglicher Weichenstellungen jeweils in Form der Boundary Conditions abzugrenzen.<sup>5</sup> Methodisch ist auch hier der intensive Austausch auf Basis einer Meta-Analyse sowie der Diskurs zur Erörterung der Argumente und Interessen, der Ansatz der Wahl. Die Umsetzung dessen ist Aufgabe der Gremien des SEP.

**Projekterfahrung:** Die Aufgabe der Festlegung von Weichenstellungen und Boundary Conditions wurde im Projekt operativ in zwei Workshops sowie den Sitzungen der Gremien „Projektteam“, „Board“ und „Beirat“ umgesetzt, um breitestmögliche Expertise einzubinden. Hierzu wurden initial in einem Brainstorming besonders relevante Themen für das Energiesystem der Zukunft gesammelt. Eine Metastudie über aktuelle Systemstudien der Energiewirtschaft ergänzte dies. Die dabei entstandene „**long list**“ war noch heterogen und enthielt verschiedene Elemente (Ziele, Kriterien, Weichenstellungen).

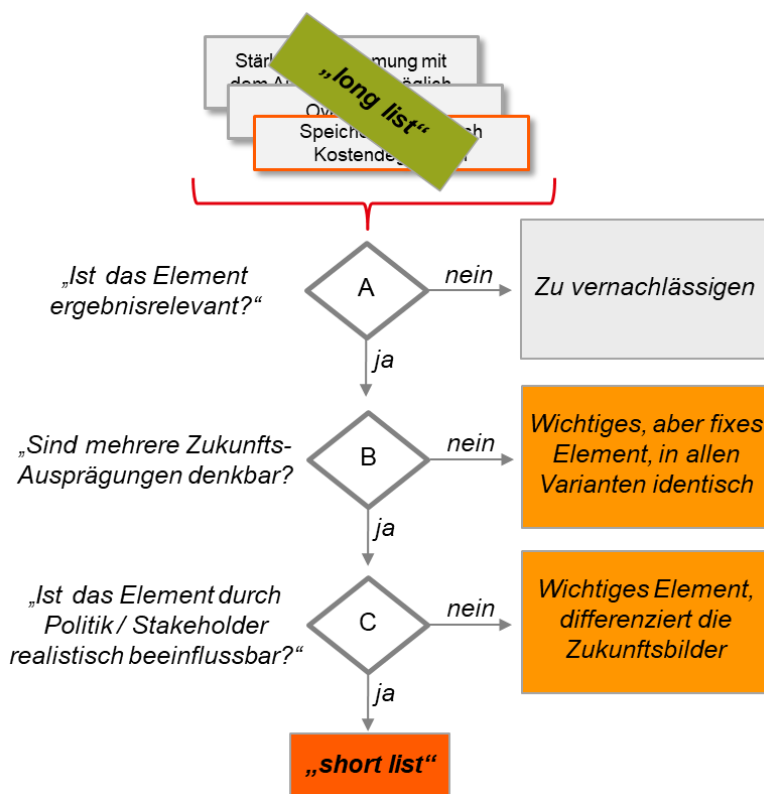


Abbildung 3: Von der long list zur short list

Das Ergebnis dieser Vorgehensweise bildete die short list mit immer noch 17 Einzelementen. Diese wurde dann aus Gründen der Praktikabilität nochmals verdichtet, indem eine intensive Diskussion über Relevanz der einzelnen Elemente geführt wurde. Die finale short list enthielt nach Abschluss aller Diskussionen und Abwägungen sieben Elemente für die weitere Durchführung des Prozesses, konkret als Input für die Szenariobildung:

Die Aufbereitung der long list gelang durch eine Sieblinie der Prüffragen:

- Nur ergebnisrelevante Elemente wurden weiter betrachtet.
- Elemente, die nur in einer Zukunftsausprägung vorstellbar sind, wurden als Rahmenparameter fixiert (=> Umfeld).
- Die Frage der Beeinflussbarkeit schließlich entscheidet gemäß der beschriebenen Logik, ob es sich bei dem Element um eine **Weichenstellung** handelt oder um eine Variabilität, die über die Umfeldszenarien abgebildet werden muss.

Das Ergebnis dieser Vorgehensweise bildete die short list mit immer noch 17 Einzelementen. Diese wurde dann aus Gründen der Praktikabilität nochmals verdichtet, indem eine intensive Diskussion über Relevanz der einzelnen Elemente geführt wurde.

<sup>5</sup> In dieser Phase geht es noch nicht um die Interdependenz der Weichenstellungen und die gegenseitige Beeinflussung der Boundary Conditions („Weiche A kann nur wert x annehmen, wenn B nicht mehr y beträgt“). Diese Kombination erfolgt im Folgeschritt.

# B E T

|   |           |  |
|---|-----------|--|
|  <b>H<sub>2</sub> im zukünftigen Energiesystem</b> | <b>1</b>  | Welche quantitative Rolle spielt Wasserstoff im Energiesystem der Zukunft?               |
|  <b>P2X-Strategie</b>                              | <b>2</b>  | In wie weit ist Power-to-X Teil dieser Strategie?  |
|  <b>P2H-Strategie</b>                              | <b>3</b>  | Fokus auf P2H als Wärmepumpe und im FW-Netz  |
|  <b>Einheitliche Gebotszone</b>                    | <b>4</b>  | Wird die Einheitliche Gebotszone in Deutschland aufrechterhalten?                        |
|  <b>Synthetische Energieträger</b>                 | <b>5</b>  | Welchen Beitrag können / müssen Globale Märkte für synthetische Energieträger leisten?   |
|  <b>Allokation Gaskraftwerke</b>                   | <b>6</b>  | Ist die gezielte Allokation von Gaskraftwerken notwendig und /oder hilfreich?            |
|  <b>Ausbaupfad EE</b>                              | <b>7</b>  | Wie ist der Ausbaupfad EE zu gestalten?  |
|  <b>Allokation EE</b>                              | <b>8</b>  | Wie sollte die Allokation der EE gesteuert werden?                                       |
|  <b>Dezentrales Konzept</b>                        | <b>9</b>  | Ist ein „Dezentrales Konzept“ vorteilhaft?   |
|  <b>Import-Unabhängigkeit</b>                      | <b>10</b> | In welchem Maß ist bilanzielle, jährliche Import-Unabhängigkeit sinnvoll oder notwendig? |

Abbildung 4: Weichenstellungen der Szenarien

**Modellanforderungen:** Die Modellwelt muss in der Lage sein, die Weichenstellungen und ihre Folgen (auf Kriterien und Ziele) abzubilden. Diese trivial klingende Anforderung bedeutet konkret, dass Varianten und Sensitivitäten bezüglich dieser Weichenstellungen unkompliziert umsetzbar sein müssen, um den Prozess insgesamt handhabbar zu machen.

### 3.2.5 Zukunftsbilder (i), „Archetypen“

**Definition:** Zukunftsbilder, egal ob archetypisch oder nicht, entstehen durch die Kombination von vier Komponenten:

- 1) Die erste Komponente bilden die Umfeldszenarien (x, y, z...) aus Schritt 3. Diese beschreiben die exogenen Entwicklungen. Im vereinfachten Fall kann für alle zu generierenden Zukunftsbilder dieselbe Entwicklung des Umfeldes im Sinne eines Best Guess angenommen werden. Die Konsequenzen dieses Ansatzes bezüglich der Robustheit der Ergebnisse werden unter Kapitel 3.2.7 und 3.2.11 diskutiert.
- 2) Die zweite Komponente liegt in Form der Weichenstellungs-Sets (A, B, C...) bereit. Diese Sets werden aus den Möglichkeiten gebildet, die in Schritt 4 analysiert wurden. Jede Weichenstellung erfolgt also z. B. im Rahmen ihrer Boundary Conditions.
- 3) Weitere Annahmen und Detaillierungen müssen ggf. ergänzt werden, z. B. um Modell-Lauffähigkeit herzustellen (Annahmen zu Kraftwerkswirkungsgraden, Solarstrahlung, Windhöffigkeiten...).
- 4) Als vierte Hauptkomponente werden nach den Modellläufen die Berechnungsergebnisse hinzukommen, denn auch die Berechnungsergebnisse sind Teil des Zukunftsbildes.

Ein **Archetypisches** Zukunftsbild ist ein Zukunftsbild, bei dem die Weichenstellungen tendenziell einseitig getroffen werden, um bestimmte Eckpunkte des Lösungsraumes zu erkunden. Das Archetypische Zukunftsbild hat also einen einseitig geprägten Charakter, etwa die „most electric world“ oder die „Wasserstoff-Welt“. Das

# B E T

Gesamtbild jedes Archetypen muss dabei stimmig, also z. B. bilanziell lösbar sein. Die Archetypischen Zukunftsbilder sollten so gewählt werden, dass sie in ihrer Verschiedenheit ein breites Spektrum möglicher Zukünfte abdecken. Keine potenziell relevante/interessante „Ecke des Lösungsraumes“ sollte unbetrachtet bleiben.

Die Anzahl der benötigten Archetypischen Zukunftsbilder muss durch den Bedarf der Gremien des SEP bestimmt werden. Um einerseits Handhabbarkeit und andererseits eine effektive Ausleuchtung des Möglichkeitsraumes zu erreichen, könnte die Anzahl bei ca. fünf bis acht liegen.

Die Archetypischen Zukunftsbilder sind dann prädestiniert, um typische, individuelle Eigenschaften und auch Gemeinsamkeiten klar erkennen zu können. Damit sind sie ein wesentlicher Schritt zur Einschränkung des Lösungsraumes und damit einen wichtigen Schritt zum finalen Zukunftsbild.

**Methodischer Ansatz:** Die Aufgabe der Erstellung von Zukunftsbildern ist im Kern eine Kombinationsaufgabe. Im vereinfachten Fall wird ein Umfeldszenario und dessen Parameter (Komponente 1, s.o.) mit einem Set an Weichenstellungen (K2) kombiniert, ergänzt um technische und andere Modellparameter (K3) und der Modellierung zugeführt. Deren Ergebnisse bilden die vierte und letzte Komponente der Kombination.

In der operativen Umsetzung gilt es also, die Weichenstellungen plausibel und stimmig zu kombinieren und die gesuchten Sets daraus zu bilden.

Die Konsistenz, also die gegenseitige Stimmigkeit von mehr als vier bis fünf Größen gleichzeitig zu beurteilen, fällt zunehmend schwer. Daher ist es effektiv, zur Erstellung von Sets solcher Größen methodische Hilfe zu verwenden. Ein erprobter Lösungsansatz für dieses Problem besteht in der sog. „Szenariotechnik“. Diese Methode besteht im Kern aus einem Expertenworkshop. In diesem Workshop wird die Konsistenz des Gesamtssets aufgelöst in die paarweise Beurteilung der Konsistenz von jeweils zwei der betrachteten Größen. Inhaltlich findet die intuitive Experteneinschätzung der Gruppe ihren Niederschlag in der paarweisen Beurteilung. Diese wird mathematisch zu Kombinationen verdichtet, die wiederum von den Experten auf ihre Stimmigkeit und Eignung untersucht werden. Im Ergebnis stehen hinreichend verschiedene Sets, die folglich auch verschiedene Ecken des Lösungsraums ausleuchten. Der methodische Schritt ist gut geeignet, um die Charaktere der Archetypen zu bestimmen.

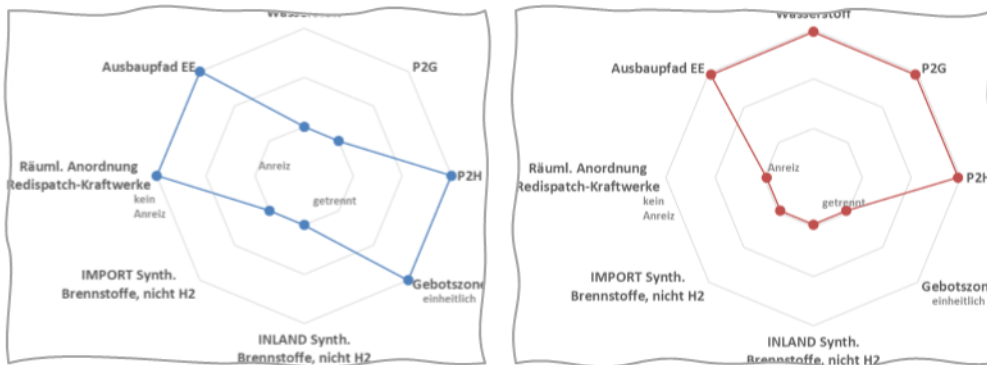
Eine Herausforderung in diesem Prozessschritt ist die Besetzung der Expertengruppe. Weder dürfen zu wenige Expert\*innen teilnehmen, da sonst die Bandbreite der Ideen nicht breit genug ist, noch dürfen es zu viele sein, da sonst die Diskussionen und Abwägungen zu sehr ausufern. Eine Zahl von 10-15 Personen scheint handhabbar. Die Teilnahme an einem solchen Workshop verlangt zudem ein hohes Engagement für Vorbereitung und Durchführung.

Da die hier zu untersuchenden Parameter in der Regel quantitativ beschrieben und hochgradig interdependent sind, existiert eine zusätzliche Herausforderung. Die Stimmigkeit im Sinne einer bilanziellen Ausgeglichenheit (bezogen z. B. auf Jahresenergiemengen) muss sichergestellt werden, damit das resultierende Parameterset für die folgenden Modelle lösbar ist. Eine quantitative Überprüfung der bilanziellen Lösbarkeit findet im Rahmen der Szenariotechnik nicht statt. Daher ist es notwendig, ein zweites Werkzeug zu benutzen, um eben diese bilanzielle Überprüfung durchzuführen. Für diesen Zweck haben sich Energiemengenbilanzen in Verbindung mit einem Sankey-Diagramm als hilfreich erwiesen. Das Diagramm verbildlicht Energieflüsse und auch Ungleichgewichte, sodass mit Hilfe dieses Tool eine Nachbearbeitung der Parametersets erfolgen kann.

**Projekterfahrung:** Im Rahmen des Projektes haben die vorgelagerten Prozessschritte zu einer short list von sieben Weichenstellungen geführt, die als Parameter in den Szenarioworkshop eingegangen sind (Vgl. 3.2.4). Im Zuge des Workshops wurde die Liste der sieben Weichenstellungen nochmals überarbeitet. Es stellte es sich als hilfreich heraus, die Weichenstellung „Synthetische Energieträger“ danach zu differenzieren, ob diese inländischer Herkunft sind oder importiert werden. Somit wurde jedes Szenario durch acht Größen beschreibbar.

# B E T

Im Zuge des Workshops ist es gelungen, aus den Parametern sehr verschiedene und „charakterstarke“ Archetypen herauszubilden. Nach der Methodik der Szenariotechnik wurden vier in sich konsistente, aber zugleich hinreichend unterschiedliche Szenarien ausgewählt. Diese vier Archetypischen Szenarien, die im Workshop entstanden sind, wurden mit einem plakativen Namen gelabelt und als „Spinnweben-Graphiken“ einander gegenübergestellt.



➤ 1: „Stromwelt“

➤ 2: „Wasserstoff + EE“

➤ 3: „Wasserstoff Import“

➤ 4: „Synthetische Brennstoffe“

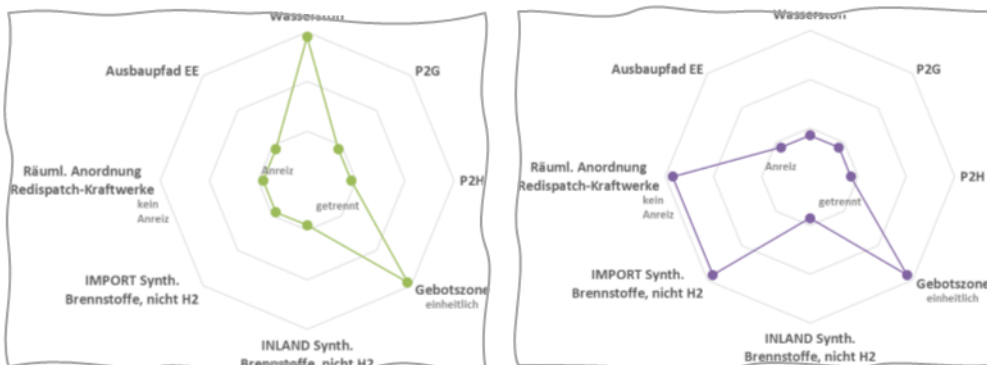


Abbildung 5: "Spinnweben" der vier Archetypischen Szenarien

**Hinweis:** Auf Grund der einsetzenden Zusammenarbeit mit dem AIRE-Konsortium wurden diese Archetypen nicht weiterverwendet. Stattdessen wurden drei ebenfalls archetypische Szenarien der „Langfristszenarien III“ ausgewählt, um diese im weiteren Verlauf der Kooperation zu nutzen. Um Verwirrung zu vermeiden, soll auf die vier Szenarien, die das Workshopergebnis dargestellt haben, hier nicht im Detail eingegangen werden.

Auf Basis der Projekterfahrung kann die Szenariotechnik als ausgesprochen hilfreicher methodischer Ansatz zur strukturierten Diskussion und zur Generierung archetypischer Szenarien bezeichnet werden. Die methodischen Erwartungen, wie oben theoretisch beschrieben, haben sich in der Realität erfüllt. Ebenso haben sich die Herausforderungen z. B. bezüglich der intensiven Diskussion in der Expertenrunde (Zeitmanagement), der Vielzahl der zu besprechenden Beurteilungen und der bilanziellen Überprüfung der Kombinationen im Pilotlauf gezeigt.

Der zweite Schritt, also die bilanzielle Nachbearbeitung, wurde im Rahmen der Pilotierung nicht gegangen. Grund dafür war die genannte Entscheidung, aus zeitlichen Erwägungen in der weiteren Pilotierung mit dem AIRE-Konsortium zusammen zu arbeiten und auf dort bereits in der Bearbeitung befindliche Archetypen aufzusetzen. Daher wurden mit dem AIRE-Konsortium möglichst zur Aufgabenstellung passende, archetypische Szenarien ausgewählt. Diese drei Archetypen der Langfristszenarien 3 wurden im Weiteren verwendet.



**Modellanforderungen:** Für diesen methodischen Schritt ist eine rechnerische Unterstützung der Szenariotechnik sinnvoll. Zwar ist eine händische Auswertung möglich, aber nicht praktikabel. Auch für die bilanzielle Überprüfung der gewählten Parametersets ist eine Computerunterstützung, z. B. in Form einer elaborierten Exceldatei oder vergleichbar, notwendig. Insbesondere die Überführung in ein Sankey-Diagramm muss softwaregestützt erfolgen.

### 3.2.6 Beschreibung der Archetypen

**Definition:** Die Beschreibung der untersuchten Archetypischen Zukunftsbilder wird durchgeführt, nachdem die Modellläufe und ggf. andere Berechnungen zumindest auf Basis eines Umfeldszenarios<sup>6</sup> abgeschlossen sind. Sie erfolgt zum einen anhand der charakteristischen Input-Eigenschaften, also der getroffenen Entscheidungen über Weichenstellungen, Umfeldszenarien und weitere Annahmen, zum anderen in den Dimensionen der Kriterien. Letzteres wird durch die Modellrechnungen ermöglicht oder unterstützt.

Ergebnis der Beschreibung ist ein „Steckbrief“ pro Archetyp, der die genannten Eigenschaften nachvollziehbar darlegt. Eine bildliche Darstellung und vergleichende Gegenüberstellung dieser Steckbriefe und der darin beschriebenen Eigenschaften ist erforderlich (z. B. durch Spinnwebengraphiken, Delta-Darstellungen etc.).

Die Archetypischen Zukunftsbilder werden beschrieben, aber nicht bewertet. Das Ziel ist, anzugeben, welche Eigenschaften jedem einzelnen der Szenarien innewohnen. Ergebnis dieses Schrittes ist also nicht, eine Vorzugsvariante zu identifizieren, sondern z. B. zu ergründen, welche Folgen es hätte, sich auf eine „most electric“ oder auf eine „Power-to-Liquid“ Welt zu fokussieren.

**Methodischer Ansatz:** Die Beschreibung nach Kriterien erfolgt – soweit quantitativ – optimaler Weise aus der Modellrechnung heraus. Ist z. B. „Systemkosten“ ein Kriterium, werden die Systemkosten der Archetypischen Zukunftsbilder, die das Modell ausweist, vergleichend nebeneinandergestellt. Falls qualitative Kriterien verwendet werden, sollten diese möglichst objektiv aus den Ergebnissen heraus beschrieben werden. Diese Anforderung ist bereits bei der Auswahl der Kriterien zu bedenken!

**Projekterfahrung:** Im Rahmen des Projektes und der Pilotierung wurden Szenarien aus dem AIRE-Projekt verwendet. Die hier verwendeten Anforderungen bezüglich Kriterienbemessung, Zielerreichung etc. konnten aufgrund der Historie der getrennt konzipierten Projekte nur teilweise erfüllt werden. Im Rahmen der Informationen, die dem Gutachter vorlagen, wurde in Abstimmung mit dem Projektteam eine entsprechende Einordnung der Szenarien vorgenommen. So wurde z. B. deren Zielerreichung geprüft und die Kriterien so weit wie möglich bemessen, um eine Vergleichbarkeit zwischen den Szenarien zu erreichen.

**Modellanforderungen:** Die daraus folgenden Modellanforderung sind durch die Schritte 1-4 bereits definiert. Zusammenfassend geht es darum,

- die Ziele im Modell zu erfassen und deren Erreichung zu prüfen,
- die Kriterien so weit wie möglich abzubilden und aus dem Modell heraus zu quantifizieren,
- die Weichenstellungen und ihre Varianten rechenbar zu machen und
- die Umfeldszenarien als Parameter vorgeben zu können.

Hinzu kommen Anforderungen bezüglich Rechenzeit und Aufwand, hierzu in Kap. 0.

---

<sup>6</sup> Im Basisfall wird zunächst ein Umfeldszenario ausgewählt. Die Anwendung weiterer, abweichender Umfeldszenarien erfolgt in Schritt 7 (Robustheitsprüfung).

## 3.2.7 Robustheit gegenüber Umfeldveränderungen

**Definition:** Einen gesonderten und hervorzuhebenden Aspekt der Zukunftsbilder-Beschreibung stellt die Robustheitsprüfung dar. Bisher nicht untersucht wurde das Zusammenspiel von beeinflussbaren Größen (Weichenstellungen) und Umfeldszenarien. Bei der Bildung der Archetypischen Zukunftsbilder (3.2.5) wurden diese kombiniert.

Diese Kombination bildet eine implizite Bedingung, die explizit werden muss, um die Verwendbarkeit der Zukunftsbilder beurteilen zu können. Es besteht nämlich die Möglichkeit, dass sich das Umfeld anders entwickelt als gedacht:

- Zukunftsbilder, die ihre wesentlichen Eigenschaften (z. B. den ausgewählten Kriterien) nur wenig verändern, wenn das Umfeld sich unerwartet entwickelt, werden als robust bezeichnet.
- Zukunftsbilder, die sich bei Austausch des Umfeld-Szenarios deutlich verändern, in der Kriterienbeschreibung deutlich anders erscheinen oder gar unlösbar (Zielverfehlung) werden, sind weniger oder nicht robust.

Nicht robuste Zukunftsbilder und das ihnen zu Grunde liegende Set von Weichenstellung sind nur bedingt geeignet, die Ziele zu erreichen. „Bedingt“ bedeutet hier: Sie sind nur geeignet, wenn sich das nicht beeinflussbare Umfeld auf eine bestimmte Art entwickelt.

**Beispiel:** Es wäre ein Zukunftsbild denkbar, das stark auf Import flüssiger Kohlenwasserstoffe setzt. Dieses kann seine Vorzüge ausspielen, sofern im Ausland die Importmöglichkeiten geschaffen werden. Sollte das Ausland sich aber diesbezüglich ungünstig entwickeln, stellt sich die Beurteilung anders ein. Die Vorteile sind also bedingt vorhanden, sie sind nicht robust gegenüber anderer Entwicklung im Ausland.

**Methodischer Ansatz:** Die Robustheit gegenüber verschiedenen Umfeldszenarien wird durch Umparametrierung der Modelle von „Umfeldszenario x“ auf „Umfeldszenario y“ usw. und darauf folgende Neuberechnung und -bewertung umgesetzt. Sie stellt somit eine Sensitivitätsuntersuchung dar.

**Projekterfahrung:** Robustheitsprüfungen wurden nicht durchgeführt, da die hierfür notwendige Varianten-Rechnungen im Zeitrahmen und Projektplan des AIRE -Projektes nicht umsetzbar waren.

**Modellanforderungen:** Die hieraus resultierende Modellanforderung stellt folglich auch die einer Sensitivitätsrechnung dar. Die Berechnung von Sensitivitäten (ein Archetypisches Zukunftsbild als Basis, gleiches Weichenstellungs-Set, anderes Umfeld-Szenario) muss in der Modellwelt hinreichend einfach und zeitnah abbildbar sein, um den Projektrahmen nicht überfrachten.

## 3.2.8 Verengung des Lösungsraumes auf ein erstes Leitbild

**Definition:** Auf Basis der bisherigen Schritte wird ein erstes Leitbild entwickelt. Es ist zu betonen, dass dies ein Leitbild ist (nicht mehrere) und das dieses noch nicht final ist.

Ein Leitbild ist die Beschreibung eines zukünftigen, realisierbaren Zustands des Energiesystems sowie zeitlicher Zwischenpunkte auf dem Weg dorthin. Die Beschreibung ist analog einem Zukunftsbild, dabei aber in einigen Aspekten bewusst unscharf, trifft also nicht alle denkbaren Festlegungen, sondern lässt Bandbreiten zu.

Das Leitbild ist das Ergebnis des Vergleichs, der Analyse von Gemeinsamkeiten und Unterschieden sowie von besonders erstrebenswerten oder zu vermeidenden Eigenschaften der Zukunftsbilder. Das erste Leitbild wägt zwischen Archetypen ab oder kombiniert diese. Es trifft – wenn möglich – bereits erste Richtungsentscheidungen, legt Gemeinsamkeiten der Archetypen offen (einheitliche Eigenschaften sind „no regret“) und zeigt auf, in welchen Aspekten Zwischenlösungen Vorteile vermuten lassen. Die Beschreibung ist dabei grundsätzlich so konkret wie möglich. Dennoch gibt es diverse Aspekte, die noch nicht entschieden oder fixiert

# B E T

werden können oder sollen: Manche Aspekte weisen noch Forschungs- oder Klärungsbedarf auf oder es müssen Entwicklungen abgewartet werden. In anderen Fällen können oder müssen Entscheidungen noch nicht getroffen werden, sondern können ohne negative Folgen auf z. B. den nächsten SEP verschoben werden.

In diesen Aspekten ist das Leitbild bewusst unscharf. Es formuliert Fragen, weist Bandbreiten aus, benennt späteste Entscheidungszeitpunkte. Dies gilt prinzipiell auch für das validierte Leitbild, vgl. Schritt 12, allerdings sind die Unschärfen dort geringer.

Das erste Leitbild ist ein wesentlicher Meilenstein, um die Orientierungsfragen (Auf welche Zukunft müssen die Energie-Infrastrukturen vorbereitet werden?) zu beantworten. Es basiert auf den Archetypischen Zukunftsbildern und den damit verbundenen Analysen.

**Methodischer Ansatz:** Das Leitbild entsteht im Diskurs der Gremien des SEP. Seine Form entspricht der Beschreibung eines Zukunftsbildes durch einen Steckbrief, der Tabellen, bildliche Darstellungen und einen erläuternden Text enthält. Nach seiner Fertigstellung in den Gremien des SEP wird es konsultiert. Einzelheiten siehe auch → Governance.

**Projekterfahrung:** Die Ableitung eines ersten Leitbildes ist in diesem Rahmen gelungen. Auf Basis der vorliegenden Erkenntnisse konnten außerdem Empfehlungen für eine Strategie zur Erreichung des Leitbildes erarbeitet werden.

**Modellanforderungen:** Transparente Aufbereitung der Modellergebnisse

## 3.2.9 Zukunftsbilder (ii), „Geschärfte Zukunftsbilder“

### Hinweis:

Die folgenden drei Schritte 9-11 stellen eine Iteration der Schritte 5-7 dar und werden daher im Rahmen der Beschreibung teilweise nur kurz umrissen.

**Definition:** Aus der Analyse der Archetypischen Zukunftsbilder sollen erste Entscheidungen abgeleitet werden, z.B. Pfade ausgeschlossen oder Zwischenwerte / Mischformen als besonders interessant erkannt, aber auch offene Fragen identifiziert werden. Die Konsultation des ersten Leitbildes trägt weitere Aspekte bei.

Auf Basis dieser Analysen werden Mischformen der Archetypen zu neuen Szenarien spezifiziert. Weitere Spezifikationen können auf Basis von begleitenden Berechnungen oder abstrakten Überlegungen, z. B. Untersuchungsfragen, die für die öffentliche Debatte von Interesse sind, hinzukommen. Diese Mischformen bilden Geschärfte Zukunftsbilder. Die Anzahl ist durch die Gremien des SEP festzulegen, es könnten aus der bisherigen Erfahrung heraus ca. drei bis fünf sein.

**Methodischer Ansatz:** Die Spezifikation erfolgt konkret durch neue Sets an Weichenstellungen. Auch diese liegen innerhalb der Boundary Conditions (vgl. 3.2.4) und innerhalb des Raumes, den die Archetypischen Zukunftsbilder aufspannen. Sie sollen weniger einseitig als die Archetypen sein, dabei noch stärker eine in der Realität vorstellbare und umsetzbare Zukunft abbilden. Sollte ein Archetyp diese Bedingung bereits erfüllen, kann er ggf. als Real-Szenario bestehen bleiben.

Dabei dürfen/müssen die Geschärfte Zukunftsbilder weiterhin voneinander verschieden sein. Insbesondere in den Aspekten der „offenen Fragen“ des ersten Leitbildes werden sie sich deutlich unterscheiden. Zugleich sollten die Geschärfte Zukunftsbilder einen engeren Zukunftsraum aufspannen, also deutliche Überlappungen aufweisen, da im Prozess bis hierher erkannte Unsicherheiten z. T. durch Entscheidungen entfernt wurde.

Damit die Geschärfte Zukunftsbilder die gleiche Granularität, Güte und Belastbarkeit aufweisen wie zuvor die Archetypen, ist eine Berechnung mit Hilfe der bereits eingesetzten Modelle erforderlich.

Um von den Weichenstellungs-Sets der Archetypen zu den Sets der Geschärfte Zukunftsbildern zu gelangen, können folgende Fälle auftreten:

# B E T

- 1) Die Archetypen stimmen in einem Parameter überein. Offenbar ist dann dieser Parameter als die einzig untersuchenswerte Ausprägung erkannt worden und bleibt so als Element **aller Geschärften Zukunftsbilder** bestehen.

**Beispiel:** Die Bilder gehen für Offshore-Wind einheitlich von einer installierten Leitung in Höhe von 60 GW aus.

- 2) Zwischen **unterschiedlichen Ausprägungen** eines Parameters der Archetypischen Zukunftsbilder kann auf Basis der umfangreichen Voranalysen eine begründete **Entscheidung** getroffen werden, auf welche Zukunft Infrastruktur ausgelegt werden soll. Das Entscheidungsergebnis wird dann ebenfalls **Element aller Geschärften Zukunftsbilder**.

**Beispiel:** Die Szenarien weisen für Offshore-Windenergie eine Bandbreite zwischen 40 und 70 GW aus. Um den Flächendruck an Land zu minimieren wird der Wert zu 70 GW als Bestandteil aller Geschärften Zukunftsbilder gesetzt.

- 3) Alternativ zur Entscheidung kann ein **Zwischenwert** angenommen werden. Der Zwischenwert wird dann Element **eines oder mehrerer Geschärfter Zukunftsbilder**, um ihn weiter zu untersuchen und den Lösungsraum einzugrenzen.

**Beispiel:** Um zwischen Flächendruck und Leitungsbedarf zu vermitteln, wird der Wert 60 GW angenommen. Oder: ... wird in einem Geschärften Zukunftsbild 60 GW, in zwei anderen 70 GW angesetzt, passend zu der übrigen Parametrisierung des Zukunftsbildes.

- 4) Als Sonderform von Variante 3 kann die Bandbreite zwischen den Zukunftsbilder bewusst bestehen bleiben und sich in den Zukunftsbildern wieder finden. Dann werden die Geschärften Zukunftsbilder also so gewählt, dass sie die Bandbreite abbilden. In der Folge wird sich die Infrastruktur auf diese Bandbreite einrichten.

Mit dieser Vorgehensweise wird auf Basis der Erkenntnisse aus der Analyse der Archetypen und der Konsultation des ersten Leitbildes der Möglichkeitenraum eingegrenzt.

**Projekterfahrung:** Die Eingrenzung fand in der Pilotierung nicht statt.

**Hinweis:** Die kritische Rückfrage „Warum bleiben wir nicht bei den Archetypen?“ wurde im Projektverlauf intensiv diskutiert. Der Lösungsraum „zwischen den Archetypen“, in dem die Mischformen der einseitig ausgeprägten Welten liegen, ist zunächst formal unbekannt. Die Annahme von stetigen oder gar linearen Verhältnissen der Parameter zwischen den Archetypen wäre spekulativ, da die Archetypen ggf. weit auseinander liegen. Ein einfaches Mischen der Parameterausprägungen zur Generierung von Zwischenszenarien ist daher methodisch nicht ausreichend. Auch zwischen enger liegenden Szenarien können theoretisch Unstetigkeiten und/oder Kippunkte des Systems liegen, dies ist aber unwahrscheinlicher, je enger die Szenarien liegen. Zugleich sind diese Mischformen später, für ein finales Leitbild, wichtig, da sie augenscheinlich wahrscheinlichere Zukunftsbilder darstellen als die Archetypen. Es ist darum methodisch sinnvoll, auch die Mischformen der Berechnung und tieferen Untersuchung zuzuführen.

**Modellanforderungen:** keine neuen ggü. der ersten Iteration.

## 3.2.10 Beschreibung der Geschärften Zukunftsbilder

**Definition:** Die Beschreibung der Geschärften Szenarien erfolgt methodisch analog zu Schritt 6 (vgl. 3.2.6). Es ist allerdings zu erwarten, dass bei gleichem methodischem Ansatz eine präzisere Beschreibung mit geringeren Unschärfen zu erzielen ist.

**Methodischer Ansatz:** siehe 3.2.6

**Projekterfahrung:** liegt nicht vor

**Modellanforderungen:** keine

### 3.2.11 Robustheitsprüfung der Geschärften Zukunftsbilder

**Definition:** Grundsätzlich erfolgt der Schritt wie 3.2.7, die Robustheit der Geschärften Zukunftsbilder gegenüber Umfeldveränderungen sollte allerdings einander ähnlicher sein als die der Archetypen, da die Geschärften Zukunftsbilder enger beieinander liegen. Es bleibt der wesentliche, für die Nutzbarkeit einschränkende Befund: Nicht robuste Zukunftsbilder und das ihnen zu Grunde liegende Set von Weichenstellung sind nur bedingt geeignet, die Ziele zu erreichen.

**Methodischer Ansatz:** → 3.2.7

**Projekterfahrung:** liegt nicht vor

**Modellanforderungen:** keine Erweiterung, die Modellanforderungen bleiben bestehen. In der Iteration kommt ihnen allerdings nochmals **erhöhte Bedeutung** zu, da die Neuberechnung mit teilweise veränderten Parametern keinen zu hohen Zeitbedarf auslösen sollte, um den Gesamtprozess nicht in die Länge zu ziehen.

### 3.2.12 Validiertes Leitbild

**Definition:** Das validierte Leitbild ist ein zentrales Ergebnis des SEP-Prozesses. Es dient damit der Beantwortung der Orientierungsfrage: „**Auf welche Zukunft müssen die Energie-Infrastrukturen vorbereitet werden?**“

Grundsätzlich ist auch das validierte Leitbild mit Unschärfen behaftet und lässt bestimmte Fragen offen. Allerdings ist die Ausprägung der offenen Aspekte geringer als im ersten Leitbild, da die zu Grunde liegenden Geschärften Zukunftsbilder einen kleineren Lösungsraum aufspannen. Die Bestimmtheit des validierten Leitbildes ist also höher.

Der Zweck des validierten Leitbildes besteht nicht mehr in der Spezifikation neuer Zwischenpunkte, sondern konkret in

- der Beschreibung der Zukunft für das **Narrativ**, das der Aufgabe des SEP (Orientierung, Rahmensetzung für Folgeprozesse, Öffentlicher Diskurs) genügt
- der Fundierung einer qualitativen **Strategie** zur Umsetzung des Leitbildes (vgl. 3.2.13)
- der Ableitung quantitativer **Ankerpunkte** für die Infrastruktur-Folgeprozesse (vgl. 3.2.14)

Sowohl diese Aufarbeitungen als auch der zu Grunde liegende Datensatz sollte in möglichst umfangreicher Form öffentlich verfügbar gemacht werden, um Transparenz und Akzeptanz zu erhöhen.

**Hinweis:** Die Abbildungsschärfe der SEP-Ergebnisse ist auch hier noch geringer als die der Folgeprozesse. Es ist nicht der Zweck des SEP, der konkreten Infrastrukturplanung vorzugreifen, dies bleibt Aufgabe des NEP.

**Methodischer Ansatz:** Ähnlich wie beim ersten Leitbild mit den Differenzen zwischen den Archetypischen Zukunftsbildern, muss nun mit den Unterschieden zwischen den Geschärften Zukunftsbildern sachgerecht umgegangen werden. Auch hier hilft eine Fallunterscheidung:

- 1) Zwischen unterschiedlichen Ausprägungen eines Parameters der Geschärften Zukunftsbilder kann auf Basis der umfangreichen Voranalysen eine begründete Entscheidung getroffen werden, auf welche Zukunft Infrastruktur ausgelegt werden soll. Das Entscheidungsergebnis wird dann Element des validierten Leitbildes.

# B E T

**Beispiel:** Die Zukunftsbilder weisen Offshore-Windenergie zwischen 40 und 70 GW aus. Um den Flächendruck an Land zu minimieren wird der Wert zu 70 GW als Bestandteil des validierten Leitbildes gesetzt.

- 2) Alternativ kann ein Zwischenwert angenommen werden (hier wird auf Grund der Vorüberlegungen Stetigkeit zwischen den Geschärften Zukunftsbilder unterstellt). Der Zwischenwert wird dann ebenfalls Element des validierten Leitbildes.

**Beispiel:** Um zwischen Flächendruck und Leitungsbedarf zu vermitteln wird der Wert 60 GW angenommen.

- 3) Oder die Bandbreite zwischen den Zukunftsbilder bleibt bewusst bestehen. Dann wird die Spanne der Werte Element des Validierten Leitbildes. → Die Infrastruktur muss auf die gesamten Spanne ausgerichtet werden.

**Beispiel:** Die Infrastruktur soll auf 40–70 GW geplant werden (nicht zwingend gebaut. Vgl. 3.5 ). Die Festlegung bleibt offen und wird im kommenden Turnus des SEP wieder vorgelegt.

- 4) In bestimmten Fällen kann als Unterkategorie auftreten, dass eine Entscheidung zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht notwendig ist und verschoben werden kann, etwa auf den nächsten Durchgang des SEP. Dies wird augenscheinlich die Ausnahme sein, da das Offenhalten einer Entscheidung in der Regel mit einer größeren Ausprägung des Infrastrukturbedarfs zusammenfallen wird.

**Beispiel:** Die Infrastruktur soll auf 50 GW offshore geplant werden. Ob weitere 20 GW hinzukommen, soll später festgelegt werden. Um diese Entscheidung offen zu halten ist der Abtransport von 70 GW im System vorzusehen. Die spätere Entscheidung bringt keinen zusätzlichen Freiraum.

Das Leitbild entsteht im Diskurs der Gremien des SEP. Seine Form entspricht der Beschreibung eines Zukunftsbildes durch einen Steckbrief, der Tabellen, bildliche Darstellungen und einen erläuternden Text enthält. Dem Text kommt in diesem Fall eine besondere Bedeutung zu: Er stellt das zum validierten Leitbild gehörende **Narrativ** dar. Nach seiner Fertigstellung in den Gremien des SEP wird es an die politische Entscheidungsebene übergeben.

- **Projekterfahrung:** nicht vorliegend.
- **Modellanforderungen:** keine

### 3.2.13 Strategie

**Definition:** Der Begriff der Strategie bedeutet allgemein, notwendige Maßnahmen zu planen und zu ergreifen, um planvoll und langfristig ein gegebenes Ziel zu erreichen. Durch die Zielfestlegung unter Schritt 1, konkretisiert auf das Leitbild, ist dieses langfristige Ziel im Rahmen des SEP-Prozesses definiert.

Der Begriff der „Strategie“ meint im Zusammenhang mit dem SEP folglich einen begründeten Katalog von Umsetzungsempfehlungen an die Politik, um die Erreichung des Leitbildes zu gewährleisten. Die Empfehlung erfolgt aus den Gremien des SEP heraus an die politische Entscheidungsebene.

Die Strategie besteht also aus Empfehlungen von i. d. R. qualitativer Natur und kann z. B. umfassen:

- Empfehlungen für Anpassungen des Ordnungsrahmens
- Empfehlungen für Förderungen
- Empfehlungen für weitere Untersuchungen/Forschung
- Empfehlungen für Positionierung z. B. im EU-Umfeld

Das Leitbild des SEP hat den Anspruch, rahmensetzend zu sein für die Aufgabe der nachfolgenden Infrastrukturplanung. (Vgl. Leitfrage: „Auf welche Zukunft müssen die Energie-Infrastrukturen vorbereitet werden?“) Das Einlösen dieses Anspruchs sollte von der Politik durch die Umsetzung der zugehörigen Strategie unterstützt werden, damit der SEP-Prozess Wirkung entfalten kann.

**Methodischer Ansatz:** Die Strategie entsteht im Diskurs der Gremien des SEP.

**Projekterfahrung:** Im Rahmen des Projektes wurden strategische Empfehlungen auf Basis des ersten Leitbildes entwickelt. Ein validiertes Leitbild wurde in der Pilotierung nicht erarbeitet, folglich konnten darauf keine strategischen Empfehlungen aufgebaut werden.

**Modellanforderungen:** keine

### 3.2.14 Ankerpunkte

**Definition:** Ankerpunkte sind der quantitative Teil der Empfehlung des SEP an die Politik und die nachgelagerten Infrastrukturplanungsprozesse. Hierunter können z. B. Empfehlungen fallen zu:

- Basisannahmen aus den Umfeldszenarien (z. B. Gaspreise, CO<sub>2</sub>-Preise, demographische Daten)
- Energie-Endverbrauch nach Energieträgern (z. B. aufgeschlüsselt nach Sektoren, Energieträgern, Regionen)
- Bestimmte Mengenziele (z. B. EE-Ausbau, Importmengen etc.)

Die Ankerpunkte können auch in Bandbreiten angegeben werden, um der Unschärfe des Leitbildes Rechnung zu tragen. Eine Angabe getrennt nach Energieträgern und Zonen/Regionen ist sinnvoll. Im Ergebnis entsteht ein „Energienengengerüst“, das die Quantität der Quellen und Senken, aber auch der Transportbedarfe in regionaler Auflösung beschreibt. Damit dokumentiert es den Rahmen für einen Infrastrukturbedarf.

Ankerpunkte markieren, nach ihrer Legitimation durch die Politik, den Handlungsspielraum für die Szenarien der Infrastrukturplanungsprozesse. Sie ersetzen nicht die Szenariorahmen der NEPs, denn diese sind in vielen Punkten deutlich detaillierter. Die Szenariorahmen der NEPs müssen sich allerdings in den Rahmen des SEP einfügen und diesen hinreichend abbilden.

**Hinweis:** *Ankerpunkte sind nicht die Prognose dessen, was kommt, sondern die Vorgabe an den Planungsprozess, auf welche Situationen er die Infrastruktur einzurichten hat. Die Legitimation der Ankerpunkte durch den Souverän gibt damit vor, wie viel der Unsicherheit durch die Infrastruktur zu tragen ist.*

Eine konkrete Benennung, welche Ankerpunkte aus dem SEP-Regelprozess hervorgehen, ist auf Basis der partiellen Pilotierung noch nicht sicher ableitbar (Beispiele siehe oben), sondern muss im Regelprozess definiert werden. Hierfür sind die Gremien des SEP, damit das Expertengremium in Abstimmung mit den Stakeholdern, vorgesehen.

**Methodischer Ansatz:** Bereits die Kapitel zu den Beschreibungen der Zukunftsbilder und Leitbilder haben die Grundlage für Ankerpunkte gelegt, indem der jeweils zu erstellende Steckbrief auch quantitative Aussagen zu Mengengerüsten, Energieflüssen, Annahmen in Umfeldszenarien etc. enthielt. Die Verdichtung dieser Steckbriefe führte zu einem Steckbrief des validierten Leitbildes. Damit sind die im Leitbild enthaltenen quantitativen Festlegungen und Empfehlungen – auch diejenigen, die nicht oder in Bandbreiten festgelegt werden – bereits dokumentiert und können dem Steckbrief zur Verwendung als Ankerpunkte entnommen werden.

**Projekterfahrung:** Im Zuge der Pilotierung ließen sich nur wenige quantitative Aussagen im Sinne der Ankerpunkte ableiten. Die fehlende Einengung des Lösungsraumes zu Geschärften Zukunftsbildern und einem validierten Leitbild hat meist weite Bandbreiten der möglichen Entwicklungen verursacht. Auch hieran wurde deutlich, dass die zweite Iterationsschleife (Schritte 8-12) sinnvoll und notwendig in einem Regelprozess abzubilden sind.

**Modellanforderungen:** keine



## 3.2.15 Zusammenfassung

Die folgende Grafik stellt den Gesamtablauf nochmals vereinfacht dar.

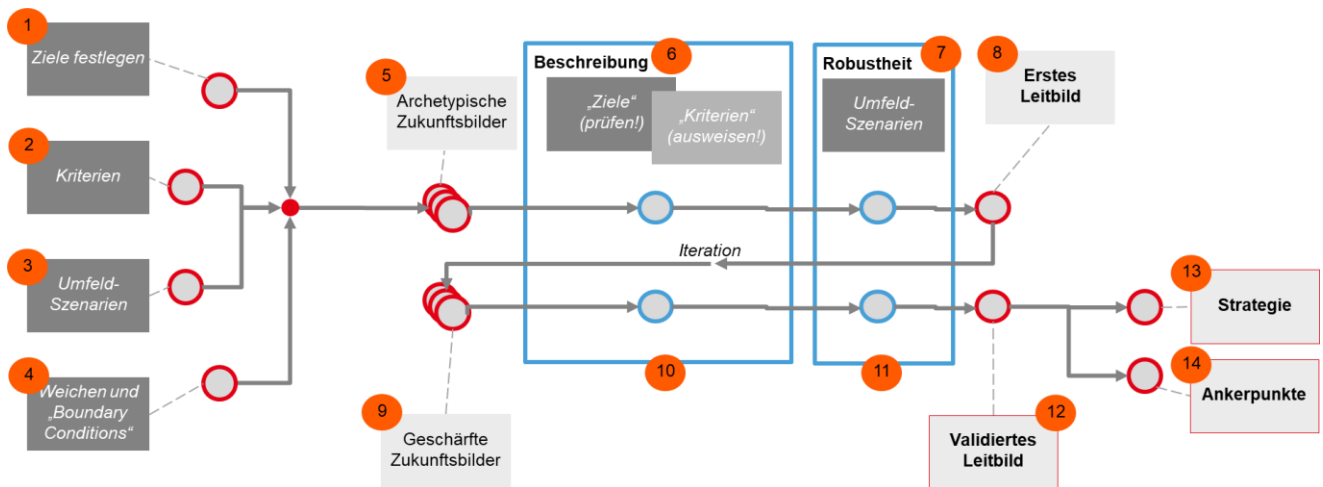


Abbildung 6: Gesamtablauf SEP Methodik

Die 14 Stationen des SEP-Prozesses sind in diesem Schaubild als Ablaufdiagramm dargestellt. Während auf der linken Seite der Grafik die Grundlagen gelegt werden, indem Ziele und Kriterien festgelegt werden und Umfeld und Weichenstellungen analysiert werden, durchläuft der Prozess im mittleren Teil zweimal eine ähnliche Abfolge. Diese besteht aus der Bildung von Zukunftsbildern, die beschrieben und auf Robustheit geprüft und zu einem Leitbild verdichtet werden. Im ersten Durchlauf ist dieses Leitbild noch vage, denn die zugrunde liegenden Zukunftsbilder sind archetypisch. Im zweiten Durchlauf nach der Iteration aber liegen die Zukunftsbilder enger beieinander, sind geschärft. Folglich hat auch das validierte Leitbild ein höheres Maß an Konkretheit. Dieses validierte Leitbild ist, gemeinsam mit Strategie und Ankerpunkten, das Ergebnis des SEP-Prozesses.

## 3.3 Zusammenfassung der Modellanforderungen

### 3.3.1 Zusammenfassung der bisher identifizierten Modellanforderungen

In den Einzelschritten wurde jeweils dargelegt, welche Herausforderungen der Schritt an die Modellierung stellt. In Stichworten zusammengefasst sind das die folgenden Aspekte:

- Ziele abbilden und Zielerreichung prüfen
- Kriterien-Erreichung
  - Bei quantitativen Kriterien ausweisen (Ergebniswert)
  - Bei qualitativen Kriterien Einschätzung indirekt unterstützen
- Umfeldszenarien abbilden
  - Relevante Umfeldgrößen sind Modellparameter
  - Variation der Umfeldszenarien im Sinne einer Sensitivität muss mit geringem Aufwand möglich sein
- Weichenstellungen abbilden, auch in Varianten der Sets
- Szenariotechnik Tool (nicht Element der Systemmodelle)

- Sankey-Charts (oder vergleichbare Unterstützung für die Dateninterpretation) aus den Modellergebnissen erzeugen

### 3.3.2 Ergänzende Aspekte

Über diese Punkte hinaus wurden in der **Pilotierung** und den begleitenden **Diskussionen** im Kreise von Projektteam, Board und Beirat während der Projektphase bestimmte Eigenschaften als unabdingbar oder zumindest als höchst sinnvoll erkannt. Diese sollen hier nochmals hervorgehoben werden:

Die Betrachtung des Systems über die Spartengrenzen hinweg ist ein Kerngedanke des SEP. Ein ideales Modell würde dem durch eine **geschlossene Optimierung** Rechnung tragen. Hierbei ist allerdings abzuwägen,

- i. ob ein solches Modell vorhanden und erprobt ist,
- ii. ob durch gute Verzahnung verschiedener Modelle („Tool-Chain“), die jeweils eine höhere Betrachtungsgenauigkeit aufweisen, ein ähnlicher Effekt erzielt werden kann,
- iii. ob die Rechenzeiten eines solchen Groß-Modells einen stringenten Projektablauf ermöglichen,
- iv. ob der Aufwand, den diese Bedingung auslöst, dem Nutzen angemessen gegenübersteht.

Der Ansatz der **Optimierung über Sektorengrenzen** hinweg, also das ganzheitliche, sektorübergreifende Systemmodell, muss in jedem Fall gewahrt bleiben, damit ein Gesamtoptimum approximiert wird und der SEP seine vermittelnde Wirkung entfalten kann.

Weitere wichtige Erkenntnisse zur Modellierung lauten:

- Die **räumliche Granularität** muss, damit Ableitungen auf den Infrastrukturbedarf gezogen werden können, zumindest in den sechs Regionen der Pilotierung vorliegen. Die sechs Zonen waren aus der gegebenen Strom-Infrastruktur abgeleitet und auf ihre Tauglichkeit für die Gassparte hin geprüft worden. Eine höhere Granularität (mehr Zonen) wäre wünschenswert, wobei insbesondere darauf zu achten ist, dass den Bedingungen der verschiedenen Energieträger (Strom, Erdgas, Wasserstoff, Wärme) möglichst gleichermaßen Rechnung zu tragen ist. Auch die Abstimmung des Zonenzuschnitts zwischen den Experten der einzelnen Sektoren ist essenziell, um Kopplungseffekte richtig abbilden zu können.
- Energiebilanzen müssen zonal ausweisbar sein, um die Ergebnisdokumentation nachvollziehbar und für die internen Diskussionen der Gremien des SEP nutzbar zu machen.
- **Graphische Aufbereitung** (z. B. Sankey-Diagramme) sind aus ebendem Grund von hoher Bedeutung.
- Die **wirtschaftlichen Aussagen der Modelle** (Kostenvergleich) müssen transparent und nachvollziehbar sein.
- Die Modellierung insgesamt muss, soweit eben möglich, **für Außenstehende nachvollziehbar** gemacht werden, um Akzeptanz für die Ergebnisse zu ermöglichen.

Das Modell oder die Toolchain muss also in geeigneter Weise das gesamte leitungsgebundene Energiesystem abbilden und den Transportbedarf greifbarer machen. Folgende Darstellung verdeutlicht, wie der Energietransport, von der Erzeugung (Kraftwerke, EE, Importe etc.) über verschiedene denkbare Pfade und Netze die Nachfrage nach Wärme, Strom, Wasserstoff und Mobilität decken soll. Diese Pfade determinieren dabei den Bedarf an Energie-Infrastruktur und müssen im Rahmen der Modellierung abgebildet werden.

# B E T

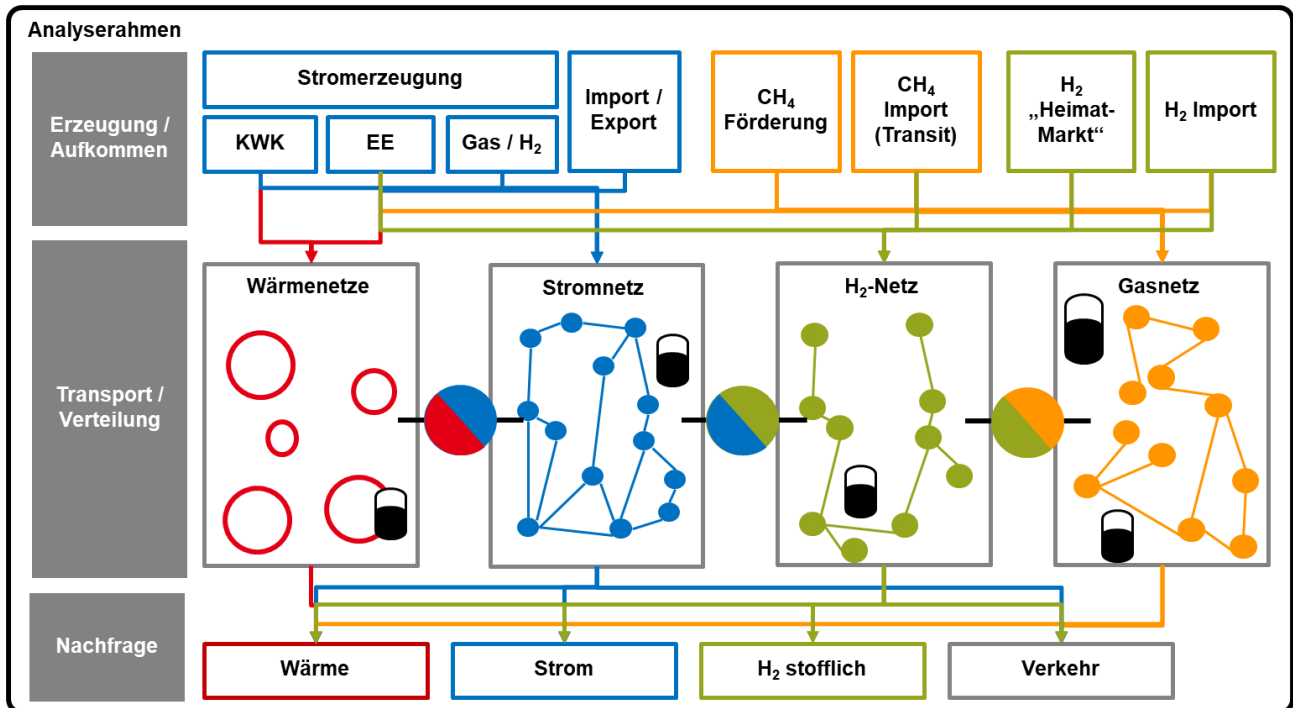


Abbildung 7: Systembild

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Anforderungen an die Modellierung beträchtlich sind. Bei der Etablierung eines solchen Modells ist zu bedenken, dass die Verwendung nicht nur einmalig erfolgt, sondern bei jeder Iteration des SEP, aufbauend auf den Ergebnissen der letzten Schleife, wiederholt wird. Dies rechtfertigt einen erhöhten Aufwand, erschwert aber zugleich die „freie Vergabe“ an den Markt.

### 3.4 Inneren Anpassungsbedarfe der Folgeprozesse durch Ausgestaltung des SEP

In der Vergangenheit bestand die Abstimmung zwischen den NEP Strom und Gas insbesondere im Austausch von Listen systemkoppelnder Elemente. Konkret waren dies Gas-Kraftwerkslisten, da diese systemisch ein „G2P-Element“ also eine Umwandlung von Gas in Strom darstellen.

In Zukunft wird sich die Vielfalt systemkoppelnder Elemente erhöhen. Elektrolyseure („P2G“) und Groß-Wärmepumpen („P2H“) kommen hinzu, Stromspeicher und bidirektionales Laden der Emob-Flotte flexibilisieren das System. Die bisherigen Sparten Strom und Gas, sowie in gewissem Umfang noch Wärme, werden um die Wasserstoffsparte, auch bezüglich der Infrastrukturplanung, erweitert werden. Vor diesem Hintergrund ist es sinnvoll, über den Austausch von Listen hinaus zu gehen und im Rahmen des SEP gemeinsame Eckdaten in Form des Leitbildes abzustimmen, in dem sich die Ausbaupläne aller Sparten spiegeln. Innerhalb dieses Rahmens kann dann die Szenario-Konkretisierung einer jeden Sparte erfolgen, ohne widersprüchlich zu sein. Außerdem sollten, wie später noch ausgeführt, die Prozesse harmonisiert werden, um einen fortlaufenden Abgleich zu ermöglichen.

Eine Harmonisierung der Planungsprozesse führt zu Anpassungen im Inneren der Prozesse. Diese sollen im Folgenden thematisiert werden.

#### 3.4.1 Zeitliche Ausgestaltung

##### Periodizität

Die Durchführungs-Periode von NEP Strom und –Gas ist derzeit mit zwei Jahren identisch, die Prozesse laufen allerdings zeitlich versetzt ab. Zu einer besseren Kompatibilität mit der sektorübergreifenden Betrachtung des SEP und miteinander wird eine Synchronisierung beitragen, sodass die Prozesse nicht nur periodengleich,

sondern außerdem in Gleichtakt (also von heute isochron zu synchron) werden. Ein eventuell kommender H2-NEP sollte diesen Rhythmus aufnehmen.

## Horizont

Betrachtungshorizont des SEP im Rahmen der Pilotierung und des Projektes war das Jahr 2050. Im Zuge der Diskussion um verschärfte Klimaziele wird es naheliegend sein, 2045 als Zieljahr in den Fokus zu rücken. Es ist von einer im Weiteren springend rollierenden Weiterentwicklung mit Zieljahr ca.  $t+20$  bis  $t+25$  auszugehen, sodass immer für zwei bzw. drei Durchgänge dasselbe Zieljahr im Fokus steht, wonach der Sprung um fünf Jahre in die Zukunft erfolgt.

Hinweis: Hierbei wird im Moment davon ausgegangen, dass der SEP – wie die NEPs – alle zwei Jahre durchgeführt wird. Eine sinnvolle Variante könnte darin bestehen, den SEP zwar alle zwei Jahre, aber in wechselnd unterschiedlicher Intensität zu vollziehen, jeweils alle vier Jahre also ein Volldurchlauf, in den Zwischenpunkten ein reduzierter Durchlauf zur Nachjustage relevanter und aktueller Entwicklungen. So wäre der Gleichtakt zu den NEPs gewahrt, der Aufwand aber verringert.

**Beispiel:** Wird der SEP z. B. im Jahre 2022 mit dem Zieljahr 2045 durchgeführt, liegt dieses 23 Jahre in der Zukunft ( $t+23$ ). Dieses Zieljahr kann auch bei einem folgenden Durchgang im Jahr 2024 beibehalten werden, dann schaut der SEP 21 Jahre in die Zukunft. Dann würde ein Sprung auf 2050 folgen, was Zieljahr der Durchgänge 2026 ( $t+24$ ) und 2028 ( $t+22$ ) und 2030 ( $t+20$ ) wäre.

Die Zielhorizonte der Folgeprozesse müssen nicht auf dieses weit entfernte Zieljahr angeglichen werden. Sie können ggf. kurzfristiger bleiben und dürfen sich auch voneinander unterscheiden. Allerdings sollte das Zieljahr der NEPs auf eines der Stützjahre des SEP gelegt werden, um den Abgleich zwischen beiden Prozessen zu vereinfachen.

*Hinweis/Anmerkung: Aus der AG Schnittstelle ergab sich die Forderung, ÜNB und FNB sollen sich im Zuge der NEP Erstellung eng austauschen, damit Annahmen/Ergebnisse zu gemeinsamen Größen (z. B. Allokation von Elektrolyseuren) konsistent sind. Hierfür sei eine zeitliche Synchronisierung der bisher um ein Jahr versetzt laufenden NEP Strom- und NEP Gas-Prozesse erforderlich. Zudem sei der NEP Gas um ein  $t+15$  Szenario zu erweitern, um die gleichen Zeithorizonte wie der NEP Strom abzubilden. Für das  $t+15$  Szenario des NEP Gas sollte eine szenariobasierte Planung erfolgen, die die aktuellen Klimaziele berücksichtigt. Die Szenarien mit kurzfristigeren Zeithorizonten ( $t+5$ ,  $t+10$ ) sollten gasseitig allerdings weiterhin bedarfsorientiert geplant werden. Es sei zu gewährleisten, dass diese Szenarien zueinander konsistent sind.*

Diesen Anforderungen trägt die hier vorgeschlagene Anpassung Rechnung.

Auch heute schon ist ein besonderer Reiz des SEP-Ansatzes, dass er langfristig angelegt ist. Es ist unbestritten, dass auch nach dem Jahr 2045 die Transformation der Energiewelt nicht abgeschlossen sein wird, denn auch wenn die konkreten Herausforderungen der Zukunft des Jahres 2045 heute noch nicht zu benennen sind, so ist voraussichtlich immer noch ein sich dynamisch veränderndes System zu beplanen. Dynamik kann z. B. aus sich weiter wandelnden klimatischen Bedingungen, aus Migration und Demographie aber auch aus technologischen Möglichkeiten erwachsen. Aus diesem Grund ist ein „Ausblicksjahr“ jenseits des eigentlichen Fokus- oder Zieljahres empfehlenswert, wie es im Gas-NEP schon angelegt ist. Zurzeit und in den kommenden Durchgängen wäre dies das Jahr 2050.

## Stützjahre

Der SEP schaut auf diskrete Stützjahre, in Projekt und Pilotierung auf 2030 – 40 – 50. Vor dem Hintergrund verschärfter Bemühungen zum Klimaschutz und noch rascherer Veränderungen ist eine dichtere Abstimmung der Entwicklungen sinnvoll. Die Jahre 2030 – 35 – 40 sind als Stützjahre auf dem Wege nach 2045 naheliegend. Auch die Stützjahre der NEPs sollten darauf und aufeinander abgestimmt sein, das jeweilige Zieljahr der NEPs ein Stützjahr des SEP.

Die Benennung und Beschreibung von Stützjahren ist wesentlich für die Nutzung des SEP als Orientierungsgröße, auch über die Infrastrukturplanung hinaus.

# B E T

Es scheint zudem empfehlenswert, wie oben bereits ausgeführt, den heutigen „Bestell – Ansatz“ („bottom-up“) des Gas-NEP zumindest um einen szenarienbasierten „top down-Ansatz“ zu ergänzen, der weiter in die Zukunft reicht. Ggf. wäre zu prüfen, ob eine Umstellung mit fortschreitender Dekarbonisierung sinnvoll ist, damit Anforderungen direkter aus dem SEP abgeleitet werden können.

Die folgende Graphik zeigt zusammenfassend eine mögliche Harmonisierung der SEP und NEP-Prozesse:

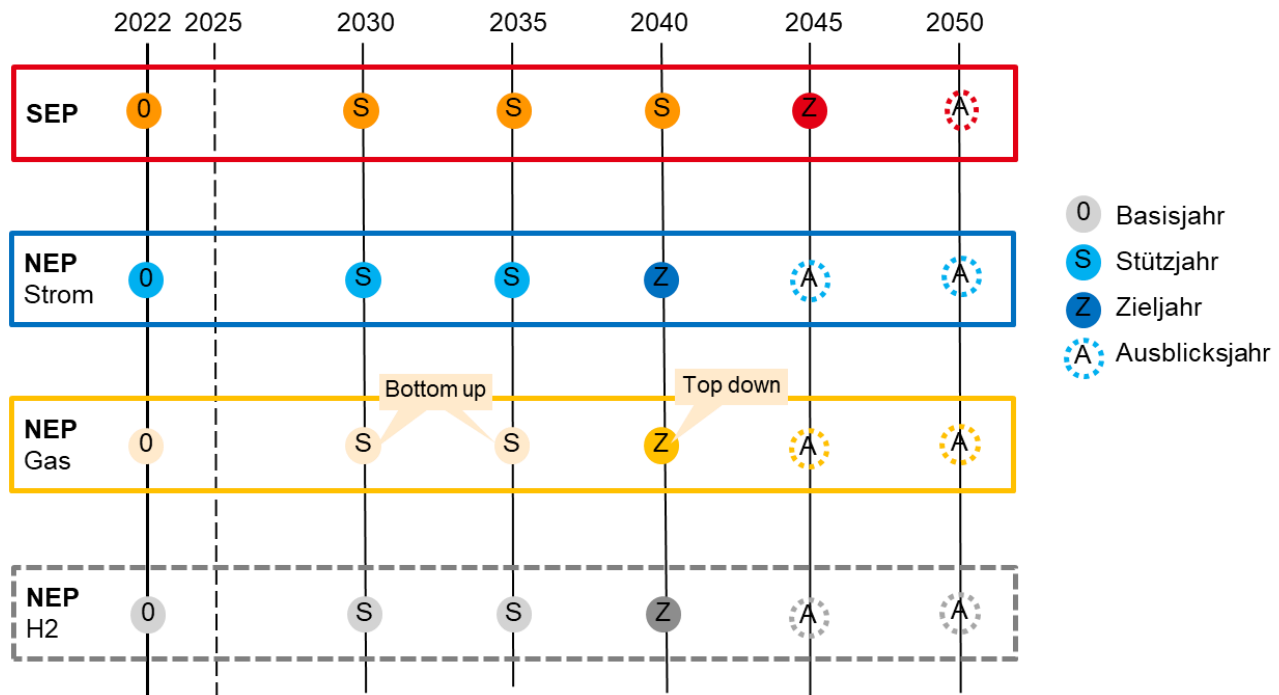


Abbildung 8: Exemplarisch: Harmonisierte SEP- und NEP-Prozesse

### 3.4.2 Szenariorahmen der NEP-Prozesse

Die Szenariorahmen der NEP-Prozesse behalten auch bei vorgeschaltetem SEP ihre Berechtigung, denn sie sind feiner in der Granularität (räumlich / zeitlich), und umfassen weitere Daten. Aus dem SEP folgt vielmehr die Anforderung, dass die NEP-Szenarien sich widerspruchsfrei in die SEP-Ankerpunkte und das Leitbild einpassen müssen.

Das SEP-Leitbild, legitimiert durch politische Entscheidung (→ Governance), definiert, worauf sich die Infrastrukturplanung einzustellen hat. Es ist damit Auftrag an die nachfolgende Infrastrukturplanung. Daraus folgt die neue **Anforderung an die NEP-Szenarien, die Bandbreite des SEP-Leitbildes abzubilden**. Die NEP-Szenarien stellen somit eine Ausdetaillierung und Spezifizierung des SEP Leitbildes dar. Sie gehen aber weder über die Grenzen des SEP hinaus, noch schränken sie den Möglichkeitenraum nennenswert weiter ein.

Das folgende Schaubild stellt schematisch dar, wie sich die einzelnen Szenariorahmen der NEPs zum Leitbild des SEP verhalten.

# B E T

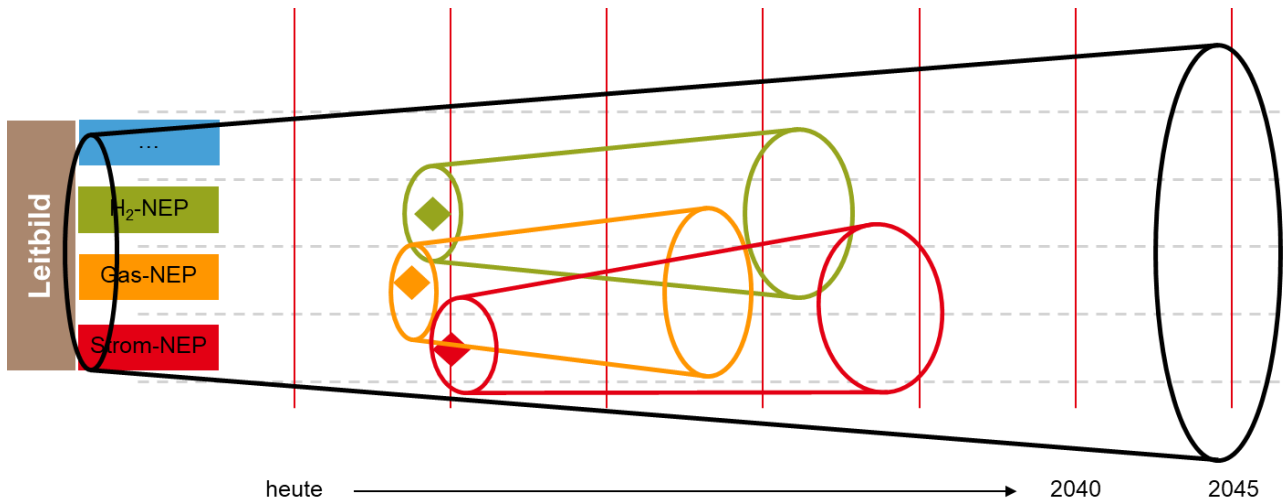


Abbildung 9: Verhältnis der Szenariorahmen zum Leitbild (Schemadarstellung)

Die Regionalisierung der NEP-Szenariorahmen in den jeweiligen Folgeprozessen muss in enger Abstimmung zwischen den Sektoren/Sparten erfolgen, z. B. bezüglich der Allokation von Kraftwerken und Elektrolyseuren.

Die Möglichkeit, den NEP-Prozess zu verschlanken indem z. B. die Konsultation der NEP-Szenarien durch den Rückbezug auf den SEP entfallen könnte, ist methodisch gegeben. Sie ist allerdings rechtlich noch auf Umsetzungsaufwand hin zu prüfen, da z. B. Europarecht tangiert sein könnte.

### 3.4.3 Umgang mit mehreren Szenarien

Ein strittiger Diskussionspunkt in den vergangenen Jahren war immer wieder, auf welche Weise die NEPs mit ihren Szenarien arbeiten sollten, also ob sie ihre Aufgabe in der Vorbereitung auf alle Szenarien zugleich („robuster Ansatz“) oder in der Herstellung dessen, was in jedem der Szenarien benötigt wird („no regret Ansatz“) sehen sollten.

Die folgende Graphik verdeutlicht den Unterschied zwischen robustem und no regret – Ansatz:

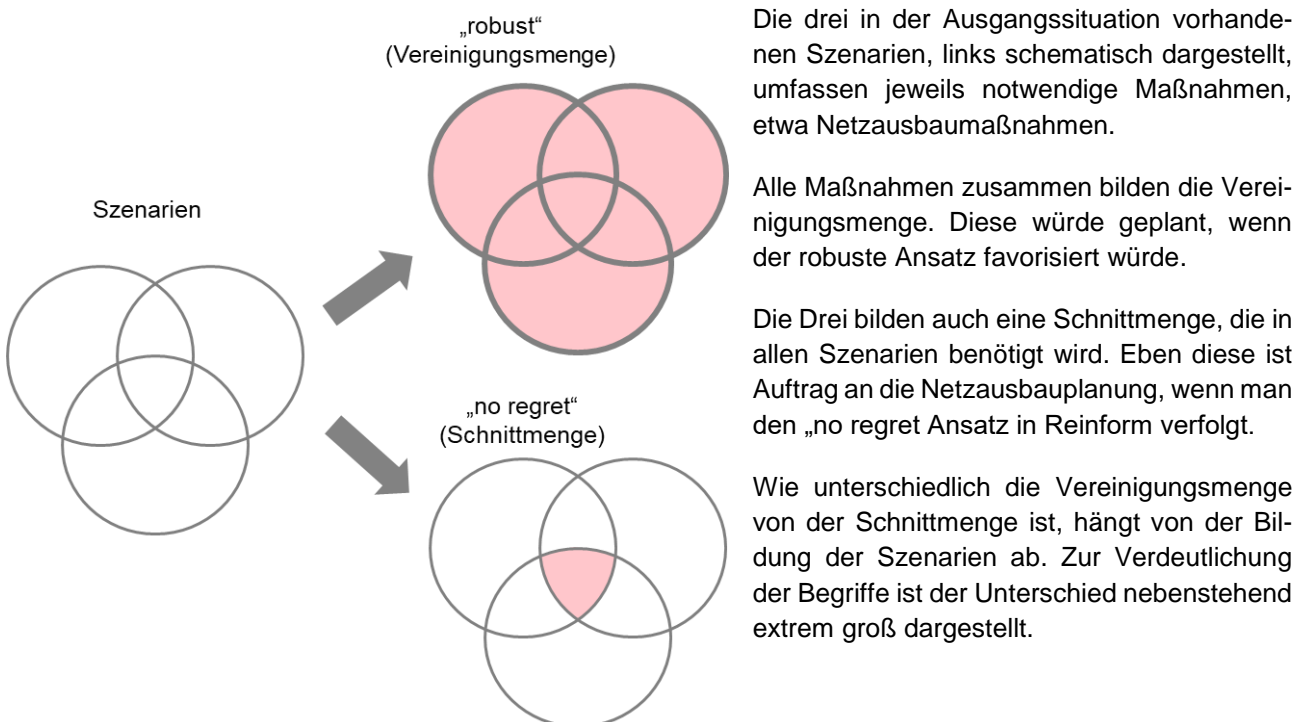


Abbildung 10: "robust" vs. "no regret"

# B E T

Im vorliegenden Fall ist der Auftrag aus dem SEP an die Folgeprozesse klar definiert. Die Leitfrage des SEP lautet: „Auf welche Zukunft müssen die Energie-Infrastrukturen vorbereitet werden?“ Der SEP beantwortet diese Frage mit dem „validierten Leitbild“, das gewisse offene Fragen und Unschärfen enthält. Die Szenario-rahmen der Folgeprozesse übersetzen dies (wie heute) in mehrere Szenarien.

Die zu bestimmende Infrastruktur muss nun allen NEP-Szenarien genügen („robust“ geplant werden), nicht nur der Schnittmenge (nicht „no regret“), denn das geplante System muss gemäß Leitfrage in jedem der Szenarien funktionieren.

Die Unterschiedlichkeit der so gebildeten NEP-Szenarien ist also so groß, wie die offenen Fragen und Unschärfen des SEP es verlangen. Oder andersherum ausgedrückt: In der Formulierung des Leitbildes wird festgelegt, auf wieviel Ungewissheit die Infrastrukturplanung ausgelegt werden soll. Der robuste Ansatz führt zu einer gewissen, systematischen Überdimensionierung des Infrastrukturausbauplans. Nur so kann sie den ihr zugeordneten Teil der Unsicherheit tragen.

**Hinweis:** *Das Maß dieser absichtlichen Überplanung ist erwartbar geringer als es heute bei einer robusten Planung über alle NEP-Szenarien wäre.*

Die Sorge vor Überdimensionierung war in der Vergangenheit oft ein Argument gegen diesen robusten Ansatz. Hierzu sind verschiedene Aspekte anzumerken:

- Die NEP-Szenarien der Vergangenheit hatten nicht den umhüllenden Rahmen eines SEP. Folglich waren sie in machen Durchgängen vergleichsweise unterschiedlich voneinander. Eine robuste Planung hätte dann zu einer relativ großen Überdimensionierung geführt, die nur schwer argumentierbar gewesen wäre.
- Die hier vorgestellte Systematik bemisst wesentlich den Auftrag an die Infrastrukturplanung größer als in einer bestimmten Zukunftsprognose benötigt. Der Grund liegt in der Ungewissheit jeder Prognose.
- Im Gasbereich ist der Zubau von Infrastruktur nach jetziger Einschätzung nicht das Kernthema der kommenden Dekade, sondern eher (je nach Szenario) die Umwidmung und/oder der Rückbau.<sup>7</sup> Hinzu kommen mögliche neue Elemente einer H<sub>2</sub>-Infrastruktur. Die Möglichkeit einer Überdimensionierung besteht hier theoretisch insbesondere durch falsch terminierte Umwidmung.
- Im Strombereich befinden wir uns in einer Phase stetigen Zubaubedarfs. Mittelfristig wird absehbar vermutlich keine Leitung „überflüssig“.<sup>8</sup> Eine Überdimensionierung des Systems droht nicht – die Gefahr liegt in der Verzögerung.

Zudem ist festzustellen, dass die Unschärfe gezielt herbeigeführt und der Umgang damit Teil der Methodik ist.

- Ein Teil der Unschärfe wird durch den Verweis auf spätere Entscheidungen ausgelöst. Die methodische Antwort darauf besteht in der bestmöglichen Vorbereitung auf einen späteren Bau, ohne diesen jedoch zu beginnen. (Vgl. → 3.5.1)
- Ein anderer Teil der Unschärfe wird durch Ungewissheit der Basisdaten in den SEP getragen. Dies ist der Teil, den die Infrastruktur tragen soll, also die dauerhafte, gewollte Überdimensionierung. Es ist zu betonen, dass diese Überdimensionierung tatsächlich gebraucht wird. Nur so kann die Infrastruktur ihrer Aufgabe, auf Unsicherheit vorbereitet zu sein, gerecht werden.

<sup>7</sup> Die Thematik des Infrastruktur-Rückbaus ist vielschichtig und übersteigt die reine Methodenbeschreibung bei weitem. Hinzuweisen ist auf regulatorische Fragestellungen, z. B. den Umgang mit kalkulatorischen Restwerten. Die Betrachtung der Kosten des Rückbaus kann letztlich auch in eine Modellanforderung münden, um diese mit zu betrachten und zu optimieren.

<sup>8</sup> Falls dieser Ausnahmefall dennoch einmal auftreten sollte, ist über den Mechanismus der Anreizregulierungsverordnung (ARegV) § 22 durch die Prüfung der Effizienz der ÜNB ein Mechanismus etabliert, der dämpfend wirkt.

## 3.4.4 Probabilistik

Um Aspekte der Versorgungssicherheit und der Robustheit zu bewerten, ist zudem zu empfehlen, probabilistische Verfahren im Rahmen der Infrastrukturauslegung vorzusehen (vgl. Vorgehensweise in Frankreich und Belgien beim NEP). Hierfür wird nicht ein einzelnes, eindeutig bestimmtes Szenario parametrisiert, sondern die Inputgrößen werden mit ihrer Häufigkeitsverteilung ins Systemmodell gegeben und kombiniert. So wird z. B. das zeitgleiche Auftreten von Windflauten mit hohen Lasten, angepasst auf die tatsächliche Auftretenshäufigkeit, abgebildet. Damit werden auch Ränder der Verteilungskurve besser ausgeleuchtet.

## 3.5 Ergänzende Aspekte

### 3.5.1 Vorausschauende Planung

Die Optionen, eine Beschleunigung in der Umsetzung absehbar benötigter Infrastruktur herbeizuführen, ist schon vor einigen Jahren breit diskutiert worden. Als Beispiele für Folgerungen aus dieser Diskussion können die Verlegung von Leerrohren nach § 43 j EnWG oder der Vorzeitige Baubeginn nach § 44c EnWG angeführt werden. Eine juristische Einordnung dieser Bemühungen würde an dieser Stelle den Rahmen sprengen.

Methodisch betrachtet ist festzuhalten, dass es in der vorgestellten Methodik aus externen (logischen) Gründen heraus Maßnahmen oder Handlungen geben kann, über deren Notwendigkeit erst zu einem späteren Zeitpunkt final entschieden werden kann oder soll. Es ist sinnvoll, ihre Umsetzung so gut wie möglich vorzubereiten, um sie später beschleunigt durchführen zu können oder den Plan dann, im Lichte neuer Erkenntnis, zu verwerfen.

Insbesondere kann es Maßnahmen geben, von denen auf Basis der langfristigen Betrachtung im SEP und/oder in den Ausblick-Jahren der NEPs absehbar ist, dass sie später gebraucht werden, die aber im Zieljahr des NEP noch nicht nachweisbar benötigt werden. Für diese Fälle ist es geboten, bereits Vorbereitungen zu treffen, um die spätere Umsetzung möglichst rasch und reibungslos durchführen zu können. Der SEP beschreibt somit einen langfristigen, vorausschauend geplanten Bedarf.

Die hiervon betroffenen Schritte der Planung, der Genehmigung und ggf. des Baus sind nicht innerhalb des SEP oder des NEP zu verorten und damit auch nicht Gegenstand der hier vorgestellten Methodik. Aus dem SEP heraus lässt sich aber der mögliche Bedarf ableiten, und damit die Sinnhaftigkeit einer Vorbereitung darauf.

### 3.5.2 Schnittstelle SEP – Europäische Union

Auf europäischer Ebene können Vorgaben geschaffen werden, die für die Planungen auf nationaler Ebene und damit auch den SEP bindend sind, beispielsweise aus dem „Fit for 55 Package“. Bereits im Rahmen der Zielvorgabe an den SEP gilt es, diese externen Randbedingungen angemessen zu berücksichtigen und so die europäischen Anforderungen in den SEP einfließen zu lassen.

Eine spezielle, zu berücksichtigende Größe ist der TYNDP.<sup>9</sup> Dessen Planungshorizont ist geringer als der des SEP, der methodische Ansatz mit mehreren verwendeten Szenarien anders. Dennoch ist ein Quervergleich insbesondere der Annahmen zu den Entwicklungen des europäischen Auslandes erforderlich, um Widersprüche zu vermeiden. Zugleich ist zu vermeiden, dass die aus dem TYNDP zur Orientierung herangezogenen Daten per se im Widerspruch zu den Zielen des SEP stehen. Wenn z. B. das „national trends“ Szenario des TYNDP die Klimaziele in Summe verfehlt, ist es nur bedingt als Orientierungsgröße geeignet. Die Auswahl eines anderen Szenarios als Vergleichsmaßstab, welches die Ziele des SEP erfüllt, ist dann empfehlenswert.

<sup>9</sup> TYNDP: ten year network development plan der EntsoE, vgl. <https://tyndp.entsoe.eu/>



# **B E T**

Eine eigene Schnittstelle vom SEP zurück in den TYNDP-Prozess ist nicht zu etablieren, da dies über die NEP-Prozesse bereits angelegt ist.