

### Cross-Impact-Analysen zur Transformation städtischer Energieinfrastrukturen am Beispiel KWK und Wasserstoff: Ergebnisse des Teilprojekts "Transformation und Vernetzung städtischer Energieinfrastrukturen" im Gesamtprojekt "Energiewende Ruhr"

Venjakob, Johannes; Schüwer, Dietmar; Schneider, Clemens; Gröne, Marie-Christine

Veröffentlichungsversion / Published Version  
Forschungsbericht / research report

#### Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:

Venjakob, J., Schüwer, D., Schneider, C., & Gröne, M.-C. (2018). *Cross-Impact-Analysen zur Transformation städtischer Energieinfrastrukturen am Beispiel KWK und Wasserstoff: Ergebnisse des Teilprojekts "Transformation und Vernetzung städtischer Energieinfrastrukturen" im Gesamtprojekt "Energiewende Ruhr"*. (Wuppertal Report, 15). Wuppertal: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:wup4-opus-71069>

#### Nutzungsbedingungen:

Dieser Text wird unter einer CC BY-NC-ND Lizenz (Namensnennung-Nicht-kommerziell-Keine Bearbeitung) zur Verfügung gestellt. Nähere Auskünfte zu den CC-Lizenzen finden Sie hier: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.de>

#### Terms of use:

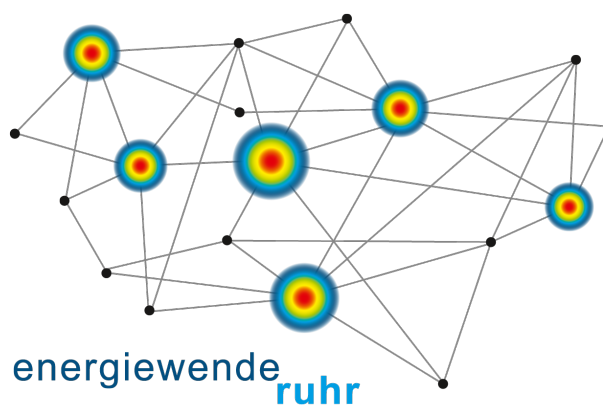
This document is made available under a CC BY-NC-ND Licence (Attribution-Non Commercial-NoDerivatives). For more information see: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>

# Cross-Impact-Analysen zur Transformation städtischer Energieinfrastrukturen

am Beispiel KWK und Wasserstoff – Ergebnisse des Teilprojekts „Transformation und Vernetzung städtischer Energieinfrastrukturen“ im Gesamtprojekt „Energiewende Ruhr“

---

Johannes Venjakob, Dietmar Schüwer,  
Clemens Schneider, Marie-Christine Gröne



gefördert durch

STIFTUNG  
MERCATOR

 Wuppertal  
Institut

**Herausgeber:**

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH  
Döppersberg 19  
42103 Wuppertal  
www.wupperinst.org

**Autorinnen/Autoren:**

Venjakob, Johannes  
Schüwer, Dietmar  
Schneider, Clemens  
Gröne, Marie-Christine

„**Wuppertal Reports**“ sind Abschlussberichte aus Projekten, die von Auftraggebern zur Veröffentlichung freigegeben wurden. Sie sollen mit den Projektergebnissen aus der Arbeit des Instituts vertraut machen und zur kritischen Diskussion einladen. Das Wuppertal Institut achtet auf ihre wissenschaftliche Qualität. Für den Inhalt sind die Autorinnen und Autoren verantwortlich.

Wuppertal, Juli 2018  
ISSN 1862-1953

Dieses Werk steht unter der Lizenz Creative Commons Namensnennung-NichtKommerziell-KeineBearbeitung 4.0 International.

Die Lizenz ist abrufbar unter <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



Der hier vorliegende Bericht ist das Ergebnis des Teilprojekts „Transformation und Vernetzung städtischer Energieinfrastrukturen“, welches Teil des „Rahmenprogramms zur Umsetzung der Energiewende in den Kommunen des Ruhrgebiets - Energiewende Ruhr“ ist. Er stellt eine ausführliche Langfassung des entsprechenden Kapitels im Gesamtbericht dar. Akteurspezifische Aspekte bei der Umsetzung der Energiewende finden sich im Bericht des Teilprojektes „Strategische Optionen der Ruhrgebiets-Stadtwerke im Rahmen der Energiewende“.

Das diesem Bericht zugrunde liegende Forschungsvorhaben wurde im Auftrag der Stiftung Mercator durchgeführt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und den Autoren.

**Bitte den Bericht folgendermaßen zitieren:**

Venjakob, J.; Schüwer, D.; Schneider, C.; Gröne, M. (2018): Cross-Impact-Analysen zur Transformation städtischer Energieinfrastrukturen am Beispiel KWK und Wasserstoff. Wuppertal Report Nr. 15. Wuppertal Institut (Hrsg.) Wuppertal

**Projektlaufzeit:** 11/2012 – 12/2016

**Projektkoordination:** Johannes Venjakob // Projektleiter // johannes.venjakob@wupperinst.org

**Partner im Gesamtprojekt:**

- Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH (Koordination)
- Kulturwissenschaftliches Institut Essen
- Technische Universität Dortmund, Fachgebiet Städtebau, Stadtgestaltung und Bauleitplanung
- Spiekermann & Wegener (S&W) Stadt- und Regionalforschung
- Bergische Universität Wuppertal, Lehrstuhl Umweltverträgliche Infrastrukturplanung, Stadtbauwesen

**Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH:** Dr. Johannes Venjakob, Dietmar Schüwer, Clemens Schneider, Marie-Christine Gröne

**Weitere Mitarbeiter:** Thomas Hanke

---

**Impressum**

**Herausgeber:**

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH  
Döppersberg 19 , 42103 Wuppertal; www.wupperinst.org

**Ansprechpartner:**

Dr. Johannes Venjakob  
Wuppertal Institut, Abteilung Zukünftige Energie- und Mobilitätsstrukturen  
johannes.venjakob@wupperinst.org; Tel. +49 202 2492-102; Fax +49 202 2492-198

**Stand:**

Juli 2018

## Inhaltsverzeichnis

<b>Verzeichnis von Abkürzungen, Einheiten und Symbolen</b>	<b>6</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>7</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>8</b>
<b>1 Transformation und Vernetzung technischer Infrastrukturen</b>	<b>9</b>
1.1 Inhaltlicher Zuschnitt	9
1.2 Methodischer Zugang und Handlungsansatz	10
1.2.1 Phase 1: Technologie-Sondierung	11
1.2.2 Phase 2: Technologie-Screening	12
1.2.3 Phase 3: Einbezug von (kommunalen) Stakeholdern	13
1.2.4 Phase 4: Ableitung von Handlungsszenarien	15
1.3 Zentrale Ergebnisse	16
1.3.1 Zentrale Ergebnisse - „Grüne KWK“	16
1.3.2 Zentrale Ergebnisse - Zukunft der Wasserstoffwirtschaft	22
1.4 Zentrale Schlussfolgerungen und strategische Empfehlungen	30
1.4.1 Perspektiven für Forschung und Methode	30
1.4.2 Perspektiven für Akteure / für die Region – Grüne KWK	31
1.4.3 Konkrete Empfehlungen an kommunale und regionale Entscheidungsträgerinnen und -träger	35
1.4.4 Perspektiven für Akteure / für die Region – Zukunft der Wasserstoffwirtschaft	36
1.5 Literatur	38
<b>2 Anhang 1 Grüne KWK – Beschreibung der Deskriptoren und ihrer Ausprägungen</b>	<b>39</b>
2.1 Deskriptor: Verstärkter Einsatz erneuerbarer Energien in der KWK	39
2.2 Deskriptor: Ausbau der Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK)	40
2.3 Deskriptor: Intelligente Verknüpfung von Smart Grid und KWK im Verteilnetz	41
2.4 Deskriptor: Aufbau LowEx-Systeme	42
2.5 Deskriptor: Erhöhung der Speicherkapazität in der KWK	44
2.6 Deskriptor: Zukünftiger Zentralisierungsgrad der KWK	46
2.7 Deskriptor: Akzeptanz in der Bevölkerung für die Energiewende	47
<b>3 Anhang 2 Grüne KWK – Experteneinschätzungen zu den konsistenten Szenariopfaden</b>	<b>49</b>
3.1 Verstärkter Einsatz EE in der KWK - Solarthermie und Tiefengeothermie	49
3.2 Ausbau der KWKK - Forcierter Ausbau in Industrie/GHD und öffentlichen Gebäuden	49
3.3 Die Intelligente Verknüpfung von Smart Grid und KWK gelingt	51
3.4 Aufbau von LowEx-Systemen als Rücklaufeinbindung in Fernwärmenetze	51

3.5	Erhöhung der Speicherkapazität in der KWK in Form von Wärmespeichern	52
3.6	Zukünftiger Zentralisierungsgrad der KWK: Quartiersversorgung	52
3.7	Die Akzeptanz in der Bevölkerung für die Energiewende steigt	53
<b>4</b>	<b>Anhang 3 Grüne KWK – Qualitatives Szenario „Grüne KWK im Ruhrgebiet 2030“ – ein fiktives Interview</b>	<b>54</b>
<b>5</b>	<b>Anhang 4 Grüne KWK – Szenariovarianten</b>	<b>62</b>
<b>6</b>	<b>Anhang 5 Wasserstoffwirtschaft – Beschreibung der Deskriptoren und ihrer Ausprägungen</b>	<b>65</b>
6.1	Deskriptor: Regenerative Energieerzeugung in Deutschland	65
6.2	Deskriptor: Zukünftiger Zentralisierungsgrad des Stromsystems	65
6.3	Deskriptor: Industriestandort Ruhrgebiet	66
6.4	Deskriptor: Entwicklung der Wasserstoff-Infrastruktur	66
6.5	Deskriptor: Kristallisationspunkte einer zukünftigen Wasserstoffwirtschaft	67
<b>7</b>	<b>Anhang 6 Wasserstoffwirtschaft – Experteneinschätzungen zum konsistenten Szenariopfad</b>	<b>68</b>
7.1	Regenerative Energieerzeugung in Deutschland durch Windkraft (on-shore und off-shore)	68
7.2	Zukünftiges Stromsystems eher zentral	69
7.3	Ruhrgebiet bleibt industrielles Herz Deutschlands	69
7.4	Die H <sub>2</sub> -Infrastruktur entwickelt sich in Richtung überregionaler Netze	71
7.5	Kristallisationspunkt einer zukünftigen Wasserstoffwirtschaft ist der Verkehrssektor	73
7.6	In Zukunft liegt der Schwerpunkt der Wasserstoffwirtschaft auf stationären und mobilen Anwendungen beim privaten Endverbraucher	74

## Verzeichnis von Abkürzungen, Einheiten und Symbolen

### Abkürzungen

Abb.	Abbildung
BHKW	Blockheizkraftwerk
CIB	Cross-Impact-Bilanzanalyse
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
FEE	Fluktuierende Erneuerbaren Energien
GHD	Gewerbe Handel Dienstleistungen
GUD	Gas und Dampf Kraftwerk
HGÜ	Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWKK	Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung
MENA	Middle East & North Africa
NRW	Nordrhein-Westfalen
Nimby-Effekt	not in my backyard-Effekt
RONT	Regelbare Ortsnetztransformatoren
PtG	Power-to-Gas
PtH	Power-to-Heat
PV	Photovoltaik
Tab.	Tabelle
WI	Wuppertal Institut für Klima Umwelt, Energie GmbH
ZIRIUS	Zentrum für Interdisziplinäre Risiko- und Innovationsforschung

### Einheiten und Symbole

°C	Grad Celsius
CH <sub>4</sub>	Methan
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
H <sub>2</sub>	Wasserstoff
MW <sub>el</sub>	Megawatt elektrisch

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Teilnehmer Cross-Impact Workshop .....	13
Tabelle 2: Grüne KWK im Ruhrgebiet – Deskriptoren und Ausprägungen .....	16
Tabelle 3: Grüne KWK im Ruhrgebiet – CIB Szenario-Tableau .....	20
Tabelle 4: Zukunft der Wasserstoffwirtschaft – Deskriptoren und Ausprägungen .....	23
Tabelle 5: Zukunft der Wasserstoffwirtschaft – CIB Szenario-Tableau .....	28
Tabelle 6: Zukunft der Wasserstoffwirtschaft – Alternatives CIB Szenario-Tableau.....	63



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung Cross-Impact-Bilanzanalyse -----	14
Abbildung 2: Grüne KWK im Ruhrgebiet – Ergebnisse des CIB-Workshops-----	18
Abbildung 3: Grüne KWK im Ruhrgebiet – Aktiv- und Passivsummen der CIB-----	18
Abbildung 4: Zukunft der Wasserstoffwirtschaft – Ergebnisse des CIB-Workshops-----	25
Abbildung 5: Zukunft der Wasserstoffwirtschaft – Aktiv- und Passivsummen der CIB -----	26

# 1 Transformation und Vernetzung technischer Infrastrukturen

## 1.1 Inhaltlicher Zuschnitt

Die Transformation der Energieinfrastruktur zu flexibleren, effizienteren, stärker dezentralen und vermehrt auf erneuerbare Quellen setzenden Versorgungssystemen stellen für urbane Räume wie das Ruhrgebiet eine besondere Herausforderung dar. Bestehende Versorgungsstrukturen werden häufig als Konkurrenz wahrgenommen und stehen der Transformation des Energiesystems scheinbar im Weg. Dabei bieten gerade diese bereits getätigten Investitionen (beispielsweise in Form bestehender Fernwärmenetze) ein großes Potenzial. Lösungskonzepte zur Transformation des Energiesystems sollten daran ansetzen die bestehenden Strukturen sukzessive sinnvoll zu erweitern, zu ergänzen und wo nötig hinreichend zu flexibilisieren. Grundsätzlich sind bereits heute im verdichteten Ballungsraum Ruhrgebiet unterschiedliche Ansatzpunkte für eine klimagerechte Ausgestaltung der Energieerzeugung sichtbar. Dach-, Halden- und Brachflächen bieten sich für solare Energiegewinnung an. Zweifelsohne werden die Kommunen des Ruhrgebietes auch auf ihr jeweiliges „Energieumland“ angewiesen sein, da die potenzielle Fläche zum Ausbau regenerativer Energien (speziell Biomasse und Windenergie) in Ballungsräumen begrenzt ist.

Die Transformation der Energieinfrastruktur, in einer Region die noch immer überwiegend auf zentrale Erzeugung und entsprechende Versorgungssysteme ausgerichtet sind, zählt zu den großen Herausforderungen einer gelungenen Energiewende – auch wenn nur ein Teil dieser Herausforderungen in der Region selbst beeinflusst werden kann.

Im Rahmen des Teilprojekts wurden zentrale technologisch-infrastrukturelle Herausforderungen im Kontext der Umsetzung der Energiewende im kommunalen Bereich analysiert. Insbesondere war hierbei von Interesse, wie das gezielte Vernetzen unterschiedlicher Infrastrukturbereiche (Strom, Wärme, Verkehr) einen Beitrag dazu leisten kann, Effizienzpotenziale zu heben und damit ein nachhaltiges und zukunftsfähiges Infrastruktursystem zu schaffen. Die Technologien und die zugehörigen Infrastruktursysteme an diesen Schnittstellen der einzelnen Sektoren standen daher im Vordergrund der Analyse .

Ein inhaltlicher Zuschnitt des Teilprojektes fokussierte auf die Bereiche Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) und Wasserstoff.

Der Einsatz der KWK-Technologie ist ein wichtiger Baustein für das Gelingen der Energiewende. Entsprechende Ziele für den Ausbau der KWK sind auf Bundesebene gesetzt. Im Zusammenhang mit der skizzierten Fokussierung auf Schnittstellen zwischen Infrastrukturbereichen, kommt der KWK-Technologie eine besondere Bedeutung zu.

Aufgrund seiner unterschiedlichen Einsatzmöglichkeiten kann Wasserstoff ein zentraler Baustein für das Gelingen der Energiewende werden. Die Nutzung des Energieträgers bzw. die Implementierung der zugehörigen Technologien und Infrastrukturu-

ren spielt vor dem Hintergrund der Analyse von technologischen und infrastrukturellen Schnittstellen, zukünftig eine wichtige Rolle.

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde der Frage nachgegangen, welche Möglichkeiten für kommunale und regionale Akteure bestehen, KWK und Wasserstoff(-technologien) einzusetzen bzw. in der Implementierung zu unterstützen und so einen Beitrag zur Umsetzung der Energiewende zu leisten. Hierfür wurde beleuchtet, welche technologischen und infrastrukturellen Konzepte in den genannten Bereichen mittel- bis langfristig wichtig werden können und wie sich diese gegenseitig beeinflussen. Es wird angenommen, dass einige dieser Konzepte grundsätzlich Tätigkeitsfelder und Geschäftsfelder für kommunale und regionale Akteure eröffnen und sie dadurch geeignet sind, die Umsetzung der Energiewende auf lokaler Ebene voranzutreiben. Im Bereich der KWK könnten dies beispielsweise Quartiersversorgungskonzepte sein. Im Kontext Wasserstoff sind mobile und stationäre Anwendungen auf Ebene privater Haushalte potenzielle Geschäftsfelder. Aufgrund dieses inhaltlichen Zuschnitts und der skizzierten Leitfragen besteht eine enge inhaltliche Verbindung zum Teilprojekt „Stadtwerke als Akteure der Energiewende“.

Das Teilprojekt „Transformation und Vernetzung städtischer Energieinfrastrukturen“ zielt darauf ab, auf Basis der Sondierungsarbeiten und der empirischen Analysen Handlungsempfehlungen abzuleiten, die kommunalen und regionalen Akteuren Orientierungswissen liefern.

## 1.2 Methodischer Zugang und Handlungsansatz

Die Energiewende birgt auf kommunaler Ebene zahlreiche Herausforderungen für die Zukunft, u.a. werden neue bzw. andere Technologien in den Vordergrund rücken und die existierenden Energieinfrastrukturen werden an die Herausforderungen angepasst werden müssen. Bislang wurden solche mittel- und langfristigen Transformationsprozesse häufig allein durch technologiebezogene Szenarien und Strategien beschrieben. Der Ansatz erweist sich zunehmend als nicht zielführend, da er sich zu sehr auf einzelne Technologiebereiche beschränkt und das systemische Zusammenspiel zu wenig beleuchtet. Zudem werden weitere Faktoren (Nutzerverhalten, Investitionsentscheidungen, finanzielle Handlungsspielräume auf der Verbraucherseite, Akteursnetzwerke etc.) zumeist nur marginal betrachtet.

Die abgeleiteten Forschungsfragen des Teilprojektes lauten:

- Welche Technologien tragen zur Umsetzung der Energiewende auf kommunaler Ebene im Ruhrgebiet bei (Schlüsseltechnologien bzw. Schlüsseltechnologiebereiche)?
- Wo liegen besondere technische Herausforderungen bei der Implementierung dieser Technologien (Systemintegration)?
- An welchen Stellen bieten sich durch die Vernetzung einzelner Infrastrukturbereiche Lösungsoptionen für die Implementierung der Schlüsseltechnologien?
- Wo liegen besondere nicht-technologische Herausforderungen bei der Implementierung dieser Technologien (bspw. Nutzerverhalten, Investitionsentscheidungen)?
- Wie lässt sich die Implementierung dieser Technologien vor dem Hintergrund der existierenden und zu erwartenden sozialen, ökonomischen, infrastrukturellen, verhaltensbasierter etc. Herausforderungen fördern (bspw. neue Steuerungsmechanismen, neue Geschäftsmodelle)?

Im Fokus des Teilprojektes steht die Analyse zentraler technologisch-infrastruktureller Herausforderungen im Kontext der Umsetzung der Energiewende im kommunalen Bereich. Dabei werden vor allem Lösungsoptionen in den Blick genommen, die auch tatsächlich im Handlungsspielraum lokaler und regionaler Akteure liegen. Insbesondere ist hierbei von Interesse, wie das gezielte Vernetzen unterschiedlicher Infrastrukturbereiche (Strom, Wärme, Verkehr) einen Beitrag dazu leisten kann, Effizienzpotenziale zu heben und damit ein nachhaltiges und zukunftsfähiges Infrastruktursystem zu schaffen. Die Technologiefelder an diesen Schnittstellen der einzelnen Sektoren erhalten daher ein besonderes Augenmerk.

Das Projekt gliederte sich in vier Phasen.

### 1.2.1 Phase 1: Technologie-Sondierung

In der Sondierungsphase wurden zunächst die wesentlichen infrastrukturellen Herausforderungen identifiziert. Hierzu wurde ein Prozess initiiert, der an die Erstellung des NRW-Klimaschutzplans angekoppelt war. In Workshops wurde mit den AG-Leitern des Klimaschutzplans erörtert, welche technologischen Herausforderungen und Handlungsoptionen mit Relevanz für das Ruhrgebiet im Klimaschutzplan-Prozess benannt werden konnten. Diese Sondierungsgespräche wurden mit den AGs 1) Umwandlung, 2) Produzierendes Gewerbe / Industrie, Bauen / GHD, 3) Verkehr und 4) private Haushalte geführt. Für die hieraus entstandene Zusammenstellung erfolgte ein Plausibilitätscheck innerhalb des Projektteams. Dabei wurde vor allem geprüft, inwieweit für die benannten Technologien tatsächlich Lösungen auf kommunaler Ebene gesucht werden müssen bzw. inwiefern auf kommunaler Ebene auch die entsprechenden Handlungsspielräume bestehen, die Implementierung der Technologien voranzutreiben. Viele Infrastruktur- und Technologievorhaben, die im Zuge der Energiewende notwendig werden, sind auf Bundes- oder Landesebene zu lösen und finden daher im Rahmen der Betrachtungen dieses Teilprojektes keine Berücksichtigung. Hierzu zählen beispielsweise der Bau von Off-Shore Windparks und die Einrichtung entsprechender Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ)-

Leitung zum Transport des Stroms ins Landesinnere. Auch wenn kommunale Akteure an derartigen Vorhaben beteiligt sind, werden sie in der vorliegenden Studie nicht zu den Kernaktivitäten zur Umsetzung der kommunalen Energiewende gezählt.

Die Liste der grundsätzlich relevanten Technologie- bzw. Infrastrukturbereiche nach dieser Sondierungsphase umfasst:

1. (Dezentrale) KWK
2. Wärme- und Kältenetze
3. Low Ex-Systeme
4. Smart-Grids
5. Stromspeicher
6. Erzeugung und Anwendungsbereiche von Wasserstoff

Die Bereiche 2 bis 5 können gemeinsam im Oberthema KWK betrachtet werden. Es wurde daher entschieden, die zwei Themen „Entwicklung der dezentralen KWK im Ruhrgebiet“ und „Zukunft der Wasserstoffwirtschaft im Ruhrgebiet“ näher in den Blick zu nehmen.

### 1.2.2 Phase 2: Technologie-Screening

In der Screening-Phase wurden die zugrundeliegenden Technologiebereiche und Infrastrukturen näher beleuchtet, um herauszuarbeiten, welche Einzelaspekte die Relevanz im kommunalen Bereich ausmachen. Am Ende der Screening-Phase standen Hintergrund- bzw. Diskussionspapiere, die als Grundlage für die folgenden Arbeitspakete des Teilprojektes dienten. Beleuchtet wurden neben der technischen Herausforderung bei der Systemintegration auch Treiber und Hemmnisse sowie die erforderlichen Governancestrukturen. Von großer Wichtigkeit ist die Frage, welche Bedeutung kommunalen Akteuren in diesem Zusammenhang zukommt. Mit „kommunalen Akteuren“ sind dabei ausdrücklich alle auf kommunalem Gebiet tätigen Stakeholder gemeint. Die Analysen und der daraus resultierende Stakeholder-Prozess sind nicht beschränkt auf die kommunale Verwaltung bzw. kommunale Unternehmen. Auch Technologieentwickler, Verbraucherorganisationen, Unternehmen aus der Wohnungswirtschaft, Industrieunternehmen usw. die im Implementierungsprozess eine wichtige Rolle spielen können, wurden in die weiteren Analysen einbezogen.

Das Screening schloss mit der Ableitung erster Ansatzpunkte für die Entwicklung von Handlungsszenarien ab. Die in einem späteren Arbeitsschritt aufzuzeigen sollen, wie die Implementierung der Technologien bzw. der Technologie-Strategie vor allem zeitlich und technisch, aber auch administrativ und partizipatorisch anzugehen ist. Die am Ende der Screening-Phase entwickelten Ansatzpunkte dienten als Thesen für den anschließenden Stakeholder-Prozess<sup>1</sup>. Die Thesen beziehen sich auf die Fragen:

---

<sup>1</sup> Die Screening-Papiere finden sich im Anhang 1 und 5

- Welche Rolle spielen die Technologien und zugehörigen Infrastrukturen im Kontext der kommunalen Energiewende?
- Wie stellt sich die Zeitschiene für die Implementierung dar?
- Welche Rahmenbedingungen müssen für die Implementierung der Technologien geschaffen werden? Welche Treiber und Hemmnisse begleiten sie?
- Welche Akteure aus dem kommunalen und regionalen Bereich müssen für die erfolgreiche Umsetzung der Technologiestrategie beteiligt werden?

### 1.2.3 Phase 3: Einbezug von (kommunalen) Stakeholdern

#### Zielsetzung und Teilnehmer der Strategie-Workshops

Die erarbeiteten Ansatzpunkte für die zukünftige Entwicklung des jeweiligen Technologiebereichs wurden in zwei Workshops mit Akteuren aus der Praxis erörtert.

Dabei wurde gemeinsam mit den involvierten Akteuren ein qualitatives Zukunftsbild für die jeweiligen Technologiefelder entwickelt. Die zugrundeliegende Zielsetzung ist es, den Akteuren aufzuzeigen, welche Rolle die einzelnen Technologien in ihrer kommunalen oder unternehmerischen Energiestrategie spielen können und welche Schritte unternommen werden müssen, um einen Erfolg dieser Strategie zu gewährleisten. Es geht bei diesen Analysen ausdrücklich nicht um quantitative Potenzialanalysen. Im Fokus stehen vielmehr Abschätzungen zu schwer quantifizierbaren Entwicklungen und Einflussgrößen sowie deren Wechselspiel. Den Akteuren sollen die spezifischen Handlungsspielräume und Handlungsnotwendigkeiten sowie wechselseitige Einflüsse der Entwicklungen untereinander aufgezeigt werden.

Für die Workshops wurden Teilnehmerinnen und Teilnehmer aus der kommunalen Verwaltung, Forschung, Industrie sowie Verbänden eingeladen.

**Tabelle 1: Teilnehmer Cross-Impact Workshop**

Teilnehmer KWK-Workshop	Teilnehmer Wasserstoff-Workshop
Senerco GmbH	ThyssenKrupp Industrial Solution Process Technology
GEF Ingenieur AG	h2-netzwerk-ruhr
Hochschule Hamm-Lippstadt	ThyssenKrupp Steel Europe
Stadt Solingen; Ressort Stadtplanung	Bayer MaterialScience
Hertener Beteiligungsgesellschaft mbH	ZBT GmbH Zentrum für BrennstoffzellenTechnik
GWI Essen	EVONIK
GZB - International Geothermal Centre	
EON Betriebswirtschaft und Vertrieb	
EnergieAgentur.NRW	
Innovation City Management GmbH	
Ingenieur-Büro Solites	
Fachhochschule Dortmund; Fachbereich Umweltpsychologie	

#### Methodik des Strategie-Workshops

Zur Entwicklung konsistenter Zukunftsbilder wurde in den Workshops eine Cross-Impact-Bilanzanalyse (CIB) durchgeführt, um das Wechselspiel von Treibern und

Hemmnissen der einzelnen Technologien zu diskutieren und vor allem visualisieren zu können. Die Cross-Impact-Analyse ist eine diskursiv angelegte Methode, die es ermöglicht, Stakeholder mit unterschiedlichen Perspektiven und Interessenslagen an der Ableitung eines konsistenten Entwicklungspfades zu beteiligen. Die folgende Matrix zeigt beispielhaft und stark vereinfacht die Gegenüberstellung von Deskriptoren (1-2) und ihren Ausprägungen (a-c). Deskriptoren sind relevante Stellschrauben bzw. Treiber für die Entwicklung des Untersuchungsgegenstandes. Die Deskriptorenausprägungen beschreiben Entwicklungsrichtungen, die diese Stellschrauben einnehmen können. Entsprechende Beispiele wären: Deskriptor Energieträgerpreis mit den Ausprägungen steigt, bleibt gleich, sinkt oder Deskriptor De-Industrialisierung im Ruhrgebiet mit den Ausprägungen nimmt zu und schwächt sich ab.

		Deskriptor 1			Deskriptor 2		
		1a	1b	1c	2a	2b	2c
Deskriptor 1	1a						
	1b						
	1c						
Deskriptor 2	2a						
	2b						
	2c						

Abbildung 1: Schematische Darstellung Cross-Impact-Bilanzanalyse

Durch die Workshop-Teilnehmer wird die Wirkung jeder Deskriptoren-Ausprägung auf die anderen Ausprägungen innerhalb der Matrix diskutiert und auf einer Skala quantifiziert. Diese kann von -3 (stark hemmend) über 0 (kein Einfluss) bis +3 (stark förderlich) reichen.

Ist die Matrix vollständig ausgefüllt, lassen sich auf Basis dieser Experteneinschätzungen konsistente Kombinationen von Deskriptoren-Ausprägungen errechnen. Diese Berechnung erfolgt mit Hilfe des Programms „ScenarioWizard“<sup>2</sup> welches an der Universität Stuttgart (ZIRIUS, Weimer-Jehle) entwickelt wurde um Cross-Impact-Bilanzanalysen durchzuführen. Es errechnet aufgrund der von den Experten eingetragenen Werte für die gegenseitige Beeinflussung entlang der Spalten Wirkungsbi-

<sup>2</sup> abrufbar über [www.cross-impact.de](http://www.cross-impact.de)

lanzen und darüber konsistente Ausprägungs-Konstellationen (z.B. 1b – 2c – nx). Grundlage für die Konsistenzberechnung sind ausschließlich die Bewertungen durch das Expertengremium.

#### **1.2.4 Phase 4: Ableitung von Handlungsszenarien**

Übertragen auf die ausgewählten Technologiebereiche bedeutet dieses methodische Vorgehen, dass wichtige Stellschrauben für die Entwicklung der Technologien als Deskriptoren in die Matrix eingesetzt werden; mögliche Entwicklungsrichtungen der Stellschrauben als Ausprägung. Die auf Basis der Expertendiskussion und Bewertung der Wechselwirkungen errechneten Ausprägungskonstellationen dienen dann als Grundlage konkreter Handlungsszenarien. Diese sollen aufzeigen, wie die Implementierung der ausgewählten Technologien / Infrastrukturen erfolgreich gestaltet werden kann und welche Akteure dabei involviert werden müssen. Weiterhin gehört hierzu die Beschreibung der notwendigen Rahmenbedingungen und das Aufzeigen der Zeitschiene für die Implementierung. Treiber und Hemmnisse ergeben sich idealerweise direkt aus der Cross-Impact-Bewertung.

Bei den Handlungsszenarien handelt es sich nicht um die quantitative Potenzialerhebung und Modellierung des Technologieeinsatzes. Vielmehr wird auf die nicht-technologische Dimension des Technologieeinsatzes eingegangen. So können beispielsweise Fragen nach notwendigen Verhaltensänderungen und der Akzeptanz der jeweiligen Technologie beantwortet werden. Ebenso kann analysiert werden, welche politischen und unternehmerischen Weichenstellungen die Entwicklungsrichtung steuern. Hierfür kann es sich anbieten, die Beschreibung des Implementierungspfades durch narrative Elemente zu ergänzen.



## 1.3 Zentrale Ergebnisse

### 1.3.1 Zentrale Ergebnisse - „Grüne KWK“

Grundlage für die Diskussion der Stellschrauben des Technologiebereichs waren die Screening-Papiere aus der vorhergehenden Projektphase. Aus ihnen wurden die Deskriptoren und ihre Ausprägungen abgeleitet und detailliert beschrieben<sup>3</sup>. Diese Hintergrundpapiere wurden den Teilnehmerinnen und Teilnehmern des Workshops im Vorfeld zur Verfügung gestellt. Ihre Kommentierungen wurden eingearbeitet. Zielsetzung dieses vorgeschalteten Prozesses war die möglichst weitgehende Akzeptanz des Systemausschnittes, der durch die Deskriptoren gesetzt wird. Die folgende Tabelle zeigt die Deskriptoren und ihre Ausprägungen für die Cross-Impact-Bilanzanalyse des KWK-Workshops.

**Tabelle 2: Grüne KWK im Ruhrgebiet – Deskriptoren und Ausprägungen**

Deskriptor	Ausprägung
Verstärkter Einsatz erneuerbarer Energien in der KWK	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Schwerpunkt Solarthermie</li> <li>▪ Schwerpunkt Tiefengeothermie</li> <li>▪ Schwerpunkt Biogas / Biomethan</li> </ul>
Ausbau der Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kein nennenswerter Ausbau</li> <li>▪ Forciert in Industrie und GHD</li> <li>▪ Forcierte Kühlung öffentlicher Gebäude</li> </ul>
Intelligente Verknüpfung von Smart Grid und KWK im Verteilnetz	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gelingt</li> <li>▪ Gelingt nicht</li> </ul>
Aufbau LowEx-Systeme	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aufbau als Rücklaufeinbindung in Fernwärmenetzen</li> <li>▪ Forcierte Nutzung Kalte Nahwärme</li> </ul>
Erhöhung der Speicherkapazität in der KWK	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Schwerpunkt Feststoffspeicher</li> <li>▪ Schwerpunkt Gasspeicher</li> <li>▪ Schwerpunkt Wärmespeicher</li> </ul>
Zukünftiger Zentralisierungsgrad der KWK	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Schwerpunkt zentrale Versorgung</li> <li>▪ Schwerpunkt Quartiersversorgung</li> <li>▪ Schwerpunkt Objektversorgung und Einzelgebäude</li> </ul>
Akzeptanz in der Bevölkerung für die Energiewende	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ steigt im Vergleich zu heute</li> <li>▪ bleibt im Vergleich zu heute gleich</li> <li>▪ sinkt im Vergleich zu heute</li> </ul>

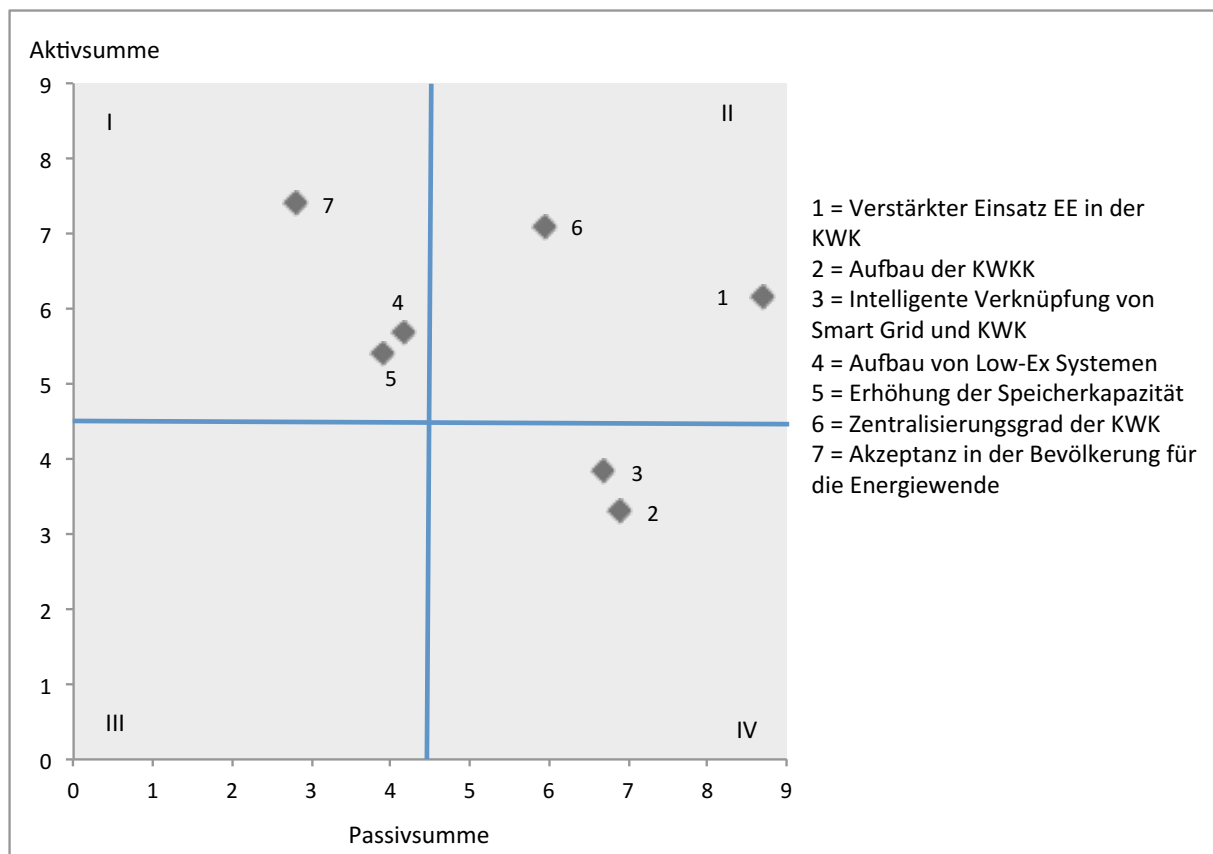
Die folgende Abbildung zeigt die, im Rahmen des Workshops ausgefüllte, Cross-Impact-Matrix mit den Urteilen des Teilnehmerkreises. Die Bewertungsskala reicht von -3 (stark hemmender Einfluss) bis +3 (stark fördernder Einfluss). Die eingetragenen Werte wurden in das Analyse-Tool *Scenario Wizard* überführt. Die Berechnungsergebnisse werden in den folgenden Abschnitten dargestellt.

<sup>3</sup> Ausführliche Beschreibungen der Deskriptoren und ihrer Ausprägungen finden sich im Anhang 1

	1 Verstärkter Einsatz erneuerbarer Energien in der KWK			2 Ausbau der Kalt-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK)			3 Intelligente Vernetzung von Smart Grid und KWK			4 Aufbau LowEx-Systeme			5 Erhöhung der Speicherkapazität in der KWK			6 Zukünftiger Zentralisierungsgrad der KWK			7 Akzeptanz in der Bevölkerung für die Energiewende (im Vergleich zu heute)		
	1a	1b	1c	2a	2b	2c	3a	3b	4a	4b	5a	5b	5c	6a	6b	6c	7a	7b	7c		
1 Verstärkter Einsatz erneuerbarer Energien in der KWK	Schwerpunkt Solarthermie	Schwerpunkt Tiefengeothermie	Schwerpunkt Biogas / Biomethan	0	1	1	0	0	1	0	0	0	3	0	2	1	1	0	0	-1	
	Schwerpunkt Solarthermie	Schwerpunkt Tiefengeothermie	Schwerpunkt Biogas / Biomethan	0	2	2	1	-1	3	0	0	2	2	1	3	1	1	1	0	-1	
	Schwerpunkt Solarthermie	Schwerpunkt Tiefengeothermie	Schwerpunkt Biogas / Biomethan	0	1	1	2	-2	0	0	3	2	0	2	2	1	-2	0	2	2	
2 Ausbau der Kalt-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK)	2a Kein nennenswerter Ausbau	2b Forciert in Industrie und GHD	2c Forcierte Kühlung öffentlicher Gebäude	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2a Kein nennenswerter Ausbau	2b Forciert in Industrie und GHD	2c Forcierte Kühlung öffentlicher Gebäude	2	1	1	2	-2	0	-2	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	
	2a Kein nennenswerter Ausbau	2b Forciert in Industrie und GHD	2c Forcierte Kühlung öffentlicher Gebäude	2	1	1	1	-1	0	-2	0	1	1	1	0	0	1	0	0	-1	
3 Intelligente Vernetzung von Smart Grid und KWK	3a gelingt	3b gelingt nicht		0	1	0	0	0	0	0	0	3	3	-1	2	2	0	0	0	0	
	3a gelingt	3b gelingt nicht		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-2	-2	0	0	0	0	
	3a gelingt	3b gelingt nicht		3	3	0	2	-2	0	0	0	0	0	0	2	-1	0	0	0	0	
4 Aufbau LowEx-Systeme	4a Aufbau als Rücklaufeinbindung in Fernwärmenetze	4b Aufbau als Kälte Nahwärme		1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	-1	
	4a Aufbau als Rücklaufeinbindung in Fernwärmenetze	4b Aufbau als Kälte Nahwärme		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	
	4a Aufbau als Rücklaufeinbindung in Fernwärmenetze	4b Aufbau als Kälte Nahwärme		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5 Erhöhung der Speicherkapazität in der KWK	5a Schwerpunkt Feststoffspeicher	5b Schwerpunkt Gasspeicher	5c Schwerpunkt Wärmespeicher	0	0	3	2	-2	0	0	3	2	0	0	0	0	-1	0	0	0	
	5a Schwerpunkt Feststoffspeicher	5b Schwerpunkt Gasspeicher	5c Schwerpunkt Wärmespeicher	0	0	3	2	-2	0	0	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	
	5a Schwerpunkt Feststoffspeicher	5b Schwerpunkt Gasspeicher	5c Schwerpunkt Wärmespeicher	3	2	0	2	-2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	
6 Zukünftiger Zentralisierungsgrad der KWK	6a Schwerpunkt zentrale Versorgung	6b Schwerpunkt Quartiersversorgung	6c Schwerpunkt Objektversorgung und Einzelgebäude	2	2	1	0	0	2	2	0	0	1	0	0	0	-2	0	2	2	
	6a Schwerpunkt zentrale Versorgung	6b Schwerpunkt Quartiersversorgung	6c Schwerpunkt Objektversorgung und Einzelgebäude	3	3	2	1	-1	1	1	0	0	2	1	1	2	1	1	2	3	
	6a Schwerpunkt zentrale Versorgung	6b Schwerpunkt Quartiersversorgung	6c Schwerpunkt Objektversorgung und Einzelgebäude	2	-2	1	3	-3	2	-2	2	0	3	1	1	0	0	0	0	0	
7 Akzeptanz in der Bevölkerung für die Energiewende (im Vergleich zu heute)	7a die Akzeptanz für die Energiewende steigt	7b die Akzeptanz für die Energiewende bleibt gleich	7c die Akzeptanz für die Energiewende sinkt	2	3	3	3	-3	2	1	2	1	1	1	2	3	-2	0	2	-2	
	7a die Akzeptanz für die Energiewende steigt	7b die Akzeptanz für die Energiewende bleibt gleich	7c die Akzeptanz für die Energiewende sinkt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
	7a die Akzeptanz für die Energiewende steigt	7b die Akzeptanz für die Energiewende bleibt gleich	7c die Akzeptanz für die Energiewende sinkt	-2	-3	-3	1	0	-1	0	-2	-1	-1	-1	-2	-3	-2	-1	-1	-3	

**Abbildung 2: Grüne KWK im Ruhrgebiet – Ergebnisse des CIB-Workshops**

Zur Interpretation der Cross-Impact-Ergebnisse ist der Blick auf die Aktiv/Passiv-Summen der einzelnen Deskriptoren aufschlussreich. Sie zeigen auf, in welchem Maß ein Deskriptor alle anderen Deskriptoren beeinflusst (aktiv) bzw. von diesen beeinflusst wird (passiv). Wie in der folgenden Abbildung dargestellt, werden beide Werte in einem Diagramm abgetragen. Ihre Position im Diagramm verdeutlicht ihr Rolle im Gefüge des Deskriptoren-Sets - noch nicht bezogen auf einzelne Szenariopfade. Bei der Interpretation der Aktiv- und Passivsummen ist zu beachten, dass hierin nur direkte Wirkungen Berücksichtigung befinden. Indirekte Wirkungen, die das Set konsistenter Szenarien erheblich beeinflussen können, werden erst durch die Berechnung der Wirkungsbilanzen und der daraus resultierenden Ableitung konsistenter Szenarien einbezogen und sichtbar.

**Abbildung 3: Grüne KWK im Ruhrgebiet – Aktiv- und Passivsummen der CIB**

Deskriptoren im linken oberen Bereich (I) des Diagramms bezeichnen Größen, die das Systemverhalten mutmaßlich effektiv kontrollieren können. Deskriptoren im rechten unteren Bereich (IV) sind abhängige Größen, die die Tendenz haben, sich nach den anderen Größen auszurichten ohne selbst wirksam ins Geschehen einzugreifen. Deskriptoren im rechten oberen Bereich (II) sind Größen, die substantielle Einflüsse sowohl ausüben als auch empfangen und sich daher häufig als besonders relevant für die Generierung komplexen Systemverhaltens erweisen (vgl. hierzu

Weimer-Jehle 2014). Im Bereich links unten (III) finden sich Deskriptoren, die weder stark Einfluss nehmen, noch stark beeinflusst werden. Sie sind demnach recht statisch und für Strategieableitungen weniger relevant.

Auf Basis der Experteneinschätzungen lassen sich erste Aussagen zur Dynamik der einzelnen Deskriptoren ableiten<sup>4</sup>:

- Eine hohe Systemrelevanz haben die Deskriptoren "**Zentralisierungsgrad der KWK**" und "**Einsatz erneuerbarer Energien in der KWK**". Beide beeinflussen die anderen Deskriptoren sehr stark. Insbesondere der Einsatz erneuerbarer Energien ist zudem in starkem Maß davon abhängig, wie die anderen Systemkomponenten ausgestaltet sind.
- Die **Akzeptanz für die Energiewende** hat starken Einfluss darauf, welche Ausprägung die anderen Deskriptoren einnehmen.
- Der **Ausbau der Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung** und die **Verknüpfung von KWK-Anlagen und Smart Grids** sind eher passive Systemgrößen, die von der Entwicklung anderer Einflussgrößen abhängen.
- Der **Aufbau von LowEx-Systemen** und **Speicherkapazitäten** hat eher eine aktive Rolle und beeinflusst andere Systemgrößen.

Auf Basis der Expertendiskussion und der daraus resultierenden Bewertungen zu den Wechselwirkungen der einzelnen Deskriptoren und ihren Ausprägungen errechnet das Programm „SzenarioWizard“ Wirkungsbilanzen und darüber konsistente Ausprägungskonstellationen. Es ergibt sich ein Set von sechs Szenarien (Spalten der folgenden Übersichtstabelle). Ein Szenario enthält immer eine Ausprägung eines jeden Deskriptors, die zu den anderen Ausprägungen aufgrund der Expertenurteile konsistent ist (vgl. Weimer-Jehle 2014).

---

<sup>4</sup> Eine ausführliche Dokumentation der Experteneinschätzungen findet sich in Anhang 2

Tabelle 3: Grüne KWK im Ruhrgebiet – CIB Szenario-Tableau

Szenario	1	2	3	4	5	6
Konsistenzwert	0	0	0	0	0	0
Wirkungstotale	50	52	50	52	27	8
<b>Deskriptor</b>	<b>Ausprägungen</b>					
Zentralitätsgrad	Quartiersversorgung					
Smart Grid	Gelingt					
LowEx	Rücklaufeinbindung in Fernwärmenetze				Kalte Nahwärme	
Speicherkapazität	Wärmespeicher				Gasspeicher	
Akzeptanz	Steigt				Gleich	Sinkt
KWKK	Industrie und GHD		Öffentliche Gebäude		Kein Ausbau	
Erneuerbare	Solarthermie	Tiefengeothermie	Solarthermie	Tiefengeothermie	Biogas / Biomethan	

Zur besseren Lesbarkeit der Übersicht ist die Reihenfolge der Deskriptoren im Vergleich zur ursprünglichen Matrix geändert

Die Übersicht zeigt, dass mit der Quartiersversorgung und dem Gelingen der Verknüpfung von KWK-Anlagen in Smart Grids zwei Deskriptorenausprägungen unabdingbar für Konsistenz in den Szenarien sind. Eine zentrale KWK-Versorgung und die Versorgung von Einzelobjekten ist ebenso inkonsistent zu den anderen Deskriptoren, wie das Nicht-Gelingen der Verknüpfung von KWK-Anlagen mit Smart Grids<sup>5</sup>. Diese Ausprägungen tauchen im Tableau konsistenter Konstellationen (Szenarien) nicht auf.

Weitere "starke" Deskriptorenausprägungen sind LowEx-Systeme in Form von Rücklaufeinbindung in Fernwärmenetze, der Aufbau von Speicherkapazitäten mit dem Schwerpunkt Wärmespeicher und eine steigende Akzeptanz in der Bevölkerung für die Energiewende. Sie setzen sich in vier der sechs konsistenten Szenarien durch.

Im Fall der KWKK und dem Einsatz erneuerbarer Energien in der KWK ist das Bild weniger eindeutig. Grundsätzlich lässt sich jedoch feststellen, dass sich der Ausbau der KWKK (in Industrie / GHD oder in öffentlichen Gebäuden) stärker durchsetzt (4 konsistente Szenariopfade) als das Ausbleiben des Ausbaus (2 konsistente Szenariopfade).

Beim Einsatz erneuerbarer Energien in der KWK setzen sich die einzelnen Ausprägungen in jeweils zwei Szenariopfaden durch. Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass Biogas/Biomethan in Szenariopfaden erscheint, die im Sinne einer "Grünen KWK im Ruhrgebiet" möglicherweise weniger zielführend sind. In diesen Pfaden

<sup>5</sup> Berechnungen zu weiteren Szenariovarianten finden sich in Anhang 4

bleibt die Akzeptanz in der Bevölkerung für die Energiewende gleich oder sinkt sogar. Es kommt zudem nicht zum Ausbau der KWKK.

Für eine Priorisierung und um zu entscheiden, welche Szenariopfade für die weiteren Analysen einbezogen werden, können die Kennwerte Konsistenzwert und Wirkungstotale herangezogen werden. Der Konsistenzwert ist die wichtigste Kennzahl zur Bewertung der Szenarien einer Cross-Impact-Bilanzanalyse. Er gibt an, ob ein Szenario als inkonsistent (Konsistenzwert  $< 0$ ) oder konsistent (Konsistenzwert  $\geq 0$ ) zu bewerten ist. Inkonsistente Szenarien werden verworfen. Im vorliegenden Fall haben sechs Ausprägungskombinationen (= sechs Szenarien) einen Konsistenzwert  $\geq 0$ . Der Indikator kann daher nicht als Grundlage für eine Abstufung der Szenarien herangezogen werden.

Die Wirkungstotale wird in der Regel nur hinzugezogen, wenn sich aufgrund des Konsistenzwertes keine Priorisierung innerhalb des Sets konsistenter Szenarien erreichen lässt. Innerhalb einer solchen Szenario-Gruppe gibt die Wirkungsbilanz an, welches Szenario den höchsten Grad an "logischer Belastbarkeit" mit sich bringt.

Zur Berechnungsmethode von Konsistenzwert und Wirkungstotale vergleiche:

*Weimer-Jehle, W. (2014): Key figures used in the analysis of CIB scenarios. In: Cross-Impact Balance Analysis - Guideline no. 4. Online verfügbar unter:*

*[http://www.cross-impact.de/Ressourcen/Guideline\\_No\\_4.pdf](http://www.cross-impact.de/Ressourcen/Guideline_No_4.pdf)*

*zuletzt geprüft am 21.05.2015*

Der Blick auf das Szenario-Tableau zeigt, dass alle konsistenten Szenariopfade den selben Konsistenzwert aufweisen. Keines der Szenario ist stimmiger als die anderen. Es muss demnach die Wirkungstotale herangezogen werden, um eine Abstufung vornehmen zu können. Hier zeigt sich, dass die ersten vier Pfade nur marginal voneinander abweichen und dass sich ein deutlicher Abfall in der Wirkungstotalen bei den Szenariopfaden 5 und vor allem 6 ergibt. Diese Pfade sind demnach nicht so belastbar, wie die ersten Szenarien. Im Sinne der Zielsetzung „Grüne KWK im Ruhrgebiet“ sind sie zudem aus den genannten Gründen weniger erstrebenswert und bleiben daher in der weiteren Ableitung konkreter Handlungsempfehlungen unberücksichtigt.

Aus der Diskussion der Deskriptoren und ihrer Ausprägungen durch die Expertinnen und Experten während des CIB-Workshops und der Berechnungen zu konsistenten Ausprägungs-Kombinationen (Szenarien) lassen sich konkrete Handlungsempfehlungen für politische Entscheidungsträger ableiten. Es können wichtige Stellschrauben für die Ausgestaltung einer „Grünen KWK“ benannt werden. Auch die Notwendigkeit, einzelne Technologiebereiche miteinander zu verzahnen und gemeinsam strategisch zu entwickeln wird deutlich. Entsprechende Handlungsempfehlungen werden in Kapitel 2.4 präsentiert. Im Rahmen der Arbeiten des Teilprojekts wurde als abschließender Arbeitsschritt ein qualitativ-narratives Szenario im Stil eines fiktiven Interviews entworfen. Es beschreibt den Zielzustand der „Grünen KWK“, zeigt wesentliche Stellschrauben und Weichenstellungen für die Erreichung dieses Zielzu-

standes auf und gibt Hinweise zur zeitlichen Abfolge dieser Weichenstellungen<sup>6</sup>. Diese Form der Szenarioerarbeitung wurde gewählt, um kommunalen Entscheidungsträgern möglichst anschaulich und verständlich die strategischen Ergebnisse des Teilprojektes zu vermitteln.

### **1.3.2 Zentrale Ergebnisse - Zukunft der Wasserstoffwirtschaft**

Grundlage für die Diskussion der Stellschrauben (Deskriptoren) des Technologiebereichs waren, wie auch bei der thematischen Linie Kraft-Wärme-Kopplung, die Screening-Papiere aus der vorhergehenden Projektphase. Aus ihnen wurden die Deskriptoren und ihre Ausprägungen abgeleitet und detailliert beschrieben<sup>7</sup>. Das Vorgehen erfolgte analog zu den Arbeiten im Themenbereich KWK. Auch hier wurden die Hintergrundpapiere den Teilnehmerinnen und Teilnehmern des Workshops im Vorfeld zur Verfügung gestellt. Kommentierungen wurden ebenfalls eingearbeitet. Die folgende Tabelle zeigt die Deskriptoren und ihre Ausprägungen für die Cross-Impact-Bilanzanalyse des Wasserstoff-Workshops.

---

<sup>6</sup> vgl. Anhang 3

<sup>7</sup> Ausführliche Beschreibungen der Deskriptoren und ihrer Ausprägungen finden sich im Anhang 5

**Tabelle 4: Zukunft der Wasserstoffwirtschaft – Deskriptoren und Ausprägungen**

Deskriptor	Ausprägung
Regenerative Energieerzeugung in Deutschland	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Schwerpunkt Wind</li> <li>▪ Schwerpunkt Solar und Wind</li> <li>▪ Schwerpunkt REG-Stromimporte</li> </ul>
Zukünftiger Zentralisierungsgrad des Stromsystems	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ eher zentral</li> <li>▪ eher dezentral</li> </ul>
Zukunft des Industriestandort Ruhrgebiet	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Industrielles Herz Deutschlands</li> <li>▪ De-Industrialisierung</li> <li>▪ Green Growth – Grey De-Growth</li> </ul>
Entwicklung der H <sub>2</sub> Infrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Überregionale H<sub>2</sub>-Netze</li> <li>▪ Regionale H<sub>2</sub>-Netze</li> <li>▪ Dezentrale Erzeugung und Verwendung von H<sub>2</sub></li> </ul>
Mittelfristige Kristallisationskern für die mittelfristige Wasserstoffindustrie	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Schwerpunkt Verkehr</li> <li>▪ Schwerpunkt Rückverstromung</li> <li>▪ Schwerpunkt REG H<sub>2</sub> in der Chemieindustrie</li> </ul>
Langfristiges Zukunftsbild Wasserstoff	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Schwerpunkt mobil und stationär beim Endverbrauch</li> <li>▪ Schwerpunkt Reduktionsmittel</li> <li>▪ Schwerpunkt Synfuels</li> </ul>
Künftige Rolle kommunaler Akteure in der Wasserstoffwirtschaft	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Starke Rolle als H<sub>2</sub>-Promoter</li> <li>▪ Eher passive Rolle</li> </ul>

Zum Workshop wurden neben Vertreterinnen und Vertreter aus Wissenschaft, Wirtschaft und Fachverbänden auch Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter aus der kommunalen Verwaltung eingeladen. Insbesondere die Kompetenzen und Perspektiven aus Wirtschafts- und Umweltressorts waren für Fragen der zukünftigen Ausgestaltung der Wasserstoffwirtschaft von Interesse. Zusagen für die Teilnahme am Workshop wurden leider in zwei Fällen sehr kurzfristig zurückgezogen, weshalb diese Stakeholder-Gruppe auf der Veranstaltung nicht vertreten war. Hieraus ergaben sich zwei unmittelbare Konsequenzen.

Zum einen wurde während des Workshops entschieden, den Deskriptor „Künftige Rolle kommunaler Akteure in der Wasserstoffwirtschaft“ aus der Betrachtung herauszunehmen. Diese Entscheidung lässt sich damit begründen, dass insbesondere die Auswirkung der anderen Deskriptoren auf die Rolle bzw. das Verhalten der kommunalen Akteure nur durch diese Gruppe selbst beurteilt werden kann.

Zum anderen wurde aufgrund des Diskussionsverlaufs während der Veranstaltung und den resultierenden Ergebnissen der CIB entschieden, aus diesen Erkenntnissen kein Handlungsszenario für kommunale Akteure abzuleiten. Der Verzerrungseffekt in den Ergebnissen, durch die sehr einseitigen, von den Wirtschaftsakteuren dominierten Diskussionslinien, hätte nur durch weitere empirische Analysen (z. B. Tiefeninterviews mit kommunalen Vertretern) aufgefangen werden können. Diese zusätzlichen Analysen war im Projektrahmen nicht umsetzbar. Die durchgeführte CIB kann daher als eine Art Pre-Test für weitere Forschungsarbeiten angesehen werden.

Die zentralen Ergebnisse, die in Form von Thesen am Ende dieses Abschnittes festgehalten werden, sind vor diesem Hintergrund zu sehen. Sie stellen dennoch eine



wichtige Grundlage für vertiefende Analysen dar und zeigen kommunalen Vertretern mögliche Industriestrategien auf, zu denen sich die Kommunen verhalten müssen.

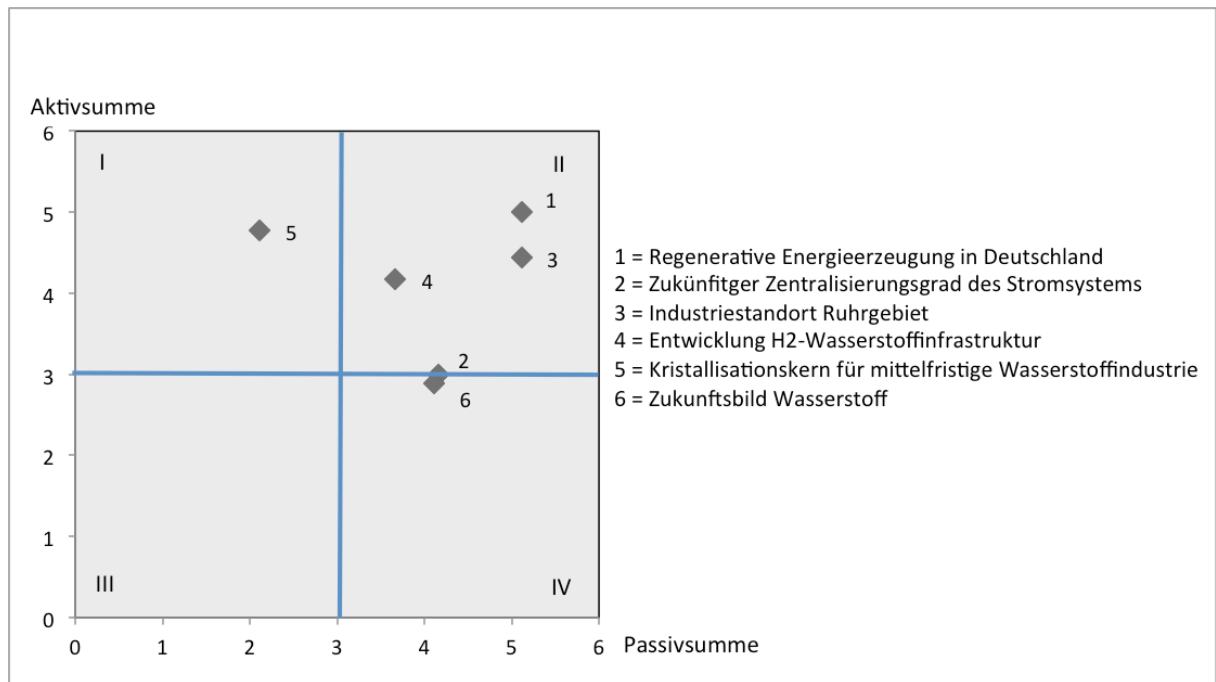
Die folgende Abbildung zeigt die im Rahmen des Workshops ausgefüllte Cross-Impact-Matrix mit den Urteilen des Teilnehmerkreises.

Deskriptor	1 Regenerative Energieerzeugung in Deutschland			2 Zukünftiger Zentralisierungsgrad des Stromsystems		3 Industriestandort Ruhrgebiet			4 Entwicklung H <sub>2</sub> -Infrastruktur			5 Kristallisationskern für die mittelfristige Wasserstoffindustrie			6 Zukunftsbild Wasserstoff		
	1a Schwerpunkt Wind (Deutschland)	1b Schwerpunkt Solar und Wind (Deutschland)	1c Schwerpunkt REG-Stromimporte	2a eher zentral	2b eher dezentral	3a Industrielles Herz Deutschlands	3b De-industrialisierung	3c Green Growth - Grey De-Growth	4a Überregionale H <sub>2</sub> -Netze	4b Regionale H <sub>2</sub> -Netze	4c Dezentrale Erzeugung und Verwendung	5a Schwerpunkt Verkehr	5b Schwerpunkt Rückverstromung	5c Schwerpunkt REG H <sub>2</sub> in der Chemie	6a Mobil und stationär beim Endverbrauch	6b Reduktionsmittel	6c Synfuels
<b>Ausprägung</b>																	
<b>1</b> Regenerative Energieerzeugung in Deutschland	1a Schwerpunkt Wind (Deutschland)	1b Schwerpunkt Solar und Wind (Deutschland)	1c Schwerpunkt REG-Stromimporte	2	-2	-2	2	2	2	1	0	0	0	2	0	0	1
<b>2</b> Zukünftiger Zentralisierungsgrad des Stromsystems	2a eher zentral	2b eher dezentral		2	-2	2	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>3</b> Industriestandort Ruhrgebiet	3a Industrielles Herz Deutschlands	3b De-industrialisierung	3c Green Growth - Grey De-Growth	1	-1				2	1	0	1	1	1	1	1	1
<b>4</b> Entwicklung H <sub>2</sub> -Infrastruktur	4a Überregionale H <sub>2</sub> -Netze	4b Regionale H <sub>2</sub> -Netze	4c Dezentrale Erzeugung und Verwendung von H <sub>2</sub>	0	-1	1	1	2	-2	-1	0	0	-1	-1	-1	0	0
<b>5</b> Kristallisationskern für die mittelfristige Wasserstoffindustrie	5a Schwerpunkt Verkehr	5b Schwerpunkt Rückverstromung	5c Schwerpunkt REG H <sub>2</sub> in der Chemie	2	0	1	1	2	1	0	2	1	1	1	2	1	1
<b>6</b> Zukunftsbild Wasserstoff	6a Schwerpunkt: Mobil und stationär beim Endverbrauch	6b Schwerpunkt: Reduktionsmittel	6c Schwerpunkt: Synfuels	0	-1	1	1	0	0	1	1	0	0	3	0	0	0

Abbildung 4: Zukunft der Wasserstoffwirtschaft – Ergebnisse des CIB-Workshops

Die Bewertungsskala reicht von -3 (stark hemmender Einfluss) bis +3 (stark fördernder Einfluss). Die eingetragenen Werte wurden in das Analyse-Tool der Universität Stuttgart überführt. Die Berechnungsergebnisse werden in den folgenden Abschnitten dargestellt.

Zur Interpretation der Cross-Impact-Ergebnisse ist auch hier der Blick auf die Aktiv-/Passiv-Summen der einzelnen Deskriptoren aufschlussreich<sup>8</sup>.



**Abbildung 5: Zukunft der Wasserstoffwirtschaft – Aktiv- und Passivsummen der CIB**

Auf Basis der Experteneinschätzungen lassen sich erste Aussagen zur Dynamik der einzelnen Deskriptoren ableiten<sup>9</sup>:

<sup>8</sup> methodische Erläuterungen siehe Abschnitt 1.3.1

<sup>9</sup> eine ausführliche Dokumentation der Expertenaussagen findet sich in Anhang 6

- Die **regenerative Stromerzeugung** in Deutschland hat eine hohe Aktiv- und Passivsumme. Es handelt sich um eine Systemgröße, die in starken Wechselbeziehungen zu den anderen Stellgrößen steht. Gleiches gilt für den Deskriptor **Industriestandort Ruhrgebiet** und etwas abgeschwächt für die **Entwicklung der Wasserstoff-Infrastruktur**. In der Konsequenz heißt das, dass Strategien und Maßnahmen, die auf Veränderungen einer dieser Deskriptoren abzielen, eine hohe Dynamik im Gesamtsystem entfalten.
- Der **Zentralisierungsgrad des Stromsystems** und die langfristigen **Einsatzgebiete des Wasserstoffs** werden eher von anderen Systemgrößen beeinflusst, als dass sie selber stark auf andere Deskriptoren wirken. Dies scheint, insbesondere mit Blick auf die **langfristige Entwicklung der Einsatzgebiete**, stimmig.
- Die **Kristallisationskerne** sind stärker aktiv als passiv, was ebenfalls der ihnen zugesprochenen Rolle entspricht.

Auf Grundlage der Expertendiskussion und der daraus resultierenden Bewertungen zu den Wechselwirkungen der einzelnen Deskriptoren und ihren Ausprägungen ergibt sich ein Set von sechs Szenarien – basierend auf den Berechnungen der Wirkungsbilanzen (vgl. Weimer-Jehle 2014).

**Tabelle 5: Zukunft der Wasserstoffwirtschaft – CIB Szenario-Tableau**

Szenario	1	2	3	4	5	6
Konsistenzwert	1	0	0	0	0	0
Wirkungstotale	32	16	17	13	14	21
Deskriptor	Ausprägungen					
Regenerative Energieerzeugung in Deutschland	Schwerpunkt Wind (Deutschland)	Schwerpunkt Solar und Wind (Deutschland)				Schwerpunkt Wind (Deutschland)
Zukünftiger Zentralisierungsgrad des Stromsystems	Eher zentrales System	Eher dezentrales System				Eher zentrales System
Industriestandort Ruhrgebiet	Industrielles Herz Deutschlands	Green Growth - Grey Degrowth	Fortgesetzte De-Industrialisierung			Green Growth - Grey Degrowth
Entwicklung der Wasserstoff-Infrastruktur	Überregionale H2-Netze		Regionale H2-Netze	Dezentrale H2-Erzeugung & Verwendung	Überregionale H2-Netze	
Kristallisationskern für die mittelfristige Wasserstoff-Industrie	Schwerpunkt Verkehr			Schwerpunkt Chemieindustrie		
Zukunftsbild Wasserstoff	Schwerpunkt Stationäre & mobile Anwendung beim privaten Endverbrauch					Schwerpunkt Synfuels

Das Szenario-Tableau zeigt ein sehr heterogenes Bild. Auf Basis der Bewertungen des Expertengremiums lassen sich sechs konsistente Ausprägungskombinationen (Szenarien) errechnen. Für eine Priorisierung und um zu entscheiden, welche Szenariopfade für weitere Analysen einbezogen werden, können die Kennwerte Konsistenzwert und Wirkungstotale herangezogen werden.

Der Konsistenzwert ist die wichtigste Kennzahl zur Bewertung der Szenarien einer Cross-Impact-Bilanzanalyse. Er gibt an, ob ein Szenario als inkonsistent (Konsistenzwert < 0) oder konsistent (Konsistenzwert ≥ 0) zu bewerten ist. Inkonsistente Szenarien werden verworfen. Die Wirkungstotale wird in der Regel nur hinzugezogen, wenn sich aufgrund des Konsistenzwertes keine Priorisierung innerhalb des Sets konsistenter Szenarien erreichen lässt. Innerhalb einer solchen Szenario-Gruppe gibt die Wirkungsbilanz an, welches Szenario den höchsten Grad an "logischer Belastbarkeit" mit sich bringt.

Zur Berechnungsmethode von Konsistenzwert und Wirkungstotale vergleiche:

Weimer-Jehle, W. (2014): *Key figures used in the analysis of CIB scenarios. In: Cross-Impact Balance Analysis - Guideline no. 4. Online verfügbar unter:*

[http://www.cross-impact.de/Ressourcen/Guideline\\_No\\_4.pdf](http://www.cross-impact.de/Ressourcen/Guideline_No_4.pdf)

Der Blick auf das Szenario-Tableau zeigt, dass sich das Szenario 1 mit einem Konsistenzwert von "1" von den anderen Szenarien abhebt. Dieses Szenario ist deutlich belastbarer als die anderen Pfade und stellt daher die Grundlage für die weiteren Analysen dar. Von den übrigen fünf Szenariopfaden hebt sich keiner über die Wirkungstotale in der Art ab, dass es als alternativer Szenariopfad gesondert aufgegriffen werden müsste.

Unter Berücksichtigung der bereits thematisierten Zusammensetzung des Experten-Panels lassen sich einige erste Erkenntnisse aus der Analyse des Szenario-Tableaus ziehen:

- Die Deskriptoren-Ausprägungen "Regenerative Energieerzeugung in Deutschland: **REG-Stromimport**", "Mittelfristiger Kristallisationskern: **Rückverstromung**" und "Zukunftsbild: **Einsatz als Reduktionsmittel**" setzen sich in keinem der Szenarien durch.
- Die Kombination aus "Regenerative Energieerzeugung in Deutschland: **Schwerpunkt Solar und Wind**" und "Zentralitätsgrad des Stromsystems: **Eher dezentrales System**" setzt sich in der Mehrheit der Szenarien durch – allerdings handelt es sich um Szenario-Pfade, die aufgrund des Konsistenzwertes und der Wirkungstotalen in der Summe weniger belastbar sind.
- Die Deskriptor-Ausprägung "Industriestandort Ruhrgebiet: **Industrielles Herz Deutschlands**" setzt sich nur im Szenario-Pfad mit dem Konsistenzwert "1" durch. Das bedeutet, dass sie nur in Verbindung mit den anderen Ausprägungen dieses speziellen ersten Szenariopfades stimmig und interpretierbar ist. Sollen Strategien entwickelt werden, die darauf abzielen, das Ruhrgebiet als industrielles Herz Deutschlands zu stärken, müssten, der Einschätzung der Expertinnen und Experten folgend, alle Rahmenbedingungen (im Sinne der übrigen Deskriptorenausprägungen) so eingestellt werden, wie im Szenariopfad 1 dargestellt.
- Mit Blick auf die Entwicklung der Wasserstoff-Infrastruktur ergibt sich ein sehr heterogenes Bild. Es ist allerdings erkennbar, dass die Kombination von **REG-Stromerzeugung aus Wind (on-/off-shore)** und einem **eher zentralen Stromsystem** sich gemeinsam mit der Ausprägung "**überregionale H<sub>2</sub>-Netze**" durchsetzt. Die zentralen Strukturen scheinen sich gegenseitig zu bedingen.
- Der **Verkehrssektor** und der Einsatz von regenerativem Wasserstoff in der **Chemieindustrie** setzen sich als mittelfristige Kristallisationskerne einer zukünftigen Wasserstoffwirtschaft durch. Beachtenswert ist hierbei die Einschätzung des Expertengremiums, dass vom mittelfristigen Einsatz in der Chemieindustrie ein hemmender Einfluss auf den langfristigen Einsatzbereich "**stationäre**

**und mobile Anwendung beim Endverbraucher"** ausgeht<sup>10</sup>. Letzterer setzt sich jedoch in fünf von sechs Szenariopfadern durch. Diese Ausprägung scheint die höchste Konsistenz zu den übrigen Deskriptorenausprägungen zu haben.

Diese Kernaussagen sind vor dem Hintergrund des einseitig besetzten Experten-Panels zu interpretieren. Ein Handlungsszenario für kommunale Entscheidungsträger wird daher nicht abgeleitet. Vielmehr lassen sich Ansatzpunkte für notwendige Vertiefungsarbeiten identifizieren. Diese Punkte werden im Abschnitt 1.4.3 benannt.

## 1.4 Zentrale Schlussfolgerungen und strategische Empfehlungen

### 1.4.1 Perspektiven für Forschung und Methode

Die CIB ist eine diskursiv angelegte Methode, mit der sich qualitative Szenarien entwickeln lassen. Ihre Stärke liegt darin, dass sie inter- und transdisziplinär Akteure zusammenführt und sie befähigt, trotz unterschiedlicher Perspektiven und thematischer Zugänge, ein gemeinsames konsistentes Zukunftsbild zu entwerfen. Die Methode ermöglicht weiterhin, Themen und ihre Interdependenzen in dieser Zukunftsbildentwicklung zu berücksichtigen, die in quantitative Modellierungsarbeiten nur schwer zu integrieren sind.

Für die Analyse des komplexen Systems „Kraft-Wärme-Kopplung“ und des weit in die Zukunft reichenden Themas „Wasserstoffwirtschaft“ ist die Methode daher prädestiniert. Sie ersetzt jedoch keine technischen Potenzialanalysen oder quantitative Szenarioarbeit (beispielsweise bei der Erarbeitung von quartiersspezifischen Wärmerversorgungskonzepten). Vielmehr liefern ihre Ergebnisse den Ausgangspunkt für strategische Überlegungen und Weichenstellungen.

Die Erfahrungen mit dem Einsatz der Methode im Rahmen des Teilprojektes waren sehr unterschiedlich. Während das Experten-Panel des KWK-Workshops sehr positiv und ergebnisoffen agierte, wurde der Methode seitens der Teilnehmerinnen und Teilnehmer des Wasserstoffworkshops eine stärkere Skepsis entgegen gebracht. Deskriptoren-Ausprägungen wurden während des Workshops, trotz vorheriger Abstimmungsschleife, grundsätzlich in Frage gestellt. Zudem verliefen die Diskussionen aufgrund der kurzfristigen Absage einer Stakeholdergruppe an einigen Stellen sehr einseitig. Es wurde daher davon Abstand genommen, aus diesen Ergebnissen ein konkretes Handlungsszenario abzuleiten. Vielmehr wurden Thesen generiert, die in weiteren Forschungsarbeiten geprüft und vertiefend analysiert werden können. Die Cross-Impact-Analyse im Bereich Wasserstoffwirtschaft hat eher eine Pre-Test-Charakter,

Zur Qualitätssicherung wurde ein Fokusgruppengespräch mit Kolleginnen und Kollegen des Zentrums für Interdisziplinäre Risiko- und Innovationsforschung (ZIRIUS)

---

<sup>10</sup> vgl. Cross-Impact Matrix zum Wasserstoff-Workshop (Zelle 5c -> 6a)

an der Universität Stuttgart durchgeführt, um das methodische Vorgehen und die Ergebnisse zu reflektieren.

Es wurde festgehalten, dass die Anwendung der CIB im konkreten Projektkontext wertvolle Erkenntnisse generierte und einen Beitrag dazu leistete, die Methode hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit in Forschungsprojekten weiterzuentwickeln. Intensiv wurde diskutiert, wie es gelingen kann, die Methode weniger zeit- und personalintensiv einzusetzen. Tiefeninterviews mit ausgewählten Stakeholdern zu Wechselwirkungen in einzelnen Themenbereichen könnten anstelle des gemeinsamen Workshops eingesetzt werden. Der Diskursive Charakter der Methode ginge dadurch jedoch verloren.

Grundsätzlich muss festgestellt werden, dass qualitative Methoden, wie die CIB, quantitative Arbeiten nicht ersetzen kann. CIB-Workshops liefern Ansatzpunkte zu Ableitung von Strategien, sie vermitteln anschaulich mögliche zukünftige Entwicklungen und sind aufgrund ihrer leichten Zugänglichkeit auch für Laien anwendbar. Idealerweise werden sie ergänzt durch quantitatives Datenmaterial – oder liefern den Input zur Entwicklung der Rahmenbedingungen von quantitativen Szenariostudien. bzw. Modellierungen.

#### 1.4.2 Perspektiven für Akteure / für die Region – Grüne KWK

Auf Basis der analytischen Arbeiten mit den Akteuren aus der Region unter Anwendung der Cross-Impact-Bilanzanalyse lassen sich vier Stellschrauben identifizieren, die zur Ausgestaltung der KWK im Ruhrgebiet Bedeutung erlangen.

##### **Stellschraube 1: Verstärkter Einsatz Erneuerbarer Energien**

Der Einsatz von Erneuerbaren Energien in der KWK bzw. in KWK-Wärmenetzen entfaltet eine verstärkte Dynamik in Richtung Effizienz und Klimaschutz. Für kommunale Akteurinnen und Akteure (Energie- und Abfallwirtschaft) erschließen sich hierüber neue Geschäfts- und Handlungsfelder. In Deutschland wäre die Integration von Solarthermie in KWK-Wärmenetze ein innovatives Konzept. Zahlreiche derartige Fernwärme-Projekte mit großen Solarkollektorfeldern sind beispielsweise in Dänemark bereits umgesetzt. Haldenflächen und Industriebrachen bieten im Ruhrgebiet das entsprechende Platzangebot. Genau genommen handelt es sich hierbei nicht um eine direkte Integration Erneuerbarer Energieträger in die Erzeugung, sondern um eine zusätzliche regenerative Einspeisung in KWK-Wärmenetze. Diese Einspeisung erfolgt dann, wenn KWK-Kraftwerke wegen niedriger Börsenstrompreise nicht wirtschaftlich betrieben werden können. So verdrängt die solare Wärme keine KWK-Abwärme, sondern teuren Brennstoff aus Spitzenlastkesseln. Entsprechende (Flächen-)Potenzialanalysen sind ein erster wichtiger Schritt in die Umsetzung. Das Klimaschutzteilkonzept des Regionalverbandes Ruhr stellt hier einen wichtigen Bezugspunkt dar. Darüber hinaus könnte insbesondere die Frei- und Brachflächenanalyse für Pilotprojekte im Ruhrgebiet helfen, diese Technologie weiter voranzutreiben.



Gleiches gilt für den Einsatz von Tiefengeothermie in der KWK. Die theoretischen Potenziale, insbesondere in kristallinen Gesteinen, sind sehr groß – auch im nördlichen Ruhrgebiet herrschen in entsprechender Tiefe ausreichende Temperaturniveaus. Aufgrund des fachlichen Know-hows in der Region durch den Bergbau und die geothermische Forschung könnte sich die Nutzung dieser Energiequelle über die Erprobung in Pilotprojekten etablieren. Auch hier gilt, dass Potenzialstudien notwendig sind, entsprechende (quartierspezifische) Versorgungskonzepte zu entwickeln. Langfristig hat Wärme aus Tiefengeothermie insbesondere das Potenzial, Energie für industrielle Prozesswärme auf höherem Temperaturniveau ( $> 100^{\circ}\text{C}$ ) bereitzustellen.

## Stellschraube 2: Begleitende Technologiestrategien

Eine konsistente KWK-Strategie muss in einem erweiterten technologischen Kontext gesehen und vor dem Hintergrund prägender Mega-Trends (unter anderem des demografischen Wandels, der Digitalisierung, des Klimawandels) entwickelt werden. Das gilt insbesondere beim Aufbau dezentraler KWK-Konzepte, zum Beispiel zur Versorgung von Wohnquartieren.

Ein zentraler Strategiebaustein ist in diesem Zusammenhang die Verknüpfung von dezentralen KWK-Anlagen zu virtuellen Kraftwerken in sogenannten Smart Grids. Hierdurch kann die KWK flexibler eingesetzt und gesteuert werden. Für innovative, nicht mehr rein wärmegeführte Einsatzweisen von KWK-Anlagen sind sowohl Informationen über die Anlage selbst als auch über die Netze erforderlich. Voraussetzungen dafür sind zum einen intelligente, flexible KWK-Anlagen und zum anderen intelligente (Verteil-)Netze.

Entscheidungsträgerinnen und -träger auf kommunaler Ebene sollten dabei zwei Aspekte in den Blick nehmen:

- Zum einen gehört eine hinreichende informations- und automatisierungstechnische Ausstattung des Verteilnetzes zur zentralen technischen Voraussetzung insbesondere für KWK in virtuellen Kraftwerken. Sie ist darüber hinaus auch vorteilhaft für den weiteren Ausbau und die Nutzung von Erneuerbaren Energien in KWK-Anlagen. Die unregelmäßige Einspeisung Erneuerbarer Energien (EE) führt in Gebieten mit hohen EE-Stromanteilen bereits temporär zu Rückspeisungen in die oberen Netzebenen und kann zu Betriebsmittelüberlastungen und Spannungsproblemen bis hin zum Netzausfall führen. Lösungsansätze liegen in mess- und informationstechnischer Ausrüstung. Weitere Optimierungsstufen bilden der Aufbau und die aktive Nutzung von regelbaren Ortsnetztransformatoren (RONT) und regelbaren blindleistungsfähigen Wechselrichtern von EE-/Fotovoltaik-Anlagen sowie ein netz- bzw. systemorientiertes Einspeisemanagement.
- Zum anderen wird ein optimiertes Netz- und Energiemanagement der Energieerzeugung und -einspeisung benötigt. Hinter den Erzeugungsanlagen stehen verschiedene Akteurinnen und Akteure (Endkundinnen und Endkunden, Anlagenbetreiberinnen und -betreiber bzw. Direktvermarkterinnen und -vermarkter), die

das Netz nicht mehr nur passiv für den eigenen Strombezug nutzen, sondern sich mit ihren Anlagen auch aktiv an einem der Strommärkte oder zur Versorgung von Dritten beteiligen. Hier ist ein Managementsystem für den stabilen Netzbetrieb erforderlich.

Neben der Ausstattung mit Informations- und Automatisierungstechnologie sind weitere infrastrukturelle Maßnahmen erforderlich, um ein solches virtuelles Kraftwerk zu ermöglichen. Entscheidend sind vor allem ausreichende Wärmespeicherkapazitäten.

Ein weiterer Baustein eines innovativen Energiesystems sind die sogenannten „Low-Ex“-Systeme. Hiermit werden Heiz- und Kühlsysteme bezeichnet, die so ausgelegt sind, dass sie mit Energiequellen auf einem niedrigen Energieniveau versorgt werden können. Je niedriger die Netztemperaturen sind, desto niedriger fallen die Wärmeverteilungsverluste aus und desto höher sind die Potenziale zur Einspeisung von EE-Wärme auf Niedertemperatur-Niveau mittels Solarthermie, oberflächennaher Geothermie und Umgebungswärme. Im Ruhrgebiet stehen zudem für die Versorgung von Low-Ex-Systemen große bisher ungenutzte Potenziale an Niedertemperatur-Abwärme aus Industrieprozessen und kommunalen Abwässern (mit Hilfe von Wärmepumpen) zur Verfügung. Solche Systeme erlangen dadurch eine wachsende Bedeutung, dass in Zukunft die Wärmedichten in Neubaugebieten und sukzessive auch im Bestand abnehmen und somit die klassische Erschließung der Fern- und Nahwärme auf relativ hohem Temperatur- (und Exergie-) Niveau zunehmend unwirtschaftlich wird. Handlungsoptionen ergeben sich in der Region, weil die Rücklauf-temperatur in Fernwärmenetzen in der Regel für Niedrigenergiehäuser ausreichend ist, um die Beheizung zu gewährleisten. Eine quartiersweise Rücklaufeinbindung ermöglicht zum einen eine weitergehende Ausnutzung der vorhandenen Wärme. Zum anderen können Kraftwerksbetreiber durch die Absenkung der Rücklauf-temperatur höhere elektrische Wirkungsgrade in Dampfkraftwerken realisieren und zusätzliche Wärmeabnahmekunden gewinnen, ohne die Heizleistung an sich zu erhöhen. Für dieses Strategieelement bedarf es einer grundsätzlichen strategischen Neuausrichtung, um die bisherigen zentralen Wärmenetze mit ihrem relativ hohen Temperaturniveau auf eher dezentrale Netze mit möglichst niedrigem Temperaturniveau - bis hin zu Low-Ex-Netzen - zu transformieren.

Ein drittes technologisches Element der zukünftigen KWK ist die Kombination mit Kälteerzeugung – die sogenannte Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung. Ein Problem der wärmegeführten KWK sind die Wärmeüberschüsse im Sommer. Eine vielversprechende Möglichkeit, das sommerliche Lasttal zu füllen, bietet die Erzeugung von Kälte aus KWK-Abwärme mithilfe von Absorptions- oder Adsorptionskältemaschinen. Die Kälte kann entweder dezentral über ein Blockheizkraftwerk (BHKW) und eine Kälteanlage im bzw. nahe am Gebäude erzeugt werden oder aber über eine zentrale Anlage in ein Fernkältenetz eingespeist werden.

Gleichzeitig bergen der Kältebedarf und der Energieeinsatz für die Kälteerzeugung ein hohes Einsparpotenzial beim Energieverbrauch und den Energiekosten. Die Käl-

teenergieeffizienz wird aufgrund des zunehmenden Kältebedarfs durch steigende Komfortansprüche, vermehrter EDV-Technik (Kühlung der Server) und die Folgen des Klimawandels in Zukunft an Bedeutung gewinnen. Die Praxis zeigt, dass Betreiber von Kälteanlagen häufig wenig über den meist elektrisch bereitgestellten Energieverbrauch und dessen Einsparmöglichkeiten wissen. Gleichzeitig ist dieses Potenzial als Handlungsfeld des kommunalen und regionalen Klimaschutzes und der Wirtschaftsförderung relativ unbekannt. Gründe darin liegen unter anderem in der fehlenden Datenlage über den Kälteverbrauch und die Kälteanwender. Die Erschließung dieses Themas kann über Netzwerkarbeit vorangetrieben werden. Kälteproduzenten und Nachfrager sollten zusammengeführt werden – das Teilprojekt „Kältenetzwerk Ruhr“ des hier vorgestellten Rahmenprogramms ist hierfür ein wichtiger Baustein.

Die aufgezeigten Technologiestrategien bzw. Versorgungskonzepte stellen hervorragende Tätigkeitsfelder für kommunale Energiedienstleister dar. Sie sind die Akteurinnen und Akteure vor Ort mit entsprechender Ortskenntnis und Nähe zum Endverbraucher. Die Ausarbeitung entsprechender (quartiersspezifischer) Handlungskonzepte durch die kommunalen Akteurinnen und Akteure ist ein wichtiger Baustein für die „grüne“ KWK im Ruhrgebiet.

### **Stellschraube 3: Quartierspezifische Ansätze**

Die Wärmeversorgung des Ruhrgebietes ist in starkem Maße von in KWK erzeugter und zentral eingespeister Fernwärme geprägt. Effizienz- und Wärmedämmmaßnahmen im Bereich Gebäude und Prozesswärme führen perspektivisch zur Abnahme des Wärmebedarfs. Durch die Erschließung wirtschaftlicher Fernwärmepotenziale durch Netzverdichtung und -erweiterung kann dieser abnehmende Wärmebedarf kompensiert werden und somit zur wirtschaftlichen Tragfähigkeit der Fernwärme insgesamt beitragen. Aktuelle Analysen weisen in einem Ausbauszenario für einige Städte in der Region Erweiterungspotenziale aus (BET 2013)<sup>11</sup>. Auch im Zusammenschluss der großen Fernwärmeinseln bzw. Fernwärmeschienen liegt ein Ausbau- bzw. Optimierungspotenzial.

Demgegenüber könnten sich auch kleinskaligere Lösungen (sowohl in Bezug auf die Erzeugungsanlage als auch mit Blick auf die Netzgröße) in Zukunft verstärkt durchsetzen. Das kann zum einen die Versorgung von Quartieren sein – sowohl im Neubau als auch im Gebäudebestand. Im Ruhrgebiet sind hier vor allem Gebiete von Interesse, die heute noch großflächig mit Nachtspeicherheizungen versorgt werden oder die eine hohe Zahl an denkmalgeschützten Gebäuden bzw. Gebäuden mit erhaltenswerter Fassade aufweisen. Klimaschutzstrategien auf Basis einer netzgebundenen Wärmeversorgung könnten hier ein wichtiges Tätigkeitsfeld kommunaler Akteurinnen und Akteure darstellen. Zum anderen stellt auch die Erschließung größerer Gebäudekomplexe (Objektversorgung) bzw. von Ein-/Mehrfamilienhäusern mit kleinen Anlagen bis hin zur Mikro-KWK eine Versorgungsvariante dar.

---

<sup>11</sup> Büro für Energiewirtschaft und technische Planung GmbH (BET) (2013): Perspektiven der Fernwärme im Ruhrgebiet bis 2050. Online verfügbar unter: <http://www.bet-aachen.de/service/studien-gutachten/detail-studien/artikel/gutachten-fernwaerme-im-ruhrgebiet-bis-2050.html>

## **Stellschraube 4: Anpassung der Rahmenbedingungen**

Die zuvor beschriebenen Stellschrauben sind in einem Kontext grundlegender Die zuvor beschriebenen Stellschrauben sind im Kontext grundlegender Anpassungsbedarfe der energiepolitischen und gesetzgeberischen Rahmenbedingungen zu sehen.

Die derzeitigen politischen und gesetzlichen Rahmenbedingungen, insbesondere auch aktuelle Novellierungen, bringen einen großen bürokratischen Aufwand für Planer, potenzielle Investoren und Betreiber dezentraler KWK-Anlagen mit sich – beispielsweise sei hier auf die Ausschreibungspflicht bei neuen Anlagen zwischen 1 und 50 MW<sub>el</sub> verwiesen. Zudem führen z.T. komplexe Fördermechanismen und ihre fortlaufenden Anpassungen (Stop-and-go) zu Investitionsunsicherheiten. Hier sind Vereinfachungen und Verstetigungen erforderlich, um Anreize für Investitionen zu schaffen. Gleichzeitig sollten ordnungsrechtliche und fiskalpolitische Regelungen darauf hinwirken, Effizienzmaßnahmen auch tatsächlich umzusetzen. Beispiele hierfür gibt es bei den europäischen Nachbarn. In Dänemark richtet sich die Besteuerung fossiler Energieträger nach ihrer CO<sub>2</sub>-Intensität – mit entsprechenden Auswirkungen auf die Energiekosten. Zudem gibt es dort seit 2013 ein Verbot der Installation von Gas- und Ölheizungen im Neubau und seit 2016 auch im Bestand, sofern das zu versorgende Gebäude in einem Wärmenetzgebiet liegt. Solange bei der Umsetzung der Effizienz auf den guten Willen der Anlagenbetreiber und Energieverbraucher gesetzt wird, werden sich keine deutlichen Fortschritte abzeichnen.

Diese Rahmenbedingungen liegen nicht im unmittelbaren Einfluss lokaler und regionaler Entscheidungsträger. Ein konsistentes Vorgehen durch Regional-, Landes und Bundespolitik ist hier dringend erforderlich.

### **1.4.3 Konkrete Empfehlungen an kommunale und regionale Entscheidungsträgerinnen und -träger**

1. Aufbereitung der kommunalen Potenziale Erneuerbarer Energien für den Einsatz in KWK bzw. zur Einspeisung in Wärmenetze. Hierbei liegt der Fokus besonders auf Energiequellen, die bisher weniger in den Blick genommen wurden – zum Beispiel Solarthermie auf Freiflächen, die Nutzung industrieller und kommunaler Abwärme oder die Nutzung von Grubenwasser aus stillgelegten Bergwerken als regenerative Wärmequelle.
2. Einbettung der KWK-Strategie in eine übergeordnete Technologiestrategie, um angrenzende Technologiefelder adäquat zu berücksichtigen. Hierzu gehört beispielsweise der Aufbau von Smart Grids, um dezentrale KWK-Anlagen effizient steuern zu können. Ebenso muss die KWK-Strategie flankiert werden vom Aufbau entsprechender Strom- und Wärmespeicher. Als lokale Besonderheit ist im Ruhrgebiet die Berücksichtigung bestehender Wärmenetze von großer Bedeutung.
3. Entwicklung quartierspezifischer Wärmeversorgungs-Strategien zur Entwicklung der KWK-Potenziale, die bauliche und energieinfrastrukturelle Besonderheiten berücksichtigt und die relevanten Akteure zusammenführt. Zu diesen Akteuren gehören neben kommunalen Vertreterinnen und Vertretern die örtlichen Ener-

gieversorger, Wohnbaugesellschaften, Gebäudeeigentümer und Technologieentwickler.

4. Entwicklung einer Strategie zur Konversion von Hochtemperatur-Wärmenetzen zu Systemen mit möglichst niedrigem Temperaturniveau – bis hin zu Low-Ex-Netzen, um die Wärmeverluste zu reduzieren, den Einsatz kostengünstiger Materialien (Kunststoffrohre) und die Integration CO<sub>2</sub>-armer entsprechender Wärmequellen (Abwärme, Solarthermie, Tiefengeothermie, Grubenwasser ...) zu ermöglichen.

#### **1.4.4 Perspektiven für Akteure / für die Region – Zukunft der Wasserstoffwirtschaft**

Die Expertendiskussion während des Cross-Impact-Workshops hat gezeigt, dass die Zukunft der Wasserstoffwirtschaft heute noch in vielen Bereichen schwer abzuschätzen ist. Die Diskussionen wurden teilweise kontrovers geführt. Häufig wurden bei der Betrachtung einzelner Wechselwirkungen gegensätzliche Argumentationslinien entwickelt.

Darüber hinaus werden viele Weichenstellungen, die diese Zukunft in der konkreten Region Ruhrgebiet ausmachen, nicht in der Region selbst eingeschlagen, sondern auf Bundesebene oder in den Unternehmen getroffen – ohne dass diese durch die Akteure vor Ort zu beeinflussen wären. Die Diskussionen während des Workshops zu den Themen „Zukunft der regenerativen Stromerzeugung“, „Ausbau überregionaler Wasserstoff-Infrastrukturen“ oder „Zentralitätsgrad der Stromerzeugung“ verdeutlichten dies. Dennoch lassen sich zu zwei Bereichen wichtige Erkenntnisse aus dem Prozess ziehen. Zum einen wird an einigen Stellen erkennbar, wie bestimmte Entwicklungen die Rolle kommunaler Akteure tangieren. Zum anderen lässt sich Forschungsbedarf für vertiefende Analysen ableiten.

#### **Mögliche Handlungsfelder für kommunale Akteure**

Viele Tätigkeitfelder einer zukünftigen Wasserstoffwirtschaft liegen im unmittelbaren Entscheidungs- und Aufgabenbereich der Industrieunternehmen.

Der Wasserstoffeinsatz auf Seiten der Endverbraucherinnen und Endverbraucher könnte hingegen mittel- bis langfristig zu einem Tätigkeits- bzw. Geschäftsfeld kommunaler Akteure (Stadtwerke) werden. Der Aufbau von Versorgungsinfrastrukturen (z.B. Wasserstofftankstellen), Beratungsleistungen (z.B. zu dezentralen KWK-Anlagen mit Brennstoffzellen) bis hin zu Contracting-Angeboten für derartige Anlagen sind hier denkbar.

Dass das Thema Wasserstoffherzeugung und -verwendung grundsätzlich in Zukunft eine bedeutsame Rolle spielen wird, steht außer Frage und wurden durch die intensive Expertendiskussion verdeutlicht. Mit Blick auf die kommunale und regionale Wirtschaftsförderung in der Region wird es daher wichtig sein, die Entwicklungen in diesem Bereich intensiv zu verfolgen und spezifische Strategien (zum Beispiel zur Unternehmensansiedlung) abzuleiten. Bestehenden Institutionen, wie beispielsweise das Wasserstoff-Netzwerk Herten arbeiten genau an dieser Stelle.

## **Vertiefender Forschungsbedarf**

Die Arbeiten im Rahmen des Teilprojekts fokussierten auf die grundsätzlichen Stellschrauben, die bei der Entwicklung der Wasserstoffwirtschaft eine Rolle spielen können. Die Diskussion während des Expertenworkshops zeigten jedoch, dass viele Dynamiken nicht durch politische Entscheidungen in der Region beeinflussbar sind oder derzeit noch nicht eindeutig abzuzeichnen sind. Es wurde zudem deutlich, dass die konkreten kleinräumigen Bedingungen an bestimmten Standorten eine hohe Bedeutung haben.

Vertiefende Forschung sollte daher an realen Standorten ansetzen und, dem Reallabor-Ansatz folgenden, exemplarisch, unter Einbindung von Praxisakteuren aus der kommunalen Verwaltung sowie der Wirtschaft Entwicklungsperspektiven im Transformationsprozess aufzeigen.

Das Spannungsfeld, das sich hier eröffnet betrifft zum einen die Anforderungen im Kontext der Energiewende. Lösungen müssen jedoch auch die Schnittstellen zu anderen Megatrends (demographischer und sozialer Wandel, ökonomische Transformation, ...) adressieren, die ihre Wirkung am konkreten Standort entfalten.

Hierbei ist die ausstehende Forschungsleistung, zu eruieren, welche Perspektiven sich mittel- bis langfristig durch die Erzeugung und Nutzung von Wasserstoff seitens der Industrie, beim Endverbrauch und auch als Betätigungsfeld für kommunale Akteure aufbauen. Tatsächliche Einsatzpotenziale in den verschiedenen Sektoren und der resultierende Infrastrukturbedarf sind weiter zu präzisieren. Ebenso sind die ökonomischen Effekte einer verstärkten Wasserstoffnutzung für die Region von Interesse. Offen ist darüber hinaus, in welchem Einsatzbereich der größte Nutzen (mit Blick auf den Klimaschutz und die erfolgreiche Umsetzung der Energiewende) erzielt werden kann.

## 1.5 Literatur

WEIMER-JEHLE, W. (2009): Szenarientwicklung mit der Cross-Impact-Bilanzanalyse. In: Gausemeier J. (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung. HNI-Verlagsschriftenreihe Bd. 265, Paderborn, 435-454

WEIMER-JEHLE, W. (2014): Key figures used in the analysis of CIB scenarios. In: Cross-Impact Balance Analysis - Guidline no. 4. Online verfügbar unter:  
[http://www.cross-impact.de/Ressourcen/Guideline\\_No\\_4.pdf](http://www.cross-impact.de/Ressourcen/Guideline_No_4.pdf)

## 2 Anhang 1 Grüne KWK – Beschreibung der Deskriptoren und ihrer Ausprägungen

### 2.1 Deskriptor: Verstärkter Einsatz erneuerbarer Energien in der KWK

Der Brennstoffeinsatz in deutschen Heizkraftwerken und Fernheizwerken wird durch Erdgas und die Verbrennung von Reststoffen dominiert. Aber auch Kohle spielt mit rund einem Drittel nach wie vor eine wichtige Rolle in der Deckung des Primärenergiebedarfs. Bei den neu zugelassenen KWK-Anlagen dominieren sowohl bei den Stückzahlen als auch bei den installierten Leistungen seit Jahren die relativ CO<sub>2</sub>-armen Brennstoffe Erdgas (2013: 90 %) und Flüssiggas (9 %). Eine weitere Dynamik in Richtung mehr Effizienz und Klimaschutz lässt sich durch den Übergang auf erneuerbare Energieträger entfalten. Biomasse (insbesondere Holz), Biogas und die Restmüllverwertung spielen hierbei bereits eine wichtige Rolle. Für die Entwicklung in Richtung *Grüner KWK* ist es notwendig, dass auch andere erneuerbare Energieträger in die KWK integriert werden. Für kommunale Akteure (Energie- und Abfallwirtschaft) erschließen sich hierüber neue Geschäfts- und Handlungsfelder. Der Deskriptor geht der Frage nach, welche Energiequelle hier in Zukunft dominant sein könnte. Die aufgeführten Ausprägungen schließen sich nicht gegenseitig aus. Daher wurde die Formulierung "Schwerpunkt" zur Beschreibung der Ausprägungen genutzt.

#### *Ausprägungen*

##### **Schwerpunkt Solarthermie**

In Deutschland wäre die Integration von Solarthermie in KWK-Wärmenetze ein innovatives Konzept. Zahlreiche derartige Fernwärme-Projekte mit großen Solarkollektorfeldern sind beispielsweise in Dänemark bereits umgesetzt. Haldenflächen und Industriebrachen bieten im Ruhrgebiet das entsprechende Platzangebot. Es handelt sich aber hierbei demnach nicht um eine direkte Integration erneuerbarer Energieträger in die Erzeugung, sondern um eine zusätzliche regenerative Einspeisung in die KWK-Wärmenetze. Diese Einspeisung erfolgt dann, wenn KWK-Kraftwerke wegen niedriger Börsenstrompreise nicht wirtschaftlich betrieben werden können. So verdrängt die solare Wärme keine KWK-Abwärme, sondern teuren Brennstoff aus Spitzenlastkesseln. Ein Hemmnis dieser Technologie ist derzeit das fehlende Wissen vor Ort. Es wird angenommen, dass internationaler Erfahrungsaustausch und entsprechende Pilotprojekte im Ruhrgebiet helfen könnten, dieses Hemmnis zu überwinden.

##### **Schwerpunkt Tiefengeothermie**

Die Erzeugung von KWK-Strom aus Tiefengeothermie ist in Deutschland derzeit noch weitgehend unbedeutend. Die theoretischen Potenziale, insbesondere in kristallinen Gesteinen sind jedoch sehr groß - auch im nördlichen Ruhrgebiet herrschen ausreichende Temperaturniveaus. Aufgrund ihrer Grundlastfähigkeit kommt Geothermieanlagen im Kontext der Energiewende eine besondere Bedeutung zu. Geothermische Energie kann entweder in einer eigenen KWK-Anlage (ORC-Kraftwerk)



zur kombinierten Strom- und Wärmeproduktion genutzt werden. Alternativ kann geothermische Wärme auch in bestehende KWK-Wärmenetzen eingebunden werden. Insbesondere die hohen Kosten und die Fündigkeitsrisiken stellen derzeit zentrale Hemmnisse für den forcierten Ausbau der Tiefengeothermie dar. Aufgrund des fachlichen Know-hows in der Region durch den Bergbau und die geothermische Forschung könnte sich die Nutzung dieser Energiequelle über die Erprobung in Pilotprojekten etablieren.

### **Schwerpunkt Biogas / Biomethan**

Die Verwertung von Reststoffen zur Energieerzeugung leistet bereits einen nicht unerheblichen Beitrag zur Energiewende und zum Klimaschutz. Eine wichtige zusätzliche Säule könnte die forcierte Substitution von Erdgas in KWK-Anlagen durch aufbereitetes Biogas (Biomethan) darstellen. Eine wichtige Voraussetzung für einen signifikanten Beitrag, der durch kommunale Akteure im Ruhrgebiet vorangetrieben wird, wäre ein kommunales Abfall- und Ressourcenmanagement, welches die effiziente Nutzung der Reststoffe gewährleistet. Zur Nutzung von PtG siehe auch Deskriptor 5.

## **2.2 Deskriptor: Ausbau der Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK)**

Sofern die Wärme aus einer KWK-Anlage vorrangig für die Raumheizung genutzt wird, ergibt sich das Problem, dass nur im Winter und ggf. noch in der Übergangszeit eine ausreichend hohe Wärmenachfrage besteht. Dies führt tendenziell zu niedrigen Volllaststunden und macht daher die Nutzung der KWK wirtschaftlich unattraktiv.

Eine vielversprechende Möglichkeit, das sommerliche Lasttal zu füllen, bietet die Erzeugung von Kälte aus KWK-Abwärme mit Hilfe von Absorptions- oder Adsorptionskältemaschinen.

Die Kälte kann entweder dezentral über ein BHKW und eine Kälteanlage im bzw. nahe am Gebäude erzeugt werden oder aber über eine zentrale Anlage in ein Fernkälte-netz eingespeist werden.

Bei den Nutzenwendungen von Kälte kann im Allgemeinen unterschieden werden zwischen Kühlung von Waren (insbesondere Lebensmittel) und Prozessen in Industrie und Gewerbe sowie Kühlung von Gebäuden mittels Kaltwasser (z.B. über Kühldecken, Bauteil-Temperierung oder Radiatoren) bzw. Klimatisierung mittels kalter, entfeuchteter Luft. Vor dem Hintergrund dass Handlungsfelder kommunaler Akteure in den Blick genommen werden sollen, ist die Kühlung öffentlicher Gebäude (kommunaler Liegenschaften) von besonderem Interesse.

Die Ausweitung der KWKK ist nur dann ökologisch sinnvoll, wenn zum einen die passiven Maßnahmen zur Gebäudekühlung und Verringerung der internen Kühllasten ausgeschöpft werden und zum anderen tatsächlich eine Primärenergieeinsparung, z.B. durch Verdrängung von durch fossilen Strom angetriebenen Kompressionskältemaschinen, vorliegt.

Die genannten Nutzungsoptionen im Bereich Industrie/GHD und bei der Kühlung (öffentlicher) Gebäude schließen sich nicht aus. Der Deskriptor soll helfen zu eruieren, welche der beiden Nutzungsoptionen besonders gut mit den anderen Deskriptoren korrespondiert.

#### *Ausprägungen*

##### **Kein nennenswerter Ausbau**

Verschiedene Entwicklungen können dazu führen, dass KWKK keine nennenswerte Marktdurchdringung erreicht. Durch den Preisverfall bei Photovoltaikanlagen, die als regenerative Konkurrenztechnologie angesehen werden, wird ökonomischer Druck auf die KWKK ausgeübt. Darüber hinaus hemmen hohe Anfangsinvestitionen für Absorptionskälteanlagen und eine geringe Angebotsvielfalt an Produkten verglichen zu Kompressionsanlagen den Ausbau der KWKK. Weiterhin können die vollen Potenziale von KWKK nicht ausgeschöpft werden, wenn technische Entwicklungen und Strategien im Bereich Energieeffizienz die Nachfrage nach Kühlung verringern. Dazu zählen eine verstärkte Wärmedämmung, passive Maßnahmen zur Gebäudekühlung wie Verschattung und die Reduktion der Kühllasten durch effizientere elektrische Geräte.

##### **Forciert in Industrie und GHD**

Die Hemmnisse werden überwunden. In industriellen Prozessen oder zur Kühlung von Waren kommt die KWKK verstärkt zum Einsatz.

##### **Forcierte Kühlung öffentlicher Gebäude**

Die Hemmnisse werden überwunden. KWKK wird verstärkt zur Kühlung von öffentlichen Gebäuden eingesetzt.

## **2.3 Deskriptor: Intelligente Verknüpfung von Smart Grid und KWK im Verteilnetz**

Die überwiegende Anzahl der erneuerbaren Energieanlagen ist dezentral am Verteilnetz angeschlossen und speist dort den erzeugten Strom ein. Hier entstehen daher in erster Linie Netzzrückwirkungen und ggf. Engpässe, die eine Optimierung, Verstärkung bzw. Ausbau des Verteilnetzes erfordern. Von den Rückwirkungen bzw. Engpässen können neben den Netzbetreibern auch die Stromkunden und die Betreiber von kleinen KWK-Anlagen bzw. BHKW, die allesamt am Verteilnetz angeschlossen sind, betroffen sein. Diese Anlagen müssen ihre Einspeisung eventuell zu Gunsten von EEG-Anlagen zurückfahren. Umgekehrt können BHKW aber auch aktiv für die Netzstabilisierung und Erbringung von Systemdienstleistungen wie z. B. Regelleistung eingesetzt werden. Diese Betriebsweise wird dabei in der Regel aus Sicht der übergeordneten Netzebenen, den Übertragungsnetzen, bestimmt, hat aber auch Auswirkungen auf das lokale Netz bzw. die anderen Einspeiser. Für innovative, nicht mehr rein wärmegeführte Einsatzweisen von KWK-Anlagen sind daher sowohl Informationen über den Anlagenzustand und den aktuellen Betriebs-Fahrplan als auch Informationen über den Netzbetrieb und -zustand erforderlich. Voraussetzungen da-

für sind zum einen „intelligente“, flexible KWK-Anlagen und zum anderen – unabhängig davon – intelligente (Verteil-)Netze, die so genannten Smart Grids.

Zwei aufeinander aufbauenden Bausteinen kommt hierbei eine besondere Bedeutung zu.

Eine hinreichende informations- und automatisierungstechnische Ausstattung des Verteilnetzes gehört zunächst zur zentralen technischen Voraussetzung insbesondere für KWK in virtuellen Kraftwerken. Sie ist aber auch vorteilhaft für den weiteren Ausbau und die Nutzung von erneuerbaren Energien in KWK-Anlagen. Ihre unregelmäßige Einspeisung führt in Gebieten mit hohen EE-Stromanteilen bereits temporär zu Rückspeisungen in die oberen Netzebenen und kann zu Betriebsmittelüberlastungen, Spannungsproblemen bis hin zum Netzausfall führen. Lösungsansätze liegen in mess- und informationstechnischer Ausrüstung. So sollen jederzeit die wichtigsten Systemgrößen erfasst und ausgewertet werden, um die aktiven Netzelemente rechtzeitig ansteuern und den Netz- bzw. Anlagenbetrieb stabil halten zu können. Weitere Optimierungsstufen bilden der Aufbau und die aktive Nutzung von regelbaren Ortsnetztransformatoren (RONT) und regelbaren blindleistungsfähigen Wechselrichtern von EE-/PV-Anlagen sowie netz- bzw. systemorientiertes Einspeisemanagement.

Ein zweiter zentraler Baustein eines intelligenten Verteilnetzes ist das optimierte Netz- und Energiemanagement der Akteure und ihrer Energieerzeugung und -einspeisung. Hinter den Erzeugungsanlagen stehen verschiedene Akteure (Endkunden, Anlagenbetreiber bzw. Direktvermarkter), die das Netz nicht mehr nur passiv für den eigenen Strombezug nutzen, sondern sich mit ihren Anlagen auch aktiv an einem der Strommärkte oder zur Versorgung von Dritten beteiligen. Hier ist ein Managementsystem für den stabilen Netzbetrieb erforderlich.

In der hier vorgenommenen Analyse wird angenommen, dass die Umsetzung der beiden Bausteine das Gelingen der intelligenten Verknüpfung von Smart Grids und KWK-Anlagen ausmacht.

#### *Ausprägungen*

##### **Gelingt**

Die beschriebenen Bausteine können umgesetzt werden. Es kommt zu einer stärkeren virtuellen Vernetzung dezentraler KWK-Anlagen.

##### **Gelingt nicht**

Die Erfolgsbausteine können nicht umgesetzt werden. Dezentrale KWK leistet keinen nennenswerten Beitrag zur Deckung der Regelleistung. Durch die unregelmäßige Einspeisung bleiben die Gefahren der Netzüberlastung bzw. Netzinstabilität bestehen.

## **2.4 Deskriptor: Aufbau LowEx-Systeme**

Als „Low-Ex“-Systeme werden Systeme für das Heizen und Kühlen von Gebäuden bezeichnet, die so ausgelegt sind, dass sie mit Energiequellen auf einem niedrigen Exergieniveau versorgt werden können. Beispiele für niederexergetische Quellen sind solche auf einem niedrigen Temperaturniveau wie oberflächennahe Erdwärme,

Umgebungswärme, (Niedertemperatur-)Solarwärme sowie Abwärme aus Industrie- oder KWK-Anlagen. Solche Systeme erlangen dadurch eine wachsende Bedeutung, dass in Zukunft die Wärmedichten in Neubaugebieten und sukzessive auch im Bestand abnehmen und somit die klassische Erschließung der Fern- und Nahwärme auf relativ hohem Temperatur- (und Exergie-) Niveau unwirtschaftlich wird. Zwei Nutzungsvarianten von LowEx-Systemen werden im Rahmen des Deskriptors untersucht und im Folgenden beschrieben: 1) Einbindung in den Rücklauf von Fernwärmenetzen und 2) der Ausbau der so genannten *Kalten Nahwärme*. Die Nutzungsoptionen schließen sich nicht grundsätzlich aus. Sie werden dennoch in zwei Ausprägungen überführt, um zu eruieren, welche der beiden Nutzungsoptionen besonders gut mit den anderen Deskriptoren korrespondiert.

### *Ausprägungen*

#### **Aufbau als Rücklaufeinbindung in Fernwärmenetzen**

Die Rücklauftemperatur in Fernwärmenetzen ist in der Regel für Niedrigenergiehäuser ausreichend hoch, um die Beheizung zu gewährleisten. Für die Warmwasserbereitung müssen hygienische Mindestanforderungen durch technische Maßnahmen sichergestellt werden. Die Rücklaufeinbindung ermöglicht zum einen eine weitergehende Ausnutzung der vorhandenen Wärme. Zum anderen können Kraftwerksbetreiber durch die Absenkung der Rücklauftemperatur höhere elektrische Wirkungsgrade in Dampfkraftwerken realisieren und zusätzliche Wärmeabnahmekunden gewinnen, ohne die Heizleistung an sich zu erhöhen. Voraussetzung für eine solche Low-Ex-Versorgungslösung ist u.a. ein ausreichender Massenstrom und eine Mindestrücklauftemperatur im Rücklauf. Treiber für derartige Nutzungskonzepte sind die zukünftig abnehmenden Wärmedichten in Neubaugebieten und sukzessive auch im Bestand. Hemmend wirken vor allem bisher fehlende Erfahrungen. Zudem bestehen technische und institutionelle Hürden. Derzeitige Wärmemengenzähler erfassen nicht die Wertigkeit der Wärme (Exergie) und bestehende Wärme-Abrechnungssysteme honorieren keine Low-Ex-Energien. Zudem erlauben die sehr differenzierten Netzstrukturen keine verallgemeinerbaren Lösungen.

#### **Forcierte Nutzung Kalte Nahwärme**

*Kalte Nahwärme* beschreibt zunächst nur das Prinzip des verlustarmen Wärmetransportes auf niedrigem Temperaturniveau (nahe den Temperaturen im Erdbo-den). Es wird jedoch noch keine Aussage darüber getroffen, welche Wärmequelle genutzt wird und auf welche Weise das Temperaturniveau beim Nutzer auf das für Gebäudebeheizung und/oder Warmwassererzeugung notwendige höhere Temperaturniveau angehoben werden kann. Als Wärmequellen eignen sich insbesondere regenerative Niedertemperaturquellen wie Solarenergie, Umgebungswärme (z.B. Regen-, Fluss-, Grund-, Oberflächen-, Tunnel- oder Sickerwasser), geothermische Wärme (oberflächennah oder Tiefengeothermie) und Abfallwärme wie z.B. KWK-Wärme, (industrielle) Prozess-Abwärme, Abwärme aus Lüftungsanlagen, Abwärme aus Kälteanlagen oder Abwasserwärme. Zum Anheben der niedrigen Vorlauftemperaturen auf ein nutzbares Niveau werden elektrische oder Gas-Wärmepumpen eingesetzt. Diese können als kleine Einheiten dezentral in jedem einzelnen Gebäude oder

alternativ als größere Einheiten zentral in Kopfstationen mit nachgeschaltetem kleinem Nahwärmenetz (auf höherem Temperaturniveau) realisiert werden. Für die Versorgung des perspektivisch stark reduzierten Wärmebedarfs von Gebäuden ergeben sich durch Kalte-Nahwärme-Konzepte folgende Vorteile:

Die Einspeisung von Niedertemperatur-Wärme auf Basis regenerativer Energien oder Abwärme wird möglich. Wärmeverteilungsverluste (Netzverluste, insbesondere im Sommer) können durch Vor- und Rücklauftemperaturen nahe an der Umgebungstemperatur reduziert werden. Material- und Verlegekosten werden durch geringere Dämmstärken (bis hin zum weitgehenden Verzicht auf Leitungsdämmung) und durch Verwendung preiswerter KG-Rohre (Kunststoffmantelrohre) gesenkt.

## 2.5 Deskriptor: Erhöhung der Speicherkapazität in der KWK

Speichertechnologien werden im zukünftigen Energiesystem eine wichtige Rolle spielen. Insbesondere der zunehmende Einsatz fluktuierender erneuerbarer Energien macht dies notwendig. Damit ist auch die Notwendigkeit gegeben, im Rahmen eines Zukunftsbildes *Grüne KWK* die Frage nach geeigneten Speichern zu adressieren. Die Bandbreite technischer Optionen ist hierbei groß. Der Fokus im Rahmen dieses Deskriptors liegt auf Speichertechnologien, die eine sinnvolle Ergänzung zur KWK darstellen. Im Kontext KWK können Speicher unterteilt werden in drei Bereiche: Gasspeicher, Feststoffspeicher und Wärmespeicher.

Dabei sind die Gas- und Feststoffspeicher vor dem Umwandlungsprozess der Kraft-Wärmekopplung angesiedelt. Sie sind nicht nur für KWK-Anwendungen von Relevanz, sondern auch für andere Technologien bzw. konkurrierende Nutzungsarten. So können Methan und Wasserstoff als typische regenerativ erzeugbare Gase alternativ z.B. auch in industriellen Anwendungen oder im Verkehr genutzt werden. Gasspeicher können dezentral und kleinteilig als Tanks oder zentral in Form großvolumigen Kavernen und Salzstöcken vorkommen. Die bestehende Gasinfrastruktur kann (bedingt) für die Einbindung der Speicher genutzt werden. Feststoffspeicher sind ebenfalls den Feuerungsanlagen vorgelagert bzw. in der Biogaskette integriert. Diese Speicher bieten eine Pufferkapazität bei Ungleichheiten zwischen Verfügbarkeit des Rohstoffs und wärmeseitiger Nachfrage.

Wärmespeicher können als Wärmesenken Überschusswärme aufnehmen und in angebotsarmen bzw. nachfragestarken Zeiten Pufferkapazitäten für Wärmenetze bereitstellen. Dabei kann zusätzlich über einen Power-to-Heat Prozess (via Heizstab oder Wärmepumpe) Überschussstrom aus fluktuierender erneuerbarer Energieproduktion in Wärme überführt und über einen längeren Zeitraum speicherbar gemacht werden. Der Wärmespeicher liegt, im Unterschied zum Feststoff- oder Gasspeicher, systematisch hinter dem KWK-Prozess. Die gespeicherte Wärme steht somit keiner konkurrierenden Nutzungsart zur Verfügung, da die Umwandlung der wertvolleren Energieformen Brennstoff bzw. Strom zur Wärmeenergie exergetisch betrachtet einen Verlust bedeutet. Aufgrund des niedrigen Temperaturniveaus ist eine rückwertige Umwandlung praktisch nicht möglich.

*Ausprägungen*

## Schwerpunkt Feststoffspeicher

Feststoffspeicher können auf zwei Arten in das Energiesystem eingebunden werden. Zum einen können sie Festbrennstoffe wie Kohle oder feste Biomasse speichern, die in Heizkraftwerken mit Rost- oder Wirbelschichtfeuerung genutzt werden. Zum anderen besteht die Möglichkeit, Feststoffe (Substrate) in Biogasanlagen dem Fermentationsprozess zuzuführen. Das daraus entstehende Biogas kann dann wiederum in den KWK-Prozess eingebunden werden. Diese unterschiedlichen Nutzungsmöglichkeiten der Brennstoffe und die Notwendigkeit entsprechender Speicher ist besonders für lokale Akteure, wie Stadtwerke und Kommunen relevant, da durch regionale Erzeugungen in der Landwirtschaft, durch Landschaftspflege sowie die Abfallwirtschaft diverse Feststoffe und Substrate anfallen. Ein Fest(brenn-)stofflager bietet die Möglichkeit einer Kostenglättung in der Energieversorgung, da eine Brennstoffbeschaffung bei Höchstpreisen vermieden werden kann. Zudem können durch die Einsatzmöglichkeit des Materials (Stroh und Hackgut) in verschiedenen Anlagen (Rost-, Wirbelschichtfeuerungs-, Biogasanlage) bessere Geschäftsbedingungen entstehen.

Feststoffspeicher benötigen ggf. eine Lagerüberwachung, um gewisse Risiken zu vermeiden. Eine Durchfeuchtung des Rohstoffs im Falle einer direkten thermischen Verwertung ist zu vermeiden, gleichzeitig kann eine extreme Trocknung eine Selbstentzündung provozieren. Ein weiteres Lagerrisiko ist der Substanzabbau bei längeren Speicherhorizonten. Diese Faktoren implizieren einen relativ hohen Aufwand in der Lagerhaltung und können begrenzend auf die Größe des Speichervolumens wirken. Durch den natürlichen Zersetzungsprozess kann es zur Entstehung von Faulgasen und für das direkte Umfeld zur Geruchsbelästigung kommen.

## Schwerpunkt Gasspeicher

Die Nutzung von Biogas / Biomethan wird in der zukünftigen Energieerzeugung eine wichtige Rolle spielen. Ein weiterer wichtiger Zukunftsbaustein ist die Anwendung von Power-to-Gas (PtG). Dieser Prozessschritt bietet die Möglichkeit der Glättung von Stromerzeugung aus fluktuierende Erneuerbaren Energien (FEE). Beide Optionen benötigen den Aufbau von Gasspeichern um Energie langfristig zu speichern und kurzfristig verfügbar zu machen.

Für die Speicherbarkeit von Strom in Form eines Brennstoff für eine spätere „Rückverstromung“ in BHKW- und GuD-Anlagen bietet sich die Umwandlung in die chemischen Energieträger Wasserstoff ( $H_2$ ) und Methan ( $CH_4$ ) mit ihren hohen volumetrischen Energiedichten an. In beiden Fällen erfolgt als erster Schritt die Wandlung in Wasserstoff via Elektrolyse. Dieser Energieträger kann in Kavernen gelagert oder bis zu einer gewissen Konzentration ins Erdgasnetz eingespeist werden. Wasserstoff wird zudem in der Industrie verwendet bzw. kann über den Sabatierprozess in synthetisches Methan gewandelt werden. Dieses kann ohne Einschränkung in Gasnetze und Gasspeicher eingespeist werden und findet zudem sektorübergreifend Anwendung in Industrie, Haushalten und Verkehr. Ein effizientes System verbindet demnach die Komponenten einer Elektrolyse- (mit angeschlossener Methanisierung)

bzw. KWK-Anlage, einen Gasspeicher, sowie eine Wärmesenke (Wärmenetz mit Speicher, großtechnischer Abnehmer (Industrie, Schwimmbad etc.)).

Dies bietet für Kommunen zweierlei Optionen. Zum einen kann durch einen solchen Gasspeicher eine Elektrolyse- bzw. KWK-Anlage bedarfsorientiert gefahren werden, was bei einem hohen FEE-Anteil eine wichtige Anforderung darstellt. Zum anderen kann das Speichervolumen mit Anschluss an das Gasnetz vermarktet werden. Das Vorhalten eines Gasspeichers bietet die Möglichkeit, in Zeiten hoher Strompreise den Strombezug bzw. die Gasproduktion zu reduzieren und stellt somit eine stromseitige Unabhängigkeit von den FEE für den PtG-Prozess dar. Auf diese Art und Weise ist auch bei einer schwankender Gaserzeugung eine konstante Wärmeversorgung gewährleistet. Als Folge der Entkopplung stellen sich eine erhöhte Versorgungssicherheit und Preisstabilität ein. Durch die netzstabilisierende Wirkung kann die Speicherung und Vermarktung bzw. die „Rückverstromung“ in Zeiten einer Unterversorgung auch auf regionaler Ebene für lokale Akteure interessant sein.

### **Schwerpunkt Wärmespeicher**

Die Speicherung von Wärme kann aus technischen Gründen nur sehr eingeschränkt im Wärmenetz selbst erfolgen. Unter anderem sind i.d.R. die Temperaturkorridore einer Fernwärmeleitung zu eng dafür. In das Wärmenetz integrierte Wärmespeicher können helfen, schwankende Wärme-Nachfrage bzw. überschüssige Wärme auszugleichen. Dies ist besonders in der Kraft-Wärme-Kopplung interessant, da bei der Stromerzeugung die Wärme quasi als Abfallprodukt entsteht. Somit kann eine variable Wärmesenke einen kontinuierlicheren Betrieb sichern. Die Nutzung der erzeugten Strom- und Wärmemengen lässt sich damit zeitlich entkoppeln.

Darüber hinaus können Wärmespeicher nicht nur als Wärmesenke im KWK-Verbund eingesetzt werden, sondern bieten über Heizstäbe und Wärmepumpen (Power-to-Heat) die Möglichkeit, überschüssigen FEE-Strom zu verwerten.

## **2.6 Deskriptor: Zukünftiger Zentralisierungsgrad der KWK**

Die Wärmeversorgung des Ruhrgebietes ist in starkem Maße von in KWK erzeugter und zentral eingespeister Fernwärmeversorgung geprägt. Effizienz- und Wärmedämmmaßnahmen im Bereich Gebäude und Prozesswärme führen perspektivisch zur Abnahme des Wärmebedarfs. Durch die Erschließung wirtschaftlicher Fernwärmepotenziale durch Netzausbau und -erweiterung kann dieser abnehmende Wärmebedarf kompensiert werden und somit zur wirtschaftlichen Tragfähigkeit der Fernwärme insgesamt beitragen. Die aktuelle BET-Studie weist in einem Ausbau-Szenario für einige Städte in der Region Erweiterungspotenziale aus. Auch in der Verknüpfung der großen Fernwärmeinseln liegt ein Ausbaupotenzial.

Demgegenüber könnten sich auch kleinskaligere Lösungen (sowohl in Bezug auf die Erzeugungsanlage als auch mit Blick auf die Netzgröße) in Zukunft verstärkt durchsetzen. Das kann zum einen die Versorgung von Quartieren sein - sowohl im Neubau als auch im Gebäudebestand. Im Ruhrgebiet sind hier vor allem Gebiete von Interesse, die heute noch großflächig mit Nachtspeicherheizungen versorgt werden oder die

eine hohe Zahl an denkmalgeschützten Gebäude bzw. Gebäuden mit erhaltenswerter Fassade aufweisen. Klimaschutzstrategien auf Basis einer netzgebundenen Wärmeversorgung könnten hier ein wichtiges Tätigkeitsfeld kommunaler Akteure darstellen. Weiterhin stellt auch die Erschließung größerer Gebäudekomplexe (Objektversorgung) bzw. von Ein-/Mehrfamilienhäusern mit kleinen Anlagen bis hin zur Mikro-KWK eine Versorgungsvariante dar.

Die Versorgungsoptionen schließen sich nicht gegenseitig aus. Vielmehr wird mit diesem Deskriptor untersucht, inwiefern die anderen Bausteine einer *Grünen KWK* den Zentralitätsgrad der KWK-Erzeugung schwerpunktmäßig beeinflussen bzw. ob umgekehrt einzelne Bausteine durch den Zentralitätsgrad des Energiesystems beeinflusst werden.

### *Ausprägungen*

#### **Schwerpunkt zentrale Versorgung**

"Klassische" Fernwärme - gespeist aus großen zentralen Anlagen - dominiert. Wirkt ein Deskriptor auf diese Ausprägung stark fördernd, bedeutet das Verdichtung und Ausbau der bestehenden Netze. Wirkt ein Deskriptor stark hemmend, bedeutet das Rückbau der bestehenden Netze.

#### **Schwerpunkt Quartiersversorgung**

Die KWK-Quartiersversorgung wird ein wichtiger Baustein in kommunalen Klimaschutzstrategien. Im Ruhrgebiet ist dies zum Beispiel eine Strategie, um Quartiere mit Nachtspeicherheizungen zu modernisieren.

#### **Schwerpunkt Objektversorgung und Einzelgebäude**

Sowohl die Versorgung von größeren Gebäudekomplexen mit dezentralen KWK-Anlagen etabliert sich als auch die Versorgung von Ein- bzw. Mehrfamilienhäusern durch Mikro-KWK-Anlagen.

## **2.7 Deskriptor: Akzeptanz in der Bevölkerung für die Energiewende**

Die erfolgreiche Umsetzung der Energiewende ist unmittelbar von der Akzeptanz in der Bevölkerung abhängig. Aktuell stellt sich die Situation so dar, dass in der Bevölkerung ein hohes (und in den letzten Jahren tendenziell wachsendes) Maß an Akzeptanz für den Einsatz erneuerbarer Energien und Energieeinsparungen durch Effizienzmaßnahmen vorhanden ist. Hohe Bedeutung hat jedoch auch die Stabilität der Energiepreise, weshalb die Entwicklung insgesamt wachsam beobachtet wird. Ein weiteres Phänomen, welches in diesem Zusammenhang beachtet werden muss, ist der so genannte Nimby-(not in my backyard)-Effekt. Er beschreibt, dass Infrastrukturvorhaben (die bei der anstehenden Transformation des Energiesystems unausweichlich sein werden) zwar grundsätzlich akzeptiert werden - solange sie nicht vor der eigenen Haustür (bzw. im eigenen Hinterhof) umgesetzt werden. Mit dem Deskriptor "Akzeptanz für die Energiewende" wird dementsprechend beleuchtet, inwieweit die Bausteine einer *Grünen KWK* dazu beitragen können, dass sich die Ein-



stellung der Bevölkerung hinsichtlich der Energiewende im Vergleich zu heute verändert. Gleichzeitig wird beleuchtet, inwiefern die grundsätzliche Akzeptanz für die Energiewende Einfluss auf die Ausgestaltung des KWK-Systems nimmt.

Dabei wird davon ausgegangen, dass KWK (in der dezentralen Variante) als Bottom-up Technologie grundsätzlich dazu geeignet ist, die Akzeptanz zu erhöhen, da sie eine Teilhabe an der Ausgestaltung des zukünftigen Energiesystems ermöglicht. Mit Hilfe dieses Deskriptors soll eruiert werden, ob diese potenzielle Steigerung der Akzeptanz tatsächlich in Kombination mit allen anderen Deskriptoren durchschlägt. Weiterhin ist von Interesse, inwiefern auch die zentrale Ausgestaltung der KWK auf die Akzeptanz für die Energiewende wirkt.

#### *Ausprägungen*

**Die Akzeptanz für die Energiewende steigt im Vergleich zu heute**

**Die Akzeptanz für die Energiewende bleibt im Vergleich zu heute gleich**

**Die Akzeptanz für die Energiewende sinkt im Vergleich zu heute**

### 3 Anhang 2 Grüne KWK – Experteneinschätzungen zu den konsistenten Szenariopfaden

Das Set konsistenter Szenariopfade, welches auf Basis des Expertenworkshops entstanden ist, wird in ein Handlungsszenario überführt. Dieses Handlungsszenario soll kommunalen und regionalen Entscheidungsträgern Orientierungswissen über Stellschrauben auf dem Weg zu einer Grünen KWK liefern und ihnen vor allem aufzeigen, wie diese Stellschrauben ineinander greifen und welche Rahmenbedingungen für sie wichtig sind. Die Stellschrauben sind mit den Deskriptorausprägungen, die sich in den konsistenten Szenariopfaden durchgesetzt haben, benannt. Vor der Ausformulierung des abgeleiteten Handlungsszenarios wird in den folgenden Abschnitten dargestellt, welche zentralen Aussagen auf dem Workshop zu den konsistenten Deskriptorausprägungen getroffen wurden. Die Diskussion kann nicht in Gänze wiedergegeben werden - vielmehr werden richtungsweisende Thesen und Argumente herausgestellt.

#### 3.1 Verstärkter Einsatz EE in der KWK - Solarthermie und Tiefengeothermie

- Bei Tiefengeothermie ist es wichtig zu definieren, wie der Begriff genau gemeint ist. Vor allem mit Blick auf die Besonderheiten der Region Ruhrgebiet soll hierunter auch die Nutzung von Bergbaue Gebäuden verstanden werden (z.B. Grubenwassernutzung).
- Mit Blick auf Solarthermie muss deutlicher definiert werden, was gemeint ist. Die Nutzung von Solarthermie über große Kollektorflächen ist nicht unbedingt kompatibel zur Quartiersversorgung bzw. stark abhängig von der Siedlungsstruktur und der entsprechenden Verfügbarkeit von Flächen. Für Quartiere bieten sich eher Dach-Konzepte an. Auch diese können deutlich größer ausfallen, als das bisher der Fall ist.

#### 3.2 Ausbau der KWKK - Forcierter Ausbau in Industrie/GHD und öffentlichen Gebäuden

- Der Deskriptor muss klar definiert werden: es geht nicht um KWK allgemein, sondern um Kältenutzung, also die Erhöhung der sommerlichen Wärmelast.
- Kommt es nicht zu einem nennenswerten Ausbau der KWKK, könnte das den Einsatz erneuerbarer Energien (EE) in der KWK hemmen. Dabei bestehen keine Unterschiede zwischen den einzelnen Technologien erneuerbarer Energieerzeugung.
- Der Kältebedarf könnte auch über reine Stromerzeugungsanlagen gedeckt werden, von daher sind die erneuerbaren Energien eigentlich unabhängig von der Kältenutzung.
- Eine Differenzierung kann sich ergeben, weil die Ausgangsbedingungen (nicht die Potenziale) im Ruhrgebiet unterschiedlich sind. Die Frage ist, wie schnell sich ein Impuls durch die Kältenutzung umsetzen kann.
- Der Ausbau von KWKK in Industrie und GHD ist klar fördernd für den Einsatz von Solarthermie in der KWK. Die Konzepte passen jahreszeitlich gut zusammen. Generell müsste man betrachten, um welche Kühlprozesse es geht. Aber grund-

sätzlich gibt es eine Abhängigkeit der Kühllast von der Jahreszeit. Die Lasten im Sommer sind tendenziell höher.

- Der Kühlbedarf ist deutlich niedriger als der Wärmebedarf. Im Sommer gibt es durch die KWK-Anlagen an sich genug Grundlast. Die Wärme großer (solarthermischer) Anlagen lässt sich im Sommer nicht absetzen.
- Für Tiefengeothermie bedeutet der Ausbau der KWKK in jedem Fall eine Forcierung. Bei öffentlichen Gebäuden stärker als bei Industrie / GHD.
- Kälteabsorptionsanlagen haben nicht so eine unmittelbare Wirkung auf Tiefengeothermie.
- Man muss zwischen den Netzebenen differenzieren. Tiefengeothermie zielt eher auf das Verteilnetz mit Temperaturen unter 100 Grad ab. Dieses Temperaturniveau reicht für Kälte-Absorptionsanlagen nicht aus.
- Dezentral oder in kleineren Inselnetzen ergibt Tiefengeothermie auf Grund der Flexibilität Sinn, in großen Netzen eher nicht. Einwand: Das betrifft dann aber eher oberflächennahe Geothermie.
- Eine intelligente Verknüpfung von Smart Grids und KWK hat einen leicht förderlichen Einfluss auf die Nutzung in Industrie / GHD, da dort know-how vorhanden ist, um die technische Umsetzung zu bewerkstelligen.
- Zu LowEx und KWKK: Rücklaufeinbindung hemmt die KWKK, da eine Absorptionskälteanlage wegen des unzureichenden Temperaturniveaus nicht eingebunden werden kann, wenn sie sich im Kältemodus befindet.
- Zum Ausbau der Speicherkapazität und KWKK: Für die Logik der Bewertung ist die Speicherart nicht so entscheidend - es geht eher darum, welche Wirkung Speicher überhaupt haben. Im Sommer gibt es ohnehin eine Überkapazität an Wärme (die in Kälte umgewandelt werden kann) - da helfen Speicher nur im geringen Maße zur zeitlichen Optimierung. Zu überlegen ist, ob der Effekt bei Anwendungen in der Industrie höher ist als bei öffentlichen Gebäuden: Die infrastrukturellen Voraussetzungen sind vielleicht besser.
- Zu Zentralisierungsgrad und KWKK: eine zentrale Versorgung ist gut für KWKK, da hohe Temperaturen zur Verfügung stehen, die benötigt werden, um KWKK-Prozess in Gang zu setzen. In der Industrie ist dieser Effekt etwas höher, als in öffentlichen Gebäuden. In der Quartiersversorgung ist er etwas abgeschwächt, da das Temperaturniveau eventuell nicht ausreicht. Bei der Objektversorgung öffentlicher Gebäude kann KWKK als Musterbeispiel oder Demonstrationsvorhaben eingesetzt werden. Die Kommune tritt dann als Vorreiter auf.
- Im Gesamtkontext stellt sich die Frage, ob nicht bei Stromüberschüssen die Kälte aus Strom produziert wird. Die Absorptionskälteanlagen haben Probleme mit der Wirtschaftlichkeit und brauchen hohe Vorlauftemperaturen. Das spricht gegen die eigentliche Vorstellung, die Netztemperatur - vor allem im Sommer- zu senken. Sie soll im Sommer nicht über 100 Grad liegen. Die benötigte Vorlauftemperatur von Absorptionskälteanlagen liegt aber bei 110 Grad.
- Grundsätzlich stimmt die Abstufung, dass zentrale Netze aufgrund der Vorlauftemperaturen besser geeignet sind als dezentrale Netze auf Quartiersebene.
- Die Netztemperaturen im Quartier ermöglichen es nicht, im Sommer Kälte zu produzieren.

- Auswirkungen der Akzeptanz für die Energiewende auf forcierten Ausbau in der Industrie und GHD: Industrieunternehmen entscheiden unabhängig von der Akzeptanz in der Bevölkerung, sondern rein aus wirtschaftlichen Abwägungen. In Bezug auf Kühlung öffentlicher Gebäude hat eine steigende Akzeptanz einen leicht förderlichen Einfluss, da es die Vorbildfunktion der Kommunen (good will) bestärkt.

### 3.3 Die intelligente Verknüpfung von Smart Grid und KWK gelingt

- Wenn die Anlagen verknüpft werden, werden sie in Abhängigkeit vom Strommarkt gefahren. Es werden Quellen benötigt, die dann Wärme liefern, wenn die KWK-Anlage nicht läuft. Genau das sollen entsprechende Modelle wie zum Beispiel in Dänemark leisten. Wenn keine Stromnachfrage vorhanden ist, führt das zum Abschalten der Anlage. Dennoch erfolgt eine Wärmebereitstellung über Solarthermie.
- Diese Modelle funktionieren aber nur mit Speicher, um solare Wärme (saisonal) speichern und bei Bedarf zur Verfügung stellen zu können.
- Solarthermische Anlagen haben eigentlich immer einen Speicher. Die Frage ist nur die Speicherdauer. Als Bedingung dafür, dass die intelligente Verknüpfung gelingt, wird die Speicherverfügbarkeit gesetzt.
- Die Zeitachse muss berücksichtigt werden, denn die Stromfluktuationen verlaufen deutlich schneller als im Wärmebereich. Es geht in den KWK-Anlagen im Smart Grid nicht um Schwankungen 0-100, sondern nur um ein geringes Band.
- Aber die Flanken der Schwankung sind steil und wärmeseitig nur schwer nachzufahren.
- Wichtig ist, dass der Ausgangspunkt das Smart Grid ist, welches 365 Tage läuft - das ist durch Solarthermie nur schwer zu bedienen.
- Zu beachten ist, dass der Einfluss vom Smart Grid auf Solarthermie größer ist, als der Einfluss der Kälteerzeugung.
- Wenn die Verknüpfung von Smart Grid und KWK nicht gelingt, könnte das sogar einen fördernden Einfluss auf die dezentrale Solarthermie-Erzeugung haben, weil Gebäudeeigentümer dann selber aktiv werden. Aber: Dieser Wirkungszusammenhang wird hier nicht betrachtet, da es um Solarthermie in Netzen geht - nicht in der Einzelversorgung.

### 3.4 Aufbau von LowEx-Systemen als Rücklaufeinbindung in Fernwärmenetze

- Eine Rücklaufeinbindung in das Fernwärmenetz wirkt sich schwach förderlich auf die Solarthermie aus, weil diese in den Rücklauf eingebunden werden kann und noch Abnehmer hat. Es gibt bereits Erfahrungen mit Abnehmer im Fernwärmerücklauf, was technisch wegen der Hydraulik nicht trivial ist. Der Anreiz für solche Konzepte ist, die Rücklauftemperatur zu senken. Eine gegenläufige und vielleicht sinnvollere Strategie ist jedoch, die Erzeugungsanlagen selbst zu optimieren.
- Unter LowEx-Systemen werden Sekundärnetze verstanden - man kann aber natürlich auch ein einzelnes Gebäude (großer Abnehmer) anschließen. Bei Wohngebäuden wäre ein mögliches Anschlussgebiet eher eine Siedlung mit hohem Effi-

zizienzstandard, die mit einer Vorlauftemperatur von 35-55 Grad auskommt. Dies wiederum wären ideal in Verbindung mit Solarthermie.

- Auch für Geothermie ist die Verbindung mit Low-Ex Systemen optimal. Je niedriger die benötigte Temperatur, desto geringer sind die Kosten für die Anlage.

### **3.5 Erhöhung der Speicherkapazität in der KWK in Form von Wärmespeichern**

- Jahresspeicher sind für Geothermie und Solarthermie interessant - die anderen Speichertypen spielen für Geothermie keine Rolle.
- Insgesamt sind aber Speicher für Solarthermie wichtiger als für Geothermie.
- Saisonale Wärmespeicher werden ein unabdingbarer Bestandteil zukünftiger KWK-Systeme sein. In der Konzeption großskaliger Solarthermie-Erzeugung sind sie standardmäßig vorgesehen.
- Anlagen des Bergbaus können als Speicher umfunktioniert werden.
- Es gibt erste Erfahrungen mit großen oberirdischen Wärmespeichern - hier kann es auch zu Akzeptanzproblemen kommen.
- Im Vergleich zu Feststoffspeichern haben Wärmespeicher einen Akzeptanzvorteil.
- Wärmespeicher sind im Prinzip aufwendiger als Gasspeicher, da für letztere auch bestehende Pipeline-Netze genutzt werden können.

### **3.6 Zukünftiger Zentralisierungsgrad der KWK: Quartiersversorgung**

- Ein Ziel aus Sicht der Kommunen ist, einen Schwerpunkt des zukünftigen Zentralisierungsgrad der KWK in der Quartiersversorgung zu setzen.
- Zentrale Versorgungseinrichtungen machen die Integration erneuerbarer Energien schwieriger, als im Fall Quartiersversorgung mit BHKW.
- Umgekehrt lässt sich argumentieren, dass große Wärmenetze auch im Sommer eine hohe Last mit sich bringen.
- Für großskalige Solarthermie ist eine zentrale Versorgung erst einmal förderlich. Das hängt allerdings etwas von der Art des Netzes ab: weniger attraktiv ist ein großes Primärnetz mit 120 Grad Vorlauf; Außenbereiche mit niedrigeren Temperaturen sind eher attraktiv; aber eine Quartiersversorgung ist auf Grund der niedrigeren Temperaturen noch attraktiver. Große Einzelobjekte sind auch möglich – das hängt aber von der Auslegung der KWK-Anlage ab - diese bringt im Prinzip schon die Grundlast. Unter diesen Umständen ist eine Einzelfallprüfung notwendig.
- Ein Problem bei der Solarthermie ist der Flächenbedarf im Falle der Quartiersversorgung. Ein Lösungsweg ist, die Anlagen auf Dächern zu installieren. In diesem System laufen Kollektorflächen auf Dächern in einer zentralen Anlage mit Speicher zusammen und die Wärme wird von dort verteilt. Das Problem, welches dabei entsteht, sind Verteilverluste.
- Aus Geothermie-Sicht ist die Frage nach dem Zentralitätsgrad der Netze nicht relevant. Ein großer Vorteil der Geothermie ist, dass sie auf die Netzgröße angepasst

werden kann. Optimal für die Geothermie der Zentralisierungsgrad auf Quartiers-ebene.

### 3.7 Die Akzeptanz in der Bevölkerung für die Energiewende steigt

- Der Deskriptor und seine Ausprägungen sind in der Pauschalität nur schwer zu beantworten. Der Zusammenhang zwischen Technologieeinsatz (zum Beispiel in Form von Smart Grids, oder KWKK) und Akzeptanz für die Energiewende an sich ist nicht unmittelbar abzubilden.
- Es gibt nicht die Akzeptanz in der Bevölkerung - Aussagen und Thesen hierzu müssten deutlich differenzierter ausgearbeitet werden.
- Etwas einfacher zu argumentieren ist in vielen Fällen, dass eine allgemeine Erhöhung der Akzeptanz für die Energiewende die Umsetzung bestimmter kommunaler Technologiestrategien erleichtern könnte.
- Für einzelne Zusammenhänge lassen sich Bewertungen ableiten. Bei der Interpretation der Szenarioergebnisse mit Blick auf das Thema "Akzeptanz" sollte jedoch sehr zurückhaltend vorgegangen werden.
- Für den Endverbraucher stehen bei Energiefragen häufig ökonomische Abwägungen im Vordergrund. Wenn also in den Handlungsempfehlungen auf dezentrale Mikro-KWK gesetzt wird, muss auch dargelegt werden, wie die entsprechenden Rahmenbedingungen zu setzen sind, um dieses wirtschaftlich zu gestalten.
- Geothermie hat im Ruhrgebiet eine hohe Akzeptanz, da es Erfahrungen aus dem Bergbau gibt.
- Eine allgemeine Akzeptanzsteigerung wirkt sich auf die Tiefengeothermie und Biogasnutzung stärker aus als auf Solarthermie, da Solarthermie ohnehin schon stark genutzt wird.
- Die Erhöhung der Akzeptanz allgemein wirkt sich eventuell positiv auf den Einsatz der großskaligen Solarthermiewerzeugung (beispielsweise von Haldenflächen) aus.

## 4 Anhang 3 Grüne KWK – Qualitatives Szenario „Grüne KWK im Ruhrgebiet 2030“ – ein fiktives Interview

Ein Interview mit Frau Boheim, Leiterin des Energie-Ressorts der Stadt Duismund, im Jahr 2030.

Frau Boheim ist seit 15 Jahren verantwortlich für die KWK-Strategie der Stadt Duismund. Die Erfolge ihrer Arbeit sind offensichtlich. Die Transformation des städtischen Energiesystems, hin zu einer "Grünen KWK" ist heute, im Jahr 2030, weit fortgeschritten. Die Entwicklungen der letzten Jahre gelten als Vorzeigeprojekt mit hoher Strahlkraft in das Ruhrgebiet und darüber hinaus. Wir wollen von der verantwortlichen Strategieentwicklerin wissen, wie es zu dieser Entwicklung gekommen ist.

**Frage: Frau Boheim Ihre Stadt bzw. der örtliche Energieversorger, wirbt mit dem Slogan "Grüne KWK für Duismund" - Können Sie uns erklären, was sich dahinter verbirgt?**

*Antwort:* "Grüne KWK" war zuerst kein Slogan, sondern der Titel eines Zukunftsbildes, welches wir im Jahr 2015 in einem aufwendigen Strategieprozess für unsere Stadt entworfen haben. Die Kernbotschaft dieses Zukunftsbildes war, dass wir eine Energieversorgung für unsere Stadt wollen, die als zentrale Säule auf den Einsatz der Effizienztechnologie Kraft-Wärme-Kopplung setzt. Diese sollte dann in unserer Vision in starkem Maße erneuerbare Energieträger einbinden, weitere Effizienzpotenziale erschließen, widerstandsfähig sein gegenüber Störeinflüssen, wie fluktuierendem Energiedargebot und insgesamt die Kriterien der Nachhaltigkeit erfüllen.

**Frage: Sie sprechen von einem aufwendigen Strategieprozess. Wer war damals in diesen Prozess involviert?**

*Antwort:* Wir haben eine ganze Bandbreite von Akteuren zu diesem Thema zusammengeführt. Zuerst haben wir natürlich gemeinsam mit dem lokalen Energieversorger unsere Ideen skizziert und sie dann mit Projekt- und Technologieentwicklern, wissenschaftlichen Partnern und ebenso mit Stakeholdern der Verbraucherseite diskutiert. In einem diskursiven Prozess haben wir mit den Beteiligten erörtert, an welchen Stellschrauben gedreht werden muss, um eine Entwicklung im Sinne der "Grünen KWK" anzuschieben. Für unseren Energieversorger war dieser Prozess sehr wichtig, da es ihm auch darum geht, in der Transformation des Energiesystems neue Geschäftsfelder zu erschließen.

**Frage: Und was war das Ergebnis dieses Prozesses? Welche Strategieelemente haben Sie mit den Akteuren damals diskutiert?**

*Antwort:* Zuerst einmal war für uns erkennbar, dass eine auf Wohnquartiere zugeschnittene Versorgung eine immer größere Bedeutung bekommen wird. Das gilt na-

türlich nicht nur für Neubaugebiete - vor allem im Bestand hatten wir das Gefühl, dass es sinnvoll ist, Quartiers-spezifische Strategien zu entwickeln, welche auf die jeweiligen Ausgangsbedingungen und Entwicklungspotenziale zugeschnitten sind.

Diese Strategien bauen auf einer Analyse der Ausgangssituation auf - das heißt es wurde erhoben, wie sich die Energieversorgung des jeweiligen Quartiers darstellte - natürlich mit besonderem Blick auf die mögliche Versorgung mit KWK. Dabei waren zum Beispiel Quartiere mit einer hohen Nutzung von Nachtspeicherheizungen interessant oder auch Gebiete, die eine hohe Zahl an denkmalgeschützten Gebäude bzw. Gebäuden mit erhaltenswerter Fassade aufweisen, weil herkömmliche Programme zur Gebäudesanierung nicht umgesetzt werden konnten.

**Frage: Dieser Fokus auf die Quartiersebene wirkt auf den ersten Blick, sowohl in der Strategieentwicklung aber auch in Bezug auf die tatsächliche technisch-infrastrukturellen Umsetzung sehr kleinteilig. Wie wird denn gewährleistet, dass die einzelnen Quartiers-Strategien auf gesamtstädtischer oder sogar regionaler Ebene ineinander greifen.**

*Antwort:* Auf der Steuerungsebene haben wir den Stakeholder-Prozess, den wir für die Strategieentwicklung initialisiert haben, über die Jahre verstetigt. Dadurch haben wir die Kommunikation zwischen den unterschiedlichen Entscheidungsträgern deutlich verbessert, was wiederum die Integration der Teilstrategien gewährleistet. Wesentlich schwieriger ist die technologische und infrastrukturelle Gesamtstrategie. Die Herausforderung war und ist dabei das Zusammenführen der verschiedenen Energieerzeugungseinheiten und die Synchronisation von Energienachfrage und Energieerzeugung. Eine Quartiersstrategie bringt natürlich sehr viele dezentrale Erzeugungseinheiten mit sich, die im Wesentlichen auf den Einsatz erneuerbarer Energien setzen - mit den entsprechend schwankenden Erzeugungsmengen. Gleichzeitig sind wir ja auch heute, im Jahr 2030, noch nicht in der Lage die Energieerzeugung vollständig dezentral zu bewerkstelligen. Es gilt also, diese unterschiedlichen Maßstabsebenen in der Erzeugung zuverlässig zusammenzuführen. Zwei technologische Aspekte waren hierfür elementar. Zum einen haben wir sehr früh darauf gesetzt, die dezentralen KWK Anlagen mit intelligenten Stromnetzen zu verknüpfen - in diesem Aufbau von Smart Grids lag und liegt aus unserer Sicht ein zentraler Schlüssel für die erfolgreiche Transformation des Energiesystems - insbesondere im Sinne einer "Grünen KWK". Die zweite wichtige technologische Strategie lag in der Erhöhung der Speicherkapazitäten, speziell im Bereich der Wärmespeicher, um das System insgesamt stabiler und flexibler zu gestalten.

**Frage: Lassen Sie uns auf diese beiden technologischen Aspekte noch etwas genauer eingehen. Was genau steckt denn hinter der Verknüpfung der dezentralen KWK-Anlagen in Smart Grids?**

*Antwort:* Für innovative, stromgeführte Einsatzweisen von KWK-Anlagen, wie wir sie betreiben, sind Informationen über den Zustand und aktuellen Betrieb sowohl



der Anlage, als auch des Netzes erforderlich. Um dieses umzusetzen, haben wir flexible KWK-Anlagen gebaut und über intelligente Verteilnetze, die so genannten Smart Grids, miteinander verbunden. Mit Blick auf die "Intelligenz" der Netze war eine entsprechende Ausstattung mit Informations- und Automatisierungstechnologien besonders wichtig. Wenn die wichtigsten Systemgrößen systematisch erfasst und ausgewertet werden, können Netzüberlastungen, oder schlimmer noch, Netzausfälle vermieden werden. Das bringt nicht nur Vorteile für den Netzbetrieb allgemein sondern speziell mit Blick auf die Einbindung fluktuierende erneuerbarer Energien - der Steuerungsbedarf wird dadurch deutlich erhöht.

Darüber hinaus ist für die Verknüpfung von KWK-Anlagen im Verteilnetz ein optimiertes Netz- und Energiemanagement wichtig. Hierzu waren zum Beispiel die Ausstattung mit regelbaren Ortsnetztransformatoren und regelbaren blindleistungsfähigen Wechselrichtern von EE-/PV-Anlagen wichtig, um steuernd in das System eingreifen zu können.

**Frage: Sie sagten vorhin noch, dass auch der Aufbau von Speicherkapazitäten im Energiesystem, speziell mit Blick auf das KWK-System wesentlich war. Insbesondere stellten Sie die Bedeutung von Wärmespeichern heraus. Können Sie hierauf noch näher eingehen?**

*Antwort:* Wie gerade dargestellt, verknüpfen wir dezentrale KWK-Anlagen in Smart Grids. Die Anlagen werden also, im Gegensatz zu früher, stromgeführt betrieben. Heute gibt uns der Strommarkt den Impuls, wann eine Anlage angeschaltet wird. Das bedeutet auch, dass die Anlagen nicht immer laufen, wenn in der Stadt gerade Wärme benötigt wird. Auch saisonal fallen Anlagenbetrieb und Wärmebedarf auseinander. Der Aufbau von Speichern mit unterschiedlichen Speicherdauern war damit ein unumgänglicher Baustein unserer KWK-Strategie in Verbindung mit den Smart Grids. Insgesamt fügte sich das auch gut in den räumlichen Zuschnitt unserer Versorgungsstrategien auf Quartiere. Hinzu kommt auch, dass Wärmespeicher nicht nur als Wärmesenke im KWK-Verbund eingesetzt werden können, sondern bieten darüber hinaus die Möglichkeit mit Power-to-Heat-Konzepten, überschüssigen Strom aus erneuerbaren Energien zu verwerten, indem er zu Wärme umgewandelt wird.

**Frage: In Ihrer kommunalen Strategie haben Sie ja auch stark auf Solarthermie gesetzt. Das hat doch dem Aufbau von Wärmespeicherkapazitäten sicherlich auch einen Schub gegeben.**

*Antwort:* Das ist richtig. Wir waren hier in Duisburg in der komfortablen Lage, dass wir Haldenflächen und Industriebrachen für Kollektorfelder nutzen konnten. Aus diesen speisen wir entweder direkt in Wärmenetze ein oder speichern die Wärme saisonal und nutzen sie dann im Winter. Diese Einspeisung erfolgt in der Regel dann, wenn KWK-Kraftwerke wegen niedriger Börsenstrompreise nicht wirtschaftlich betrieben werden können. So verdrängt die solare Wärme keine KWK-Abwärme, sondern teuren Brennstoff aus Spitzenlastkesseln. Als wir 2015 anfangen eine solche

Strategie zu entwerfen, haben wir uns vergleichbare Projekte in Dänemark angeschaut, wo es bereits praktische Erfahrungen gab. Grundsätzlich ist es aber unumgänglich, bei der Einbindung erneuerbarer Energien in ein flexibles Energiesystem, Speicherkapazitäten vorzuhalten.

**Frage: Bleiben wir vielleicht gerade beim Thema Solarthermie. Sie erwähnten gerade das Platzangebot auf Haldenflächen und Brachen. Gab es noch andere Gründe auf Solarthermie zu setzen?**

*Antwort:* Entscheidend ist in diesem Zusammenhang, wie gut sich Solarthermie mit den anderen zentralen Systemkomponenten einer effizienten, dezentralen KWK-Struktur verbinden lässt. Die Smart Grids haben wir ja schon thematisiert. Sie förderten den Ausbau der solarthermischen Energieerzeugung in Kombination mit Speichern auf jeden Fall.

Weiterhin haben wir zum Beispiel eine Kampagne zur Förderung der Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung in der Industrie und GHD initialisiert. Diese hat sich eindeutig förderlich auf Solarthermie als primären erneuerbaren Energieträger in der KWK ausgewirkt, da sie jahreszeitlich gut zusammen passen. Das hängt natürlich immer auch von den jeweiligen Kühlprozessen ab, aber grundsätzlich gibt es hier eine deutliche positive Beeinflussung.

Ein weiteres wichtiges Strategieelement für unsere Quartiersversorgung war der Aufbau von LowEx-Systemen. Wir haben diese in den Rücklauf von Fernwärmenetzen eingebunden und damit Bestands- und Neubauquartiere erschlossen. Solarthermie lässt sich aufgrund des Temperaturniveaus in solch Konzepten sehr gut integrieren. Das gilt insbesondere für die beschriebenen Systeme mit größeren Kollektorflächen, die ebenfalls in die Fernwärmenetze einspeisen. Auch die LowEx-Systeme beförderten also den Ausbau der Solarthermie.

**Frage: Aber passen denn große Kollektorfelder zur Quartiersversorgung?**

*Antwort:* Da hatten und haben wir natürlich in unserer Stadt besonders gute Rahmenbedingungen. Über die beschriebenen Freiflächenpotenziale auf Industriebrachen und Halden ließ sich das in Duismond realisieren. Andernorts musste man natürlich andere Konzepte entwickeln - zum Beispiel solche, die sich auf Dachflächen umsetzen lassen. Die Kollektorflächen auf den Dächern laufen dann in einer zentralen Anlage mit den Speichern zusammen und die Wärme wird von dort verteilt. Das Problem der Verteilverluste muss durch effiziente Anlage abgemildert werden.

**Frage: Hätte sich all das, was Sie hier in Duismond umgesetzt haben auch auf Basis anderer Energieträger bewerkstelligen lassen? Ich denke da an Tiefengeothermie - in einer ehemaligen Bergbau-Region ist dazu ja**

**viel nutzbare Expertise vorhanden. Zudem bietet das kristalline Gestein im Untergrund gute Voraussetzungen.**

*Antwort:* Ja, da haben Sie recht, wir können auf eine lange Tradition im Bergbau zurückblicken, was für die Tiefengeothermie von Vorteil ist - wenn man zum Beispiel auf die Nutzung von Grubenwasser schaut. In einigen Ruhrgebiets-Städten wurde ja auch sehr stark auf diese Energiequelle gesetzt. Sie passt auch gut zu Quartierskonzepten und Inselnetzen und sie lässt sich gut in KWK-Systeme integrieren. Die Verknüpfung KWK-Anlagen über Smart Grids fördert die Tiefengeothermie ebenfalls, da in der Kopplung von Strom- und Wärmeproduktion ein flexibler Einsatz der Tiefengeothermie möglich ist. Außerdem ist der Aufbau der Low-ex Systeme als Rücklaufteinbindung in Fernwärmenetze optimal. Denn je niedriger die benötigte Temperatur, desto geringer sind auch die Kosten für die Anlage.

In Städten, wo Tiefengeothermie eine wichtige Rolle spielte, waren in der Anfangsphase Projekte zur Versorgung öffentlicher Gebäude von großer Bedeutung. Die Vorreiterrolle kommunaler Akteure ist wichtig. Grundsätzlich gilt bei der Ausgestaltung von Technologiestrategien, wie wir es hier in unserer Stadt vor 15 Jahren für die KWK gemacht haben, dass es nicht den einen richtigen Weg gibt. Vielmehr muss auf die jeweiligen konkreten Ausgangsbedingungen geschaut werden. Weil wir hier in Duismond auf Solarthermie gesetzt haben, heißt das nicht, dass nicht auch Tiefengeothermie in gleicher Weise geeignet wäre als Energiequelle für ein effizientes KWK-System zu fungieren.

**Frage: Zum Thema Vorreiterrolle der kommunalen Akteure: In Duismond wurden einige Projekte zur Kühlung öffentlicher Gebäude mittels Kraft-Wärme-Kältekopplung umgesetzt. War das auch ein Baustein Ihrer "Grünen KWK"?**

*Antwort:* Ja, das war auch ein Baustein - wenn auch vielleicht nicht der wichtigste. An sich passen solche KWKK-Konzepte gut zu zentralen Versorgungsstrukturen, wie wir sie im Ruhrgebiet früher hatten. Sie liefern die notwendigen Temperaturen, um KWKK-Prozesse in Gang setzen zu können. In den Quartierskonzepten, auf die wir in unserer Strategie vorrangig setzen, lässt sich die Technologie nicht so gut integrieren. Gleiches gilt für unsere LowEx-Systeme, die wir im Rücklauf von Fernwärmenetzen aufgebaut haben. Auch hier herrschen für Absorptionskälteanlagen nicht die notwendigen Temperaturen. Aber Duismond ist ja nicht flächendeckend über Quartierskonzepte abzudecken. Es gibt durchaus noch Bereiche in der Stadt, wo KWKK eine wichtige Ergänzung unserer KWK-Strategie darstellt. Übrigens beschränkten sich die frühen Demonstrationsprojekte nicht auf die Kühlung öffentlicher Gebäude. Es gab genauso auch Projekte in Industrie und GHD - hier sind derartige Konzepte vielleicht sogar tendenziell leichter umzusetzen, weil dort das technische Know-how vorhanden ist, um die technische Umsetzung zu bewerkstelligen.

**Frage: Sie haben jetzt schon ein paar mal das Thema der LowEx-Systeme angerissen. Das schient für eine nachhaltige KWK-Versorgung ein bedeutsamer Baustein zu sein. Die Einbindung von LowEx-Systemen in den Rücklauf der Fernwärme - ein Konzept, das sich ja in einer Region wie dem Ruhrgebiet wirklich anbietet - was waren die Rahmenbedingungen, die notwendige waren?**

*Antwort:* Das Andocken zusätzlicher kleiner Netze im Rücklauf der Fernwärme bietet sich besonders auf Quartiersebene an - zum Beispiel in Wohnsiedlungen mit hohem Effizienzstandard, die mit einer Vorlauftemperatur von 35-55 Grad auskommen. Das ist ideal für die Rücklaufeinbindung. Die entscheidende Rahmenbedingung ist aber ohne Zweifel, dass sie ein Fernwärmenetz in räumlicher Nähe brauchen, um ein entsprechendes Sub-Netz andocken zu können. Das ist allerdings an vielen Orten im Ruhrgebiet möglich. Hilfreich ist darüber hinaus, wenn es auch hier Vorreiter - zum Beispiel im Bereich der Industrie - gibt, die mit Demonstrationsprojekten aufzeigen, dass derartige Konzepte umzusetzen sind.

**Frage: Wenn man die ganzen Strategieelemente betrachtet, die Sie beschrieben haben, scheint darin auch viel Potenzial für die Entwicklung von Geschäftsfeldern für Ihren örtlichen Energieversorger zu stecken. Wie wichtig ist die Rolle dieses Akteures?**

*Antwort:* Die Bedeutung ist nicht zu unterschätzen. Der örtliche Energieversorger kennt die Situation vor Ort sehr gut und war daher für die Konzeption quartierspezifischer Strategien der zentrale Akteur. Die Entwicklung von Geschäftsfeldern ist dabei natürlich ein ureigenes Interesse. Der Aufbau und die Steuerung von Smart Grids war ein solches Tätigkeitsfeld genauso wie die Installation der infrastrukturellen Komponenten eines effizienten KWK-Systems. Neben den Erzeugungsanlagen meine ich damit vor allem die Speicher und die Unterstützung bei Leuchtturmprojekten, wie beispielsweise der KWKK-Versorgung des Rathauses. Aber noch ein weiteres Element ist sehr wichtig: Durch die räumliche Nähe des Versorgers zu den Kunden gibt es einen sehr engen Kontakt und ein hohes Vertrauensverhältnis zwischen den beiden Seiten. Da die Verbraucherinnen und Verbraucher die Veränderungen des örtlichen Energiesystems an vielen Stellen live mitbekommen haben und sie ja auch animiert wurden, selber Beiträge zu leisten - zum Beispiel durch den Kauf effizienter Heizungsanlagen, wenn ein Austausch anstand - war es wichtig den lokalen Versorger als beratenden Partner an der Seite zu haben.

**Frage: Das heißt, neben den rein technischen Angeboten gab auch nicht-technische Geschäftsfelder, die der Energieversorger entwickeln konnte.**

*Antwort:* Ja genau. Sehr viel lief über aufsuchende Energieberatung. Hierbei wurden sehr spezifische Angebote und Strategien für die Gebäudeeigentümer entwickelt, damit bottom-up Prozesse angeschoben werden, die einen wichtigen Beitrag für unsere KWK-Strategie liefern.

**Frage: Sie schneiden da ein wichtiges Thema an: Was halten eigentlich die Bürgerinnen und Bürger in Duismund von Ihrem Konzept? Haben sie „Grüne KWK“ als Baustein der Energiewende akzeptiert?**

*Antwort:* Grundsätzlich ist es nicht so, dass Technologiestrategien, wie unsere "Grüne KWK", unmittelbare Auswirkungen auf die Akzeptanz für die Energiewende in der Bevölkerung haben. Hier muss deutlich differenziert werden. Wir sollten nicht davon ausgehen, dass es in der Bevölkerung eine einheitliche, pauschale Akzeptanz für die Energiewende gibt, die sich durch den Einsatz bestimmter Technologien einfach so verändern ließe.

Wir stellen aber schon fest, dass bestimmte Elemente unserer KWK-Strategie bei den Duismundern gut ankommen - sicherlich auch, weil wir unsere Konzepte immer auf die jeweiligen Bedingungen in den Quartieren zuschneiden und dabei immer sehr nah an der konkreten Situation der Menschen in den Quartieren agieren. Dadurch werden tendenziell mehr Leute im positiven Sinne beteiligt und können an der Energiewende teilhaben - auch wenn sie diesen größeren Zusammenhang vielleicht gar nicht unmittelbar wahrnehmen. Aber es ändern sich die Sichtbarkeit, Wahrnehmbarkeit und Beeinflussbarkeit der Energieversorgung in den Augen der Bevölkerung.

**Frage: Das war ein interessantes Hintergrundgespräch. Könnten Sie vielleicht abschließend noch mal versuchen, ein paar zentrale Empfehlungen auszusprechen. Was raten Sie anderen Entscheidungsträgern, die in ihrer Kommune eine KWK-Strategie aufsetzen wollen?**

*Antwort:* Zuerst einmal muss man feststellen, dass es nicht den einen Königsweg gibt. Das, was wir hier in Duismund umgesetzt haben, ist ein möglicher Weg zu einer effizienten KWK. Es gibt aber Elemente, die als Erfolgsfaktor heraus gestellt werden müssen und sicherlich übertragbar sind.

Hierzu zählt, dass ich klar empfehle, stärker auf Dezentralität und die Ausarbeitung von Quartierskonzepten zu setzen. Dieses ist nicht nur technisch begründet, sondern hat auch etwas mit der Nähe zu den Verbraucherinnen und Verbrauchern zu tun.

Auf der technischen Ebene ist weiterhin der Aufbau von Smart Grids und die Verknüpfung der KWK-Anlagen in diesen Netzen von entscheidender Bedeutung - wichtige Systemkomponenten eines solchen flexiblen Systems sind Wärmespeicher. Das war für uns hier in Duismund ein zentraler Baustein, der sicherlich auch in anderen Kommunen von Bedeutung ist.

Weiterhin lässt sich zumindest für Kommunen mit Fernwärmeversorgung feststellen, dass LowEx-Systeme im Rücklauf dieser Netze eine sehr effiziente technologische Option zur Versorgung von Wohnquartieren mit gutem Sanierungsstandard sind.

Zu „Grüner KWK“ gehört natürlich auch die umfangreiche Einbindung erneuerbarer Energiequellen. Die großmaßstäbliche Nutzung Solarthermie ist hier eine Option, die wir erfolgreich getestet haben und die sicherlich auch an anderen Orten umsetz-

bar ist. Speziell für das Ruhrgebiet bietet sich auch Tiefengeothermie an - die Region ist aufgrund ihrer Bergbauerfahrungen hierfür prädestiniert.

Auf der strategischen Ebene ist es wichtig, die Konzepte partizipativ zu entwickeln. Hierzu gehört es neben der politischen Ebene und dem Energieversorger auch Interessensverbände, Forschung und natürlich auch die Menschen vor Ort einzubeziehen.

Eine entscheidende Rolle kommt den lokalen Energieversorgern zu. Unsere Erfahrungen in den letzten Jahren zeigen, dass sie sich über die Entwicklung entsprechender Geschäftsfelder entlang der Technologiestrategie als zentraler Akteur in der Umsetzung an der Schnittstelle zwischen Politik und Endverbrauch positionieren sollten.

## 5 Anhang 4 Grüne KWK – Szenariovarianten

Die Diskussion der Wechselbeziehungen während des Workshops verlief an einigen Stellen kontrovers. Einige alternative Bewertungen wurden im Nachgang des Workshops durchgespielt und hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf das Set konsistenter Szenarien geprüft.

Ein Diskussionsstrang verlief entlang des Einflusses der Verknüpfung von SmartGrid auf die Nutzung von KWKK. Die abgestimmte Einschätzung zu diesem Punkt ist, dass das Nicht-Gelingen der Verknüpfung von Smart Grids und KWK-Anlagen keinen Einfluss auf den Ausbau der KWKK hat. Weder wurde angenommen, dass dadurch die forcierte Nutzung in Industrie/GHD bzw. zur Kühlung öffentlicher Gebäude beeinflusst wird, noch wurde eine Verstärkung der Deskriptorausprägung "Kein nennenswerter Ausbau der KWKK" gesehen. Einige Experten kamen bei letztgenanntem Punkt zu einer anderen Einschätzung. Sie gehen davon aus, dass die ausbleibende Verknüpfung von Smart Grids und KWK-Anlagen dazu beiträgt, dass es tatsächlich nicht zu einem nennenswerten Ausbau der KWKK kommt. Sie bewerten das Feld 3b auf 2a mit +2 (in der abgestimmten Version mit 0 bewertet). Setzt man diese Einschätzung in der Matrix um, ergibt sich eine Veränderung des Szenario-Sets. Die ersten vier Szenarien bleiben gleich - so, wie in der dem Interview zugrundeliegenden Ausprägung. Auch Konsistenzwert und Wirkungstotale verändern sich nicht. Die vier Pfade bleiben die belastbarsten im gesamten Set. Es kommt jedoch eine weitere Szenariopfad hinzu, der (im Sinne des Zukunftsbildes Grüne KWK) eine Art worst-case Szenario darstellt. In diesem Pfad gibt es keinen KWKK-Ausbau, die Verknüpfung von Smart Grids und KWK gelingt nicht, die KWK ist zentral ausgerichtet und die Akzeptanz für die Energiewende sinkt. Der Konsistenzwert dieses Szenarios beträgt 0, die Wirkungstotale 16 - es handelt sich demnach um ein weniger robustes Szenario als die Pfade des ursprünglichen Sets. Die deutlichen Veränderungen durch das Umstellen einer Zahl unterstreicht zwar die zentrale Bedeutung der erfolgreichen Verknüpfung von Smart Grids und dem KWK-System - aufgrund der statistischen Werte wird hierfür jedoch kein alternatives Handlungsszenario entworfen.

Weiterhin wurde der Einfluss der Smart-Grid/KWK-Verknüpfung auf den Einsatz der unterschiedlichen erneuerbaren Energiequellen intensiv diskutiert. In der finalen Version wurde bewertet, dass das Gelingen dieser Verknüpfung die Schwerpunkte Solarthermie leicht fördert (+1), Geothermie fördert (+2) und die Erzeugung aus Biogas/Biomethan stark gefördert wird (+3). Einige Expertinnen und Experten waren der Ansicht, dass der Schub, den die Verknüpfung der Anlagen mit Smart Grids verursacht, weniger stark ausgeprägt ist. Eine alternative Bewertung lautet Solarthermie (+1), Geothermie (+1) und Biogas/Biomethan (+2).

**Tabelle 6: Zukunft der Wasserstoffwirtschaft – Alternatives CIB Szenario-Tableau**

Szenario	1	2	3	4
Konsistenzwert	0	0	0	0
Wirkungstotale	50	50	26	17
<b>Deskriptor</b>	<b>Ausprägung</b>			
Zentralitätsgrad	Quartiersversorgung			
Smart Grid	Gelingt			
LowEx	Rücklaufeinbindung in Fernwärmenetze		Kalte Nahwärme	
Speicherkapazität	Wärmespeicher		Gasspeicher	
Akzeptanz	Steigt		bleibt gleich	sinkt
KWKK	Industrie und GHD	Öffentliche Gebäude	Kein Ausbau	
Erneuerbare	Solarthermie		Biogas/Biomethan	

Das Tableau zeigt, dass die stabilsten Szenarien (1 und 2), bezogen auf die hohe Wirkungstotale wiederum diejenigen sind, die auch für das Handlungsszenario im Sinne einer Grünen KWK im Ruhrgebiet analysiert wurden. Lediglich Tiefengeothermie kann sich hier nicht durchsetzen. Die Szenarien 3 und 4 entsprechen den Szenarien 5 und 6 im ursprünglichen Set. Hierdurch wird erneut die Bedeutung des Deskriptors Smart Grids/KWK unterstrichen.

Weiterhin wurde die Auswirkungen des Zentralisierungsgrades der zukünftigen KWK-Erzeugung an vielen Stellen intensiv diskutiert - insbesondere bei der Frage, wie sich der Zentralisierungsgrad auf die unterschiedlichen erneuerbaren Energien auswirkt. Am Beispiel Biogas/Biomethan soll eine Alternative berechnet werden. Während des Workshops war in der finalen Variante der Matrix festgehalten worden, dass eine zentrale Versorgung und die Quartiersversorgung eine fördernde Wirkung auf den Einsatz von Biogas/Biomethan hat (+2) und dass die Objektversorgung einen leicht förderlichen Einfluss auf Biogas/Biomethan hat (+1). Begründet wurde diese Bewertung mit Blick auf die Größe der Erzeugungsanlagen. Bei Objektversorgung wurde in Frage gestellt, ob diese eine ausreichende Abnahme mit sich bringen.

Eine gegenläufige Diskussionsrichtung folgt dem Argument, dass kleinteilige, dezentrale Strukturen aufgrund der Transportdistanzen eher für den Biogaseinsatz geeignet sind. Eine alternative Bewertung lautet daher, dass eine zentrale Versorgung den Einsatz von Biogas/Biomethan leicht fördert (+1), eine Quartiersversorgung förderlich wirkt (+2) und dass die Objektversorgung eine stark fördernde Wirkung hat (+3).

Setzt man diese Bewertung für die Berechnung konsistenter Szenariopfade um, verändert sich das Szenario-Set allerdings nicht. Der Zentralitätsgrad der KWK-Versorgung ist demnach hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit, dass sich Bio-



gas/Biomethan als Energiequelle durchsetzt, nicht ausschlaggebend bzw. die Konsistenz von Solarthermie und Tiefengeothermie ist so hoch, dass sie durch die Veränderung dieser Bewertungsfelder nicht beeinflusst wird.

## 6 Anhang 5 Wasserstoffwirtschaft – Beschreibung der Deskriptoren und ihrer Ausprägungen

### 6.1 Deskriptor: Regenerative Energieerzeugung in Deutschland

Regenerative Energie ist die Grundvoraussetzung für CO<sub>2</sub>-freien Wasserstoff. Für die Umwandlungsschritte und damit auch für die Frage der Systemintegration ist von Bedeutung, wie die erneuerbare Energie erzeugt wird. Der Zeithorizont für die hier vorgenommene Betrachtung ist das Jahr 2050. Es wird davon ausgegangen, dass der Energiebedarf in Deutschland bis dahin weitgehend regenerativ gedeckt sein wird. Möglich ist, dass der Großteil der erneuerbaren Energie in Deutschland über Windkraft gewonnen wird. Dies kann sowohl on-shore als auch off-shore erfolgen. Ebenso denkbar ist eine weitgehende Versorgung über Photovoltaik und onshore-Windstrom. Zukünftig wird hierbei auch die Energieerzeugung auf großen Kollektorflächen eine Rolle spielen. Es sind auch politische Entscheidungen, wirtschaftliche Erwägungen oder Potenzialbegrenzungen vorstellbar, die dazu führen, dass der erneuerbare Strom im Wesentlichen importiert wird. Dieses kann sowohl durch den Import von Solarstrom aus der MENA-Region als auch über norwegische Wasserkraft erfolgen. Verbundlösungen sind ebenfalls möglich.

*Ausprägungen*

**Schwerpunkt: Wind, Erzeugung in Deutschland (on-shore und off-shore)**

**Schwerpunkt: Solar und Wind-onshore, Erzeugung in Deutschland**

**Schwerpunkt: REG-Stromimport**

### 6.2 Deskriptor: Zukünftiger Zentralisierungsgrad des Stromsystems

Beleuchtet man das Thema *Wasserstoff im Ruhrgebiet* aus infrastruktureller Perspektive, wird es eine Rolle spielen, wie zentralisiert die Stromerzeugung in dieser Region sowie in NRW bzw. Deutschland zukünftig sein wird. Die Schnittstellen zur Erzeugung, Verteilung und Nutzung von Wasserstoff sind hier unmittelbar betroffen. Zwei grundlegende Ausrichtungen der zukünftigen Stromerzeugung in Deutschland sind denkbar.

Zum einen ist es möglich, dass zentrale Strukturen weitgehend dominant bleiben. Gründe hierfür könnten eine Persistenz der bestehenden Akteursstrukturen (Erzeuger und Verbraucher) und Netzstrukturen sein – die auch in Zukunft am effizientesten über ein zentrales Energiesystem zu bedienen sind. Die Integration erneuerbarer Energien ist damit nicht ausgeschlossen – sie hätte nur ebenfalls eine stärker zentrale Struktur.

Zum anderen könnte der Fokus in Zukunft stärker auf dezentralen Lösungen (Beispiel: Quartiere) liegen. Der Aufbau entsprechender Strukturen (Smart Grids, Speicher, ...) wäre hiermit verbunden.

*Ausprägungen***Eher zentrales System****Eher dezentrales System****6.3 Deskriptor: Industriestandort Ruhrgebiet**

Eine sehr entscheidende Frage ist, inwiefern die Energiewende (und damit auch der Einsatz von regenerativem Wasserstoff) eine Chance bietet, den Strukturwandel in der Region in eine nachhaltige Richtung zu lenken. Es ist denkbar, dass das Ruhrgebiet das industrielle Herz NRWs und Deutschlands bleibt. In diesem Szenario verbleiben die energieintensiven Großkonzerne in NRW. Entschiedene Maßnahmen auf allen politischen Ebenen wären notwendig, um den Strukturwandel zu stoppen und in diese Richtung zu lenken. Auch die fortschreitende De-Industrialisierung ist eine denkbare zukünftige Entwicklung. Die Bedeutung NRWs als Industriestandort nimmt weiter ab - der Dienstleistungssektor wird dominant (ähnlich der Entwicklung in Großbritannien seit den 1970er Jahren). Eine dritte Option wird mit Green Growth - Grey De-growth umschrieben. Sie macht dass die energieintensiven Industrien aus NRW abwandern. Grüne Branchen, wie der Biotechnologiesektor oder der Maschinenbau (regenerative Energietechnik) sowie der Sektorservice gewinnen in diesem Szenario an Bedeutung.

*Ausprägungen***Industrielles Herz Deutschlands****Fortgesetzte De-Industrialisierung****Green Growth - Grey De-growth****6.4 Deskriptor: Entwicklung der Wasserstoff-Infrastruktur**

Die Frage nach der zukünftigen Ausrichtung der Wasserstoff-Infrastruktur im Ruhrgebiet schließt sich unmittelbar an die Überlegungen zur Ausrichtung des Stromsystems an. Folgende Möglichkeiten Wasserstoff zu erzeugen und zum Verbraucher zu transportieren sind denkbar. Die erste Option wäre, den Wasserstoff von Küstenstandorten über zu errichtende Pipeline-Strukturen in das Ruhrgebiet zu leiten. Ebenso könnte als zweite Option der Strom über HGÜ-Leitungen nach NRW gelangen – mittels zentralen Elektrolyseuren wird hier der Wasserstoff erzeugt und über regionale Netze im Ruhrgebiet verteilt. Drittens ist denkbar, dass die Wasserstoffherzeugung und -verwendung vollständig dezentral erfolgt. Netzstrukturen müssten bei dieser Option nicht zusätzlich errichtet werden.

*Ausprägungen***Überregionale H<sub>2</sub>-Netze****Regionale H<sub>2</sub>-Netze**

## Dezentrale H<sub>2</sub>-Erzeugung und Verwendung

### 6.5 Deskriptor: Kristallisationspunkte einer zukünftigen Wasserstoffwirtschaft

Es wird angenommen, dass die Weichen für die zukünftige (langfristige) Entwicklung der Wasserstoffwirtschaft bereits heute bzw. in den nächsten Jahren gestellt werden. Es wird weiterhin davon ausgegangen, dass bestimmte Einsatzbereiche als Kristallisationspunkt für die zukünftige Entwicklung fungieren. Über diese Einsatzbereiche wird das Thema *Wasserstoff* langfristig weiterentwickelt und strahlt dann auf andere Einsatzbereiche aus.

Mögliche – aktuell erkennbare – Kristallisationspunkte sind:

*Verkehr* - Mit Wasserstoff betriebene Brennstoffzellenfahrzeuge sind energetisch hocheffizient und können emissionsfrei betrieben werden. Gegenüber den heute besten verfügbaren Fahrzeugen können sie aufgrund des eingesetzten Elektromotors, des geringen spezifischen Gewichts des Kraftstoffs und der hocheffizienten Umwandlung von Wasserstoff in Strom einen sehr hohen Gesamtwirkungsgrad (Tank to Wheel) erzielen. Insofern kommt Ihnen neben den Batteriefahrzeugen eine wichtige Rolle in den vorhandenen technischen Konzepten zur Dekarbonisierung des Individualverkehrs zu.

*Rückverstromung* - Neben der nachfrageseitigen Pufferwirkung der Elektrolyse (DSM) könnte Wasserstoff auch angebotsseitig als Energieträger für die Rückverstromung in konventionellen Gaskraftwerken oder in Brennstoffzellen eingesetzt werden. Allerdings ist Wasserstoff nur eine von mehreren Optionen zur Speicherung von Energie. Falls diese Option langfristig einen Platz im Energiesystem finden sollte, könnte auch das Ruhrgebiet Standort der Rückverstromung werden, mit dem Vorteil der räumlichen Nähe zu den Stromverbrauchern.

*Chemieindustrie* - Fossile Kohlenwasserstoffe (Erdgas, Erdölprodukte) sind neben Strom heute die bedeutendsten Endenergieträger und der entscheidende Grundstoff der organischen Chemie. Mittelfristig könnte der heute aus fossilen Kohlenwasserstoffen erzeugte Wasserstoff, der als Zwischenprodukt z.B. für die Haber-Bosch-Synthese (Ammoniakproduktion) benötigt wird, aus regenerativen Quellen (Wasserelektrolyse mit REG-Strom) gewonnen werden.

*Ausprägungen*

**Verkehr**

**Rückverstromung**

**Chemieindustrie**

## 7 Anhang 6 Wasserstoffwirtschaft – Experteneinschätzungen zum konsistenten Szenariopfad

### 7.1 Regenerative Energieerzeugung in Deutschland durch Windkraft (on-shore und off-shore)

Die folgenden Ausführungen geben die Kernaussagen der Workshop-Diskussion zu den einzelnen Deskriptoren wieder - fokussiert wird dabei auf Aussagen zu Deskriptorausprägungen, die sich im konsistenten Szenariopfad "1" durchsetzen. Wichtige Aussagen zu anderen Ausprägungen werden ebenfalls aufgegriffen.

*Der Deskriptor "Struktur der regenerativen Stromerzeugung in Deutschland" hat die Ausprägungen "Wind on- und off-shore", "Solar und Wind on-shore" und "Stromimport". Für alle Ausprägung gilt, dass sie sich nicht zwangsläufig gegenseitig ausschließen. Es sollte daher diskutiert werden, wie es sich auswirkt, wenn ein Schwerpunkt auf der jeweiligen Ausprägung liegt. Im konsistenten Szenariopfad setzt sich die Ausprägung "Wind on- und off-shore" durch. Folgende Aspekte wurden während des Workshops zu dieser Ausprägung diskutiert:*

Eine wichtige Rahmenbedingung für alle Diskussionen und Einschätzungen zum Ausbau der regenerativen Stromerzeugung ist die stabile Verfügbarkeit. Gewährleistete Versorgungssicherheit muss als eine notwendige Rahmenbedingung für die Diskussionen gesetzt sein. Die Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit der Industrie ist grundsätzlich (unabhängig vom Ruhrgebiet) wichtig mit Blick auf den Ausbau erneuerbarer Energien. Eine weitere Rahmenbedingung für den zukünftigen REG-Ausbau ist ein hinreichend flexibles Gesamtsystem.

Es wird davon ausgegangen, dass der Schwerpunkt "Solar und Wind on-shore" in der REG-Stromerzeugung dazu führt, dass die Stromerzeugung auch weiterhin einen hohen Zentralitätsgrad aufweist, da für den Transport des Stroms aus großen Windparks zentrale Leitungsnetze benötigt werden.

Die Expertinnen und Experten sind der Ansicht, dass grundsätzlich die Entwicklung des Ruhrgebietes fast keinen Einfluss auf die regenerative Stromerzeugung in Deutschland hat. Die Bundesebene (Gesetzgebung) ist hier eher bestimmend. Die Ausbaugeschwindigkeit wird nicht durch den Industriestandort Ruhrgebiet bestimmt. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Gesamtstrommenge beeinflusst wird; aber nicht so signifikant, dass es zu strukturellen Veränderungen in der REG-Stromerzeugung kommt.

## 7.2 Zukünftiges Stromsystems eher zentral

*Der Deskriptor "Zukünftiger Zentralisierungsgrad des Stromsystems" hat die Ausprägungen "eher zentral" und "eher dezentral". Im konsistenten Szenariopfad setzt sich die Ausprägung "eher zentral" durch. Folgende Aspekte wurden während des Workshops zu dieser Ausprägung diskutiert:*

Grundsätzlich wurden die Auswirkungen des Zentralitätsgrades auf die regenerative Stromerzeugung durch die Expertinnen und Experten so bewertet, dass sich zentrale Strukturen eher hemmend auf die solar Energieerzeugung auswirkt. Wobei zu bedenken gegeben wird, dass zukünftig solare Energieerzeugung auch stärker in großen Solarparks stattfinden wird, die wiederum zentrale Strukturen befördern könnten. Weiterhin wurde festgehalten, dass dezentrale Strukturen sich eher hemmend auf die Wind off-shore Erzeugung und den Stromimport auswirken, da hierdurch die Verteilung erschwert wird.

Entsprechend wird auch die Wirkung der Schwerpunktsetzung in der regenerativen Stromerzeugung in der Hinsicht bewertet, dass die Ausprägungen Wind (on- / off-shore) sowie Stromimport förderlich für ein zentrales Stromsystem sind.

Grundsätzlich wird auch davon ausgegangen, dass ein starker Industriestandort im Ruhrgebiet zentrale Strukturen fördert, da es zu einer hohen Konzentration von Großverbrauchern und Großherzeugern kommt. Green Growth würde eine Wirtschaftsstruktur wie zum Beispiel in Süddeutschland bedeuten. Weniger Grundstoffindustrie, eher Anlagenbau und ähnliches – dies würde weniger Strombedarf mit sich bringen und daher ein eher dezentrales System fördern.

De-Industrialisierung fördert dezentrale Strukturen, da der Strombedarf weniger konzentriert ist. Green Growth bedeutet, dass zentrale Nachfragepunkte wegfallen, gleichzeitig aber andere Industriezweige aufkommen. Diese brauchen auch Energie, aber nicht im selben Maß, wie die wegfallenden. De-Industrialisierung hat auf die Zentralität des Stromsystems einen stärkeren Effekt (in Richtung Dezentralität) als Green Growth / Grey De-growth.

Mit Blick auf die mittelfristigen Kristallisationskeime der Wasserstoffwirtschaft im Ruhrgebiet stellen die Expertinnen und Experten fest, dass mit Blick auf den Kristallisationskeim "Verkehr" derzeit noch nicht absehbar ist, ob dieser eher dezentrale oder zentrale Strukturen fördert. Im Fall der Rückverstromung ist das Bild klarer. Hier wären zentrale Netze wahrscheinlich besser, weil sie mehr Flexibilität gewährleisten.

## 7.3 Ruhrgebiet bleibt industrielles Herz Deutschlands

Der Deskriptor "Industriestandort Ruhrgebiet" hat die Ausprägungen "Industrielles Herz Deutschlands", "Fortschreitende De-Industrialisierung" und "Green Growth / Grey De-Growth". Im konsistenten Szenariopfad setzt sich die Ausprägung "Indust-

rielles Herz Deutschlands" durch. Folgende Aspekte wurden während des Workshops zu dieser Ausprägung diskutiert:

Grundsätzlich wurde insbesondere die Diskussion um die Ausprägung "Green Growth / Grey De-Growth" sehr kontrovers geführt. Durch einige der Expertinnen und Experten wurde in Frage gestellt, ob es so etwas wie einen "Green Growth" überhaupt geben kann. Einigkeit herrschte unter den Expertinnen und Experten hinsichtlich der Einschätzung, dass ein grünes Wachstum nicht zu der selben Wirtschaftsleistung führen wird, wie es die derzeitige Industriestruktur in der Region hervorbringt. Als Rahmenbedingung wird festgehalten, dass eine De-Industrialisierung des Ruhrgebiets nicht zu einer Standortverlagerung innerhalb Deutschlands oder Europas führt, sondern dass die Unternehmen ihre Produktion in Regionen außerhalb Europas verlagern.

In den Kernthesen zur Struktur der regenerativen Stromerzeugung wurde beschrieben, dass das Ruhrgebiet nach Einschätzung der Expertinnen und Experten wenig Einfluss darauf hat, wie in Deutschland Strom aus erneuerbaren Energien erzeugt wird. Die umgekehrte Frage, welchen Einfluss die Struktur der regenerativen Stromerzeugung auf den Industriestandort hat, wird so beantwortet, dass der Ausbau erneuerbarer Energien grundsätzlich in der Tendenz dazu führt, dass das Ruhrgebiet als Standort der Schwerindustrie geschwächt wird. Standortverlagerungen sind möglich.

Eine positive Beeinflussung wird an den Schnittstellen zwischen dem Ausbau erneuerbarer Energien (Schwerpunkt Wind on- / off-shore und Schwerpunkt Solar und Wind) und einer "Green-Growth / Grey De-Growth"-Entwicklung gesehen. Diese Einschätzung gilt, wenn es Firmen im Ruhrgebiet gibt, die von dem Ausbau erneuerbarer Energien und den zugehörigen Technologien profitieren. Zu beachten ist, dass bei dieser Abwägung eine Geschäftsfeldperspektive eingenommen wird – während bei den vorhergehenden Abschätzungen aus einer Versorgungsperspektive argumentiert wurde.

Die Wechselwirkung zwischen Zentralisierungsgrad und dem Industriestandort Ruhrgebiet wird so beurteilt, dass zentrale Erzeugungs- und Versorgungsstrukturen eher dazu beitragen, dass das Ruhrgebiet das industrielle Herz Deutschlands bleibt. Eine De-Industrialisierung würde gehemmt. Umgekehrt verstärkt eine fortschreitende Dezentralisierung der Erzeugungs- und Versorgungsstruktur aus Sicht der Expertinnen und Experten die De-Industrialisierung des Ruhrgebietes.

Förderlich für den Industriestandort Ruhrgebiet ist aus Sicht der Expertinnen und Experten auch ein überregionales H<sub>2</sub>-Netz. Es wird davon ausgegangen, dass dieses einer De-Industrialisierung entgegenwirkt.

Für die Entwicklung des Standorts Ruhrgebiet spielt eine Rolle, wie Wasserstoff mittel- und langfristig eingesetzt wird. Eine wichtige Rahmenbedingung für die Diskussion um zukünftige Einsatzfelder des (regenerativ erzeugten) Wasserstoffs ist die Preisfrage. Im Rahmen der Diskussion während des Workshops setzen die Expertinnen und Experten als Rahmenbedingung, dass "grüner" Wasserstoff genauso teuer

sein muss, wie fossil erzeugt. Ist der grüne Wasserstoff teurer und die Unternehmen werden gezwungen ihn einzusetzen, entstehen dadurch Wettbewerbsnachteile, die zu einer Verschlechterung des Standortes führen können.

Hinsichtlich des langfristigen Einsatzgebietes von Wasserstoff setzt sich die Ausprägung "Stationäre und mobile Anwendung beim Endverbraucher" durch. Es wird davon ausgegangen, dass dieses keinen Einfluss auf die Entwicklung des Standortes "Ruhrgebiet" hat, da es sich im Wesentlichen um eine Substitution des Brennstoffs handelt. Ökonomische Effekte bringt dies aus Sicht der Expertinnen und Experten nicht mit sich. Anders fällt diese Einschätzung aus, wenn Wasserstoff langfristig für Synfuels eingesetzt wird. Die dadurch entstehenden Arbeitsplätze könnten eine hemmende Wirkung auf die De-Industrialisierung haben. Ebenso werden leicht positive Effekte auf die Entwicklung "Green Growth / Grey De-Growth" gesehen.

#### **7.4 Die H<sub>2</sub>-Infrastruktur entwickelt sich in Richtung überregionaler Netze**

*Der Deskriptor "Entwicklung der Wasserstoff-Infrastruktur" hat die Ausprägungen "Überregionale H<sub>2</sub>-Netze", "Regionale H<sub>2</sub>-Netze" und "Dezentrale Erzeugung und Verwendung von H<sub>2</sub>". Im konsistenten Szenariopfad setzt sich die Ausprägung "Überregionale H<sub>2</sub>-Netze" durch. Folgende Aspekte wurden während des Workshops zu dieser Ausprägung diskutiert:*

Die Frage der Wasserstoff-Infrastruktur bzw. wie diese in Wechselbeziehung zu den anderen Systemkomponenten steht, wurde während des gesamten Workshops sehr kontrovers diskutiert.

Auch wenn festgestellt wurde, dass Infrastruktur-Auf- und Ausbau grundsätzlich positive Impulse setzt, ist dennoch aus heutiger Sicht in vielen Bereichen schwer absehbar, welche Wirkungen die unterschiedlichen Varianten (überregional, regional und dezentral) entfalten werden.

Ein Diskussionspunkt drehte sich um die Frage, ob sich die verschiedenen Netzebenen ausschließen. Es kann davon ausgegangen werden, dass überregionale Netze die regionale Ebene als Anknüpfungspunkt benötigen. So wird festgehalten, dass die Differenzierung andeuten soll, wo Schwerpunkte gesetzt werden. Im Fall von regionalen Netzen würde das bedeuten, dass auf den Ausbau großskaliger Netze verzichtet wird.

Es gibt ganz grundsätzliche Bedenken bezüglich des Aus- und Aufbaus von Wasserstoffnetzen. Wenn die Maxime ist, CO<sub>2</sub> zu reduzieren, könnte man den Wasserstoff auch direkt in das Erdgasnetz einspeisen. Die Erzeugungskosten liegen hier jedoch viel höher als beim Erdgas, sodass diese Option in Frage gestellt wird. Wahrscheinlicher ist mittelfristig die Methan-Einspeisung in das Erdgasnetz und eher in der langfristigen Perspektive der Aufbau eines alternativen Netzes.

Gegen eine netzgebundene Wärmeversorgung spricht nach Ansicht der Expertinnen und Experten auch der geringere Heizwert des Wasserstoffs. Die mobile Verteilung (ähnlich wie beim Benzin) wird für wahrscheinlicher gehalten.



Ein Vorteil großer (überregionaler) Netze wird darin gesehen, dass diese tendenziell mehr Flexibilität (Puffer) in das System bringen.

Nach Einschätzung der Expertinnen und Experten fördern überregionale H<sub>2</sub>-Netze sowohl Wind- (in stärkerem Maße) als auch Solar-Stromerzeugung. Als sehr kritisch wird jedoch die Finanzierung überregionaler Netze - parallel zum bestehenden Gasnetz - eingeordnet. Es wird als notwendige Rahmenbedingung festgehalten, dass hierfür geeignete Finanzierungsmodelle gefunden werden. Auf den REG-Stromimport haben regionale und überregionale H<sub>2</sub>-Netze keinen Einfluss. Der REG-Stromimport hängt eher davon ab, wie das intranationale Stromnetz ausgebaut wird. Umgekehrt wird davon ausgegangen, dass der Stromimport auf überregionale H<sub>2</sub>-Netze einen hemmenden Einfluss hat. Strom einzukaufen, um ihn dann in H<sub>2</sub> umzuwandeln erscheint nicht sinnvoll.

Die Frage, wie sich Wasserstoff-Infrastrukturen auf den Zentralitätsgrad der Stromerzeugung auswirken, wird ebenfalls differenziert erörtert. Eine Argumentationslinie geht davon aus, dass weniger zentrale Stromnetze gebraucht werden, wenn mehr überregionale Wasserstoff-Netze entstehen. Umgekehrt wird argumentiert, dass zentrale Strukturen gefördert werden, wenn Wasserstoff an wenigen Stellen erzeugt und eingespeist wird.

Nach Ansicht der Expertinnen und Experten ist es technisch naheliegend, in überregionale Netze mit großen Elektrolyseuren einzuspeisen. Überregionale Netze würden damit das zentrale Stromsystem eher in Frage stellen. Gleichzeitig halten die Expertinnen und Experten es für möglich, dass ein überregionales Wasserstoff-Netz auch großskalige Windenergieerzeugung (und dazugehörige Netze) fördert, da die Betreiber der Parks bessere Möglichkeiten haben, ihren Strom einzuspeisen. In der Konsequenz würde ein überregionales H<sub>2</sub>-Netz nicht ohne große Stromnetze funktionieren. Für eine signifikante Wasserstoffwirtschaft muss REG-Strom produziert und zur Verfügung gestellt werden.

Aus Sicht der Expertinnen und Experten wirkt sich ein starker industrieller Standort Ruhrgebiet förderlich auf überregionale und leicht förderlich auf regionale H<sub>2</sub>-Netze aus. Die Wirkung der De-Industrialisierung auf den Netzausbau wird als hemmend bewertet – sowohl bei überregionalen als auch bei regionalen. Wenn es keine wirtschaftliche Entwicklung gibt, steigt auch die Wasserstoffnachfrage nicht, dementsprechend gibt es auch keine Notwendigkeit, Infrastrukturen auszubauen.

Mit Blick auf die mittelfristigen Kristallisationskerne wird davon ausgegangen, dass der Einsatz im Verkehr im Ruhrgebiet eine leicht förderliche Wirkung auf den Infrastrukturausbau auf allen drei räumlichen Netzebenen hat.

Die Frage, wie sich die Wasserstoffnutzung zur Rückverstromung auf die überregionalen Wasserstoffnetze auswirkt, wird kontrovers diskutiert. Grundsätzlich wird hinterfragt, warum die Rückverstromung am Standort Ruhrgebiet stattfinden sollte und nicht an den Orten der Erzeugung und Speicherung des Wasserstoffs – also beispielsweise in Norddeutschland. Dann würden für den Energietransport ins Ruhrgebiet nur Stromnetze aber keine H<sub>2</sub>-Pipelines benötigt. Legt man fest, dass die Rück-

verstromung im Ruhrgebiet stattfinden soll, hätte dieses einen leicht förderlichen Einfluss auf den Infrastrukturausbau auf allen drei räumlichen Netzebenen.

Der Kristallisationspunkt "Grüner Wasserstoff in der Chemieindustrie" spricht eher für regionale Netze oder netzunabhängige dezentrale Erzeugung und Verwendung von H<sub>2</sub>. Der Grund wird darin gesehen, dass ein H<sub>2</sub>-Einsatz in der Chemie nicht auf einen externen Markt abzielt, sondern vielmehr die Eigenversorgung in den Blick nimmt.

Aus Sicht der Expertinnen und Experten führen alle drei langfristigen Einsatzgebiete zu einer Förderung überregionaler H<sub>2</sub>-Netze. Besonders stark ist der Impuls, wenn langfristig auf den Einsatz von Wasserstoff als Reduktionsmittel in der Stahlindustrie im Ruhrgebiet gesetzt wird. Aber auch bei der (mobilen und stationären) Anwendung beim Endverbraucher ebenso wie beim Schwerpunkt Synfuels kommt es zu einer entsprechenden Förderung überregionaler H<sub>2</sub>-Netze. Im Fall des Einsatzes beim Endverbraucher wird dieser Effekt hergeleitet, weil Strukturen ähnlich der heutigen Erdgasversorgung notwendig wären. Zur Verteilung der synthetischen Kraftstoffe wären Pipelines grundsätzlich notwendig. Die Wirkung wäre auf überregionale Netze etwas stärker als auf regionale Netze bzw. dezentrale H<sub>2</sub>-Erzeugung und -Nutzung.

## 7.5 Kristallisationspunkt einer zukünftigen Wasserstoffwirtschaft ist der Verkehrssektor

*Der Deskriptor "Kristallisationspunkte einer zukünftigen Wasserstoffwirtschaft" kann die Ausprägungen "Verkehr", "Rückverstromung" und "Grüner Wasserstoff in der Chemieindustrie" einnehmen. Für alle Ausprägung gilt, dass sie sich nicht zwangsläufig gegenseitig ausschließen. Es sollte daher diskutiert werden, wie es sich auswirkt, wenn ein Schwerpunkt auf der jeweiligen Ausprägung liegt. Im konsistenten Szenariopfad setzt sich die Ausprägung "Verkehr" durch. Folgende Aspekte wurden während des Workshops zu dieser Ausprägung diskutiert:*

Insgesamt wird die Frage, wie sich die mittelfristigen Kristallisationskeime auf die Struktur der regenerativen Stromerzeugung auswirken, sehr kontrovers diskutiert.

Der Einsatz von H<sub>2</sub> im Verkehr setzt die energieintensive Erzeugung und Verdichtung des Wasserstoffs voraus. Grüner Strom könnte dafür genutzt werden. Wasserstoffherzeugung braucht konstant REG-Strom und fördert daher eher Windenergie, die fluktuierende PV-Stromerzeugung birgt hier Risiken.

Umgekehrt wird angenommen, dass die Struktur der regenerativen Stromerzeugung keinen Einfluss auf die Kristallisationspunkte der zukünftigen Wasserstoffwirtschaft hat. Eine Ausnahme ist der REG-Stromimport. Dieser würde sich aus Sicht der Expertinnen und Experten stark hemmend auf die Rückverstromung als Kristallisationspunkt auswirken. Vor allem Kostenargumente scheinen hier eine Bedeutung zu haben.

Es wird weiterhin seitens der Expertinnen und Experten davon ausgegangen, dass auch der Zentralitätsgrad des Stromsystems keinen signifikanten Einfluss auf die Kristallisationspunkte einer Wasserstoffwirtschaft im Ruhrgebiet hat.

Der Kristallisationspunkt "Verkehr" bedeutet weiterhin aus Sicht der Expertinnen und Experten die Erhöhung des Wachstums (neue Absatzmärkte) und hat daher einen leicht förderlichen Einfluss auf den Industriestandort Ruhrgebiet. Im Moment ist für die Expertinnen und Experten aber nicht absehbar, wie groß ein Kristallisationspunkt "Verkehr" und das entsprechende H<sub>2</sub>-Verwendungspotenzial tatsächlich wäre.

Im Falle des Kristallisationspunktes "Rückverstromung" sehen die Expertinnen und Experten einen stärkeren Einfluss. Hier wird argumentiert, dass über die Rückverstromung von Wasserstoff Energiemengen bereitgestellt werden können, die zur industriellen Stärkung des Standortes beitragen.

Eine detaillierte Diskussion entwickelte sich entlang der umgekehrten Fragestellung, welchen Einfluss die Entwicklung des Industriestandortes Ruhrgebiet auf die Kristallisationskeime der Wasserstoffwirtschaft in der Region haben wird. Es wird grundsätzlich davon ausgegangen, dass es durch eine De-Industrialisierung schwieriger wird, Kristallisationskerne zu etablieren und entwickeln. Umgekehrt könnte ein Ruhrgebiet, welches das industrielle Herz Deutschlands darstellt, die Kristallisationskerne "Verkehr" und "Rückverstromung" befördern. Aus Sicht der Expertinnen und Experten wird der Kristallisationspunkt "Regenerativer H<sub>2</sub> in der Chemie" weniger stark von der Industrialisierung bzw. De-Industrialisierung berührt, da es sich nur um eine Substitution des fossilen Wasserstoffes handelt. Voraussetzung für diese Einschätzung ist, dass der "grüne" Wasserstoff preislich und qualitativ das gleiche Niveau hat, wie der fossile Wasserstoff. Von einem Green-Growth / Grey De-Growth erwarten die Expertinnen und Experten einen leicht negativen Einfluss auf die Kristallisationskeime "Verkehr" und "Rückverstromung". Mit Blick auf den Verkehr wird argumentiert, dass trotz eines grünen Wachstums vermutlich viele Arbeitsplätze wegfallen und weniger Waren transportiert werden müssen. Beides hätte zur Konsequenz, dass das Verkehrsaufkommen sinkt, was wiederum den Kristallisationskeim schwächt.

## **7.6 In Zukunft liegt der Schwerpunkt der Wasserstoffwirtschaft auf stationären und mobilen Anwendungen beim privaten Endverbraucher**

*Der Deskriptor "Zukünftiger Einsatzschwerpunkt des Wasserstoff" kann die Ausprägungen "Mobile und stationäre Verwendung beim Endverbrauch", "Reduktionsmittel in der Stahlindustrie" und "Synfuels" einnehmen. Für alle Ausprägungen gilt, dass sie sich nicht zwangsläufig gegenseitig ausschließen. Es sollte daher diskutiert werden, wie es sich auswirkt, wenn ein Schwerpunkt auf der jeweiligen Ausprägung liegt. Im konsistenten Szenariopfad setzt sich die Ausprägung "Mobile und stationäre Verwendung beim Endverbrauch" durch. Folgende Aspekte wurden während des Workshops zu dieser Ausprägung diskutiert:*

Es werden starke Bedenken dazu geäußert, ob der Einsatz von Wasserstoff als Reduktionsmittel tatsächlich einen zukünftigen Verwendungsschwerpunkt darstellen kann. Insbesondere die hierfür benötigten Mengen werden hier als kritisch erachtet.

Zur Frage, wie sich die Struktur der erneuerbaren Energieerzeugung auf die zukünftigen Schwerpunkte der Wasserstoffwirtschaft auswirkt, nehmen die Expertinnen und Experten an, dass der REG-Stromimport keinen Einfluss darauf haben wird, welche der aufgezeigten Varianten sich durchsetzen wird. Es wird allerdings festgestellt, dass der Schwerpunkt "Mobile und stationäre Anwendung beim Endverbraucher" durch die Varianten "Wind on- und off-shore" und "Solar und Wind" gefördert wird – hier wird ein Preisargument angeführt. Dieselbe Wirkungsrichtung besteht aus Sicht der Expertinnen und Experten in etwas abgeschwächter Form in Richtung der Synfuels. Insgesamt verlief die Diskussion zu der Wechselwirkung zwischen REG-Stromerzeugung und Schwerpunkt der Wasserstoffwirtschaft kontrovers. Es wurde auch argumentiert, dass für die Endanwendung (abgesehen von der Preisfrage) im Prinzip egal ist, wie der Strom erzeugt wird und dass daher der Deskriptor "Struktur der REG-Stromerzeugung" keinen Einfluss auf die zukünftige Ausrichtung der Wasserstoffwirtschaft hat.

Die Expertinnen und Experten nehmen weiterhin an, dass die Ausrichtung des Stromsystems (zentral versus dezentral) keinen Einfluss darauf hat, welcher langfristige Einsatzschwerpunkt für Wasserstoff sich im Ruhrgebiet heraus bildet.

Sie sehen auch umgekehrt keinen Einfluss von der mobilen und stationären Wasserstoff-Anwendung beim Endverbrauch, auf den Zentralitätsgrad des Stromsystems.

Die Wirkung der industriellen Entwicklung des Standortes auf den langfristigen Einsatzschwerpunkt des Wasserstoffs wird so eingeschätzt, dass von einem industriellen Herz im Ruhrgebiet grundsätzlich eine leicht förderliche Wirkung auf alle drei Einsatzschwerpunkte ausgeht. Umgekehrt verhält es sich aus Sicht der ExpertInnen, bei einer fortschreitenden De-Industrialisierung. Da in der Deskriptorenbeschreibung für Green Growth angenommen wird, dass es gleichzeitig zu einem Grey De-Growth kommt, gehen die Expertinnen und Experten davon aus, dass von dieser Entwicklung ebenfalls eine hemmende Wirkung auf die Einsatzschwerpunkte "Mobil und stationär beim Endverbrauch" und "Rückverstromung" ausgeht.

Weiterhin wurde diskutiert, wie sich die Entwicklung der H<sub>2</sub>-Infrastruktur auf die langfristigen Einsatzgebiete des Wasserstoffs auswirkt. Es wird angenommen, dass von überregionalen Netzen eine leicht förderliche Wirkung auf die Anwendungen beim Endverbraucher und im Bereich Synfuels ausgeht. Eindeutiger fällt nach Einschätzung der Expertinnen und Experten jedoch die fördernde Wirkung von überregionalen Netzen auf die Rückverstromung aus.

Eine eindeutig förderliche Wirkung geht auch von regionalen Netzen auf die mobilen und stationären Anwendungen beim Endverbraucher aus. Rückverstromung und der Einsatz im Bereich Synfuels wird durch regionale Netze leicht gefördert. Die dezentrale Erzeugung und Verwendung von H<sub>2</sub> fördert den Einsatz beim Endverbrauch und

für Synfuels ebenfalls leicht, hat aus Sicht der Expertinnen und Experten jedoch keinen Einfluss auf die Rückverstromung.

Eine intensive und kontroverse Diskussion entwickelte sich entlang der Frage, welchen Effekt die mittelfristigen Kristallisationskerne der Wasserstoffindustrie auf die langfristigen Einsatzbereiche des Wasserstoffs haben. Als sehr bedeutende Verbindung (stark fördernd) wird der Einfluss des mittelfristigen Kristallisationskerns "Verkehr" auf den langfristigen mobilen und stationären Einsatz beim Endverbraucher gesehen. Im gesamten Set des Szenarios mit der höchsten Konsistenz wird hier die stärkste Bewertung abgegeben. Es wird auch eine leicht förderliche Wirkung auf den Bereich Synfuels angenommen. Hier wird jedoch intensiv diskutiert, inwieweit der langfristige Einsatz in Brennstoffzellen-Fahrzeugen eine so starke Konkurrenz auf Synfuels auslöst, dass in der Konsequenz ein Kristallisationskeim "Verkehr" hierauf sogar eine hemmende Wirkung haben könnte.

Deutlich ausgeprägter wird diese Konkurrenz beim mittelfristigen Kristallisationskeim "Rückverstromung" gesehen. Die Expertinnen und Experten sind sich einig, dass hiervon die langfristigen Einsatzbereiche allesamt gehemmt werden – wenn auch in unterschiedlich starker Weise.

Ebenso wird angenommen, dass sich der mittelfristige Einsatz von regenerativem Wasserstoff in der Chemieindustrie hemmend bzw. leicht hemmend auf den langfristigen Einsatz von Wasserstoff in anderen Bereichen wirkt. Kein Einfluss wird auf den Einsatz im Bereich Synfuels gesehen. Begründet wird dies mit voneinander unabhängigen Prozessen. Aus Sicht der Expertinnen und Experten ist der Einsatz von regenerativem H<sub>2</sub> in der Chemieindustrie kein Wegbereiter für Synfuels.