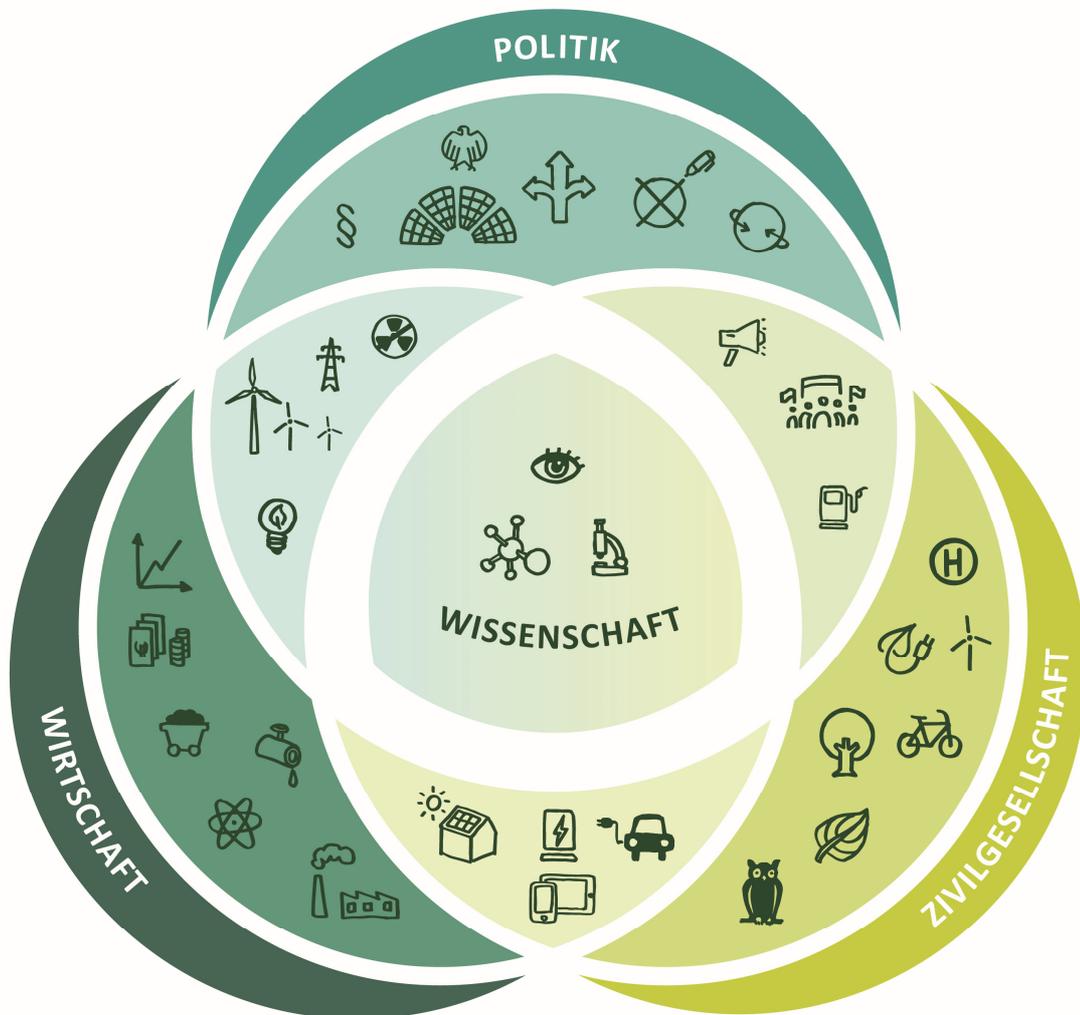




Sektorkopplung – von der Stromwende zur Energiewende

Prof. Dr. Gesine Schwan, Katja Treichel und Anne Höh



Sektorkopplung

– von der Stromwende zur Energiewende

Prof. Dr. Gesine Schwan, Katja Treichel und Anne Höh

Die HUMBOLDT-VIADRINA Governance Platform gGmbH

Die HUMBOLDT-VIADRINA Governance Platform gGmbH ist eine gemeinnützige Gesellschaft, die sich für die Förderung von demokratischen Prozessen und durchdachten Governance-Strategien in Deutschland, Europa und der Welt einsetzt. Unser Beitrag zu Good Governance konzentriert sich insbesondere auf die Grundprinzipien Transparenz und Partizipation. Mit unseren Multi-Stakeholder-Initiativen und Trialogen entwickeln wir Verfahren, mit dem Anspruch möglichst viele Perspektiven zu integrieren und sie transparent zu machen. Denn nur über Transparenz und Partizipation sind die Berücksichtigung aller Stakeholdergruppen und die daraus resultierende Stärkung von Vertrauen in politische Entscheidungsprozesse möglich.

Über das Projekt

Im April 2013 haben acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, die Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina und die Union der deutschen Akademien der Wissenschaften das interdisziplinäre Projekt „Energiesysteme der Zukunft“ (ESYS) gestartet. Rund 100 Expertinnen und Experten aus Wissenschaft sowie unternehmensseitiger Forschung erarbeiten seitdem wissenschaftlich fundierte Handlungsoptionen für die Gestaltung einer sicheren, bezahlbaren und nachhaltigen Energieversorgung. Um die Positionen unterschiedlicher Stakeholder einbeziehen zu können, tauschen sich die ESYS-Arbeitsgruppen in verschiedenen Dialogformaten mit Vertreterinnen und Vertretern der Politik, Wirtschaft und organisierten Zivilgesellschaft aus. Die Trialoge der HUMBOLDT-VIADRINA Governance Platform werden dazu genutzt, neue Themen aus verschiedenen Perspektiven zu beleuchten und Fragestellungen im Hinblick auf ihre gesellschaftliche Anschlussfähigkeit zu schärfen.

Empfohlene Zitierweise: Schwan, Gesine; Treichel, Katja; Höh, Anne: „Sektorkopplung - von der Stromwende zur Energiewende“ Bericht ETR/01-2016 zum Trialog vom 11. Juli 2016.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

INHALTSVERZEICHNIS

| | |
|---|-----------|
| EXECUTIVE SUMMARY | 5 |
| 1 Beschreibung der Trialog-Veranstaltung | 9 |
| 1.1 Hintergrund | 9 |
| 1.2 Ziele des Trialogs | 10 |
| 1.3 Auswahl der Inputgebenden | 11 |
| 2 Analyse des Trialogs | 12 |
| 2.1 Auswertung und Überblick | 12 |
| 2.2 Transdisziplinarität in der Energiewende | 13 |
| 2.3 Sektorkopplung als notwendiger Schritt der Energiewende | 14 |
| 2.3.1 Hintergrund | 14 |
| 2.3.3 Sektor Verkehr | 17 |
| 2.3.4 Sektor Strom | 18 |
| 2.3.5 Begründung der Sektorkopplung | 19 |
| 2.4 Technik – Chancen und Grenzen | 22 |
| 2.4.1 Übersicht | 22 |
| 2.4.2 Direkte Elektrifizierung | 24 |
| 2.4.3 Power-to-X | 25 |
| 2.4.4 Wasserstoff | 29 |
| 2.4.5 Sonstige Optionen | 29 |
| 2.4.6 Effizienz und Suffizienz | 31 |
| 2.4.7 Allgemeine Anmerkungen und offene Fragen | 33 |
| 2.5 Infrastrukturen: alte nutzen, neue etablieren? | 35 |
| 2.5.1 Wie viele parallele Netze? | 35 |
| 2.5.2 Speicher | 36 |
| 2.5.3 Fernwärmenetze | 37 |
| 2.5.4 Elektrifizierung des Güterverkehrs | 38 |
| 2.5.5 Technologieoffenheit und Fragen | 38 |
| 2.6 Akzeptanz: Dialog, Kommunikation und Kosten | 40 |
| 2.6.1 Kosten und Investitionen | 40 |
| 2.6.2 Teilhabe und Akzeptanz | 41 |
| 2.7 Regulatorische Rahmenbedingungen | 45 |
| 2.7.1 Level playing field – Hintergrund und Fragen | 45 |
| 2.7.2 Szenarien, Roadmaps und Zeithorizonte | 46 |
| 2.7.3 Rahmenbedingungen | 47 |
| 2.7.4 Fokus Herausforderungen im Wärmesektor | 51 |

| | | |
|------------|--|-----------------|
| 2.8 | Europäische und internationale Dimension | 53 |
| 2.9 | Fazit | 54 |
| 3 | <i>Ausblick auf Folgeaktivitäten</i> | 58 |
| 4 | <i>Annex</i> | <i>i</i> |
| | Annex I: Konzept der Trialoge | i |
| | Annex II: Agenda | iii |
| | Annex III: Stakeholderauswertung | iv |
| | Annex IV: Impulspapier ESYS-AG Sektorkopplung für den Trialog am 11. Juli 2016 | viii |

ABBILDUNGSVEREICHNIS

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: THG-Emissionen Deutschland 1990-2014 und Zieldaten bis 2050 | 15 |
| Abbildung 2: Endenergieverbrauch Wärme & Kälte und EE-Anteil 1990-2014 | 16 |
| Abbildung 3: Anteil EE am Endenergieverbrauch Verkehr 1990-2015 und Zieldaten | 17 |
| Abbildung 4: Anteil EE am Bruttostromverbrauch Deutschland 1990-2016 und Zieldaten | 18 |
| Abbildung 5: Optionen für verstärkte Sektorkopplung | 23 |
| Abbildung 6: Der Wirkungsgrad in der Prozesskette Power-to-Gas | 26 |

EXECUTIVE SUMMARY

Thema und Hintergrund

Am 11. Juli 2016 fand die vierte Trialog-Veranstaltung in Kooperation mit dem Projekt „Energiesysteme der Zukunft“ (ESYS) statt. Verschiedene Akteure aus Politik, Wissenschaft, Wirtschaft und organisierter Zivilgesellschaft tauschten sich zum Thema Sektorkopplung aus. Bisher ist die Energiewende vor allem als Stromwende im Blick: Der Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch in Deutschland ist 2015 bereits auf knapp 33 Prozent gestiegen. Im Wärme- und Verkehrsbereich ist der Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch mit 13 Prozent bzw. 5 Prozent hingegen deutlich niedriger. Um der langfristigen Vision einer nachhaltigen, CO₂-armen Energieversorgung näher zu kommen, müssen die Emissionen aber in allen Sektoren gesenkt werden. Da im Stromsektor am ehesten Technologien zur Verfügung stehen, die in größerem Maßstab für eine CO₂-neutrale Energieerzeugung verwendet werden können, wird Strom mittel- und langfristig auch im Wärme- und Verkehrssektor eine entscheidende Rolle spielen. Wichtige Punkte sind hierbei die Effizienz, Treibhausgaseinsparpotentiale, Kosten, Ressourcenbedarf, notwendige Infrastrukturen sowie die regulatorischen Rahmenbedingungen.

Ziel der Veranstaltung war es, den wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Sachstand zum Thema zu ermitteln, zu verbinden und zu analysieren. Die Diskussion sollte den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern relevante Fragen und Unterthemen aufzeigen, die für die Weiterentwicklung der Forschungsarbeit hinsichtlich ihrer gesellschaftlichen Anschlussfähigkeit wichtig sind. Ebenfalls sollten durch die Trialog-Veranstaltung Wissenslücken gegebenenfalls geschlossen und Diskussionshemmnisse zwischen den Stakeholdergruppen benannt werden. Die Ergebnisse können in die weitere Arbeit von ESYS einfließen, um langfristige Optionen für den Umgang mit dezentralen und zentralen Strukturen sowie deren Kombinationen aufzuzeigen.

Ausgangspunkt für die Diskussion waren ein Impulspapier der ESYS-Geschäftsstelle sowie drei Fragen, die im Vorfeld mit verantwortlichen Vertreterinnen und Vertretern von ESYS abgestimmt worden waren:

1. Welche Möglichkeiten bietet die erforderliche Kopplung der Sektoren Strom, Wärme und Mobilität und welche Grenzen hat sie? In welchen Bereichen ist eine direkte Elektrifizierung sinnvoll, wo sollten andere Lösungsansätze verfolgt werden (wie z.B. die Verwendung synthetischer Kraftstoffe)?

2. Wie kann sichergestellt werden, dass durch die vermehrte Nutzung von Strom in neuen Anwendungsbereichen tatsächlich CO₂-Emissionen reduziert werden? Ist es vertretbar, die Technologien heute schon einzuführen, obwohl der Strom noch überwiegend aus fossilen Quellen stammt?
3. Welche Rahmenbedingungen und Infrastrukturen sind erforderlich? Wie müssten rechtliche Regelungen (bspw. das EEG), Umlagen und Abgaben angepasst werden? Welche sozialen und politischen Zusammenhänge müssen mitbedacht werden? Wer trägt die Kosten der Transformation?

Teilnehmende

An der Trialog-Veranstaltung im Allianz Forum in Berlin nahmen insgesamt 64 Vertreterinnen und Vertreter aus Politik, Unternehmenssektor, organisierter Zivilgesellschaft sowie der Wissenschaft teil. Von Seiten der **Wissenschaft** nahmen mehrere Mitglieder der ESYS-AG „Sektorkopplung“ teil, die von acatech - der Akademie der Technikwissenschaften, der Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie (DECHEMA) sowie der unternehmensseitigen Forschung (RWE und EnBW) entsandt wurden. Weiterhin waren u.a. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der RWTH Aachen, vom IASS Potsdam, vom Deutschen Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) und vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung UFZ anwesend.

Bei diesem Trialog stellte die Stakeholdergruppe **Wirtschaft** mit 24 Anwesenden den größten Anteil der Teilnehmenden. Vertreten waren Energieerzeuger und Energieversorger (u.a. Naturstrom; Vattenfall; Stadtwerke Essen), diverse Branchenverbände (u.a. VKU, BDEW; Bundesverband Kraft-Wärme-Kopplung), Vertreter aus den drei Sektoren Strom, Wärme und Mobilität (z.B. der Windturbinenhersteller Enercon, der Bundesverband deutscher Wohnungs- und Immobilienunternehmen und der Automobilhersteller VW) sowie große Energieverbraucher (z.B. Aurubis) und Beratungsunternehmen. Die **organisierte Zivilgesellschaft** war durch Verbraucherzentralen, den DGB, das Forum ökologisch-soziale Marktwirtschaft, Stiftungen (Mercator; Heinrich-Böll) sowie mehreren Umweltorganisationen (u.a. BUND Berlin; NABU) mit insgesamt 15 Teilnehmenden vertreten. Von den neun Personen aus dem **politischen Bereich** kamen mehreren Teilnehmende aus dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, ein Vertreter aus dem Ministerium für Energie und Infrastruktur von Mecklenburg-Vorpommern, zwei Personen aus dem Deutschen Bundestag (von den Grünen und der SPD) sowie von der dena.

Ergebnisse

Die Diskussion zeigte, dass die Entscheidungen zur zukünftigen Ausgestaltung der Rahmenbedingungen für eine effiziente Sektorkopplung nur unter guter Kenntnis der technologischen und infrastrukturellen Voraussetzungen sowie der Abschätzungen zukünftiger Energiebedarfe getroffen werden können. Ebenfalls sind die verschiedenen alternativen Technologieoptionen mit ihren Vor- und Nachteilen gegeneinander abzuwägen. Dazu ist zunächst eine Technologieoffenheit notwendig, um die Weiterentwicklungen bspw. hinsichtlich Wirkungsgrad und Wirtschaftlichkeit und Infrastrukturbedingungen einzelner Technologien analysieren und bewerten zu können. Dabei müssen neben den Kriterien Wirtschaftlichkeit, Nachhaltigkeit und Versorgungssicherheit verschiedene folgende Dimensionen und Fragen berücksichtigt und näher untersucht werden:

- Welche Flexibilisierungsoptionen ermöglichen die einzelnen Technologien? Welche Voraussetzungen haben sie?
- Auf den ersten Blick ist die Nutzung bereits bestehender Infrastrukturen sinnvoll. Doch wird dies auch auf Dauer der Fall sein bei möglicherweise geringerer Nutzung und notwendiger Instandhaltung? Wer trägt die Kosten für die Infrastruktur?
- Können wir uns den Aufbau paralleler Technologien und Infrastrukturen auf Dauer leisten? Müssen finale Entscheidungen getroffen werden? Wann ist dieser Entscheidungszeitpunkt erreicht?
- Wie können wir das Thema frühzeitig international und europäisch koordinieren? Insbesondere Überlegungen im Verkehrssektor haben oftmals Auswirkungen, die über die Grenzen Deutschlands hinausgehen.
- Wie bringen wir mehr Dynamik in das Thema Effizienz? Denn je weniger Energie wir verbrauchen, desto weniger erneuerbare Energien müssen wir ausbauen. Im Rahmen der Sektorkopplung wird dieser Punkt eine zunehmend wichtige Rolle spielen, denn die Ausbauflächen sind begrenzt. Das bedeutet auch möglichst die effizientesten Technologien zu fördern.
- Welche Rolle spielt die Akzeptanz der Bevölkerung und wie kann diese durch einzelne Maßnahmen über den langen Zeitraum der Transformation aufrecht erhalten werden? Hierzu wurde die Kostendebatte aufgeführt, aber auch Möglichkeiten der Teilhabe wie Mieterstrommodelle und die damit verbundenen Voraussetzungen und Bedingungen. Akzeptanz wird nicht nur für die Umsetzung technologischer Neuerungen bedeutend sein, sondern auch für die aktive Unterstützung von Energiesparmaßnahmen.

Allgemein stehen Entscheidungen zur Sektorkopplung der Herausforderung gegenüber, einigermaßen sichere Rahmen- und Investitionsbedingungen zu schaffen in einem sich über einen längeren Zeithorizont dynamisch entwickelnden Umfeld. Entscheidungen müssen dabei sowohl die Systemebene als auch die Verbraucherebene einbeziehen. Die Sektorkopplung bietet aber auch eine neue Plattform, die Energiewende ganzheitlich zu denken. Sie ist eine Chance, den energiepolitischen Dialog zwischen verschiedenen Akteuren zu intensivieren und innovativ über die Sektorlogiken hinaus zu denken. Strom aus erneuerbaren Energien und erneuerbare Brennstoffe sind und bleiben dabei wichtige Säulen, die für eine effiziente Sektorkopplung sinnvoll eingesetzt werden sollten. Begriffe wie „Überschussstrom“ oder „unerschöpfliche erneuerbaren Energien“ können dabei falsche Signale senden. Eine sensible und transparente Kommunikation wird für das Gelingen der Energiewende ebenso wichtig sein wie technologische Neuerungen.

Trialoge

Die Trialoge der HUMBOLDT-VIADRINA Governance Platform sind ganztägige Veranstaltungen. Sie organisieren eine gemeinwohlorientierte Verständigung von Stakeholdern aus Politik, Unternehmen und organisierter Zivilgesellschaft begleitet von Wissenschaft und Medien zu aktuellen gesellschaftspolitischen Themen. Die Trialoge bringen ein möglichst breites Spektrum an kontroversen gesellschaftlichen Positionen und Ideen zusammen. Mit der Chatham House Rule und einer fairen Moderation schaffen sie eine vertrauliche und zugleich offene Atmosphäre zwischen den Teilnehmenden. So können eine Vielzahl von Standpunkten und Ideen Eingang in die Diskussion finden – unabhängig von divergierenden Machtpositionen. Diese Perspektivenvielfalt bietet die Chance, breit getragene Grundkonsense zu ermitteln.

In den transdisziplinären Trialogen rückt die Wissenschaft stärker in den Mittelpunkt, da ihre Forschungsarbeit und jeweilige Implikationen den Fokus der Diskussion bilden. Die Wissenschaft erhält durch den Austausch mit gesellschaftlichen Akteuren eine Rückkopplung zu ihrer Arbeit. So wird durch das Zusammenbringen von wissenschaftlich-analytischer Forschung, gesellschaftlichem Erfahrungswissen und gesellschaftspolitischen Entscheidungs- und Problemlösungsanforderungen eine breite Basis der Erkenntnisse hergestellt, die Perspektivenwechsel und breitere Verständigungsprozesse ermöglicht. Dieses transdisziplinäre Dialogformat trägt langfristig zu einer gesteigerten gesellschaftlichen Anschlussfähigkeit der Forschungsergebnisse, robustem Gesellschaftswissen sowie informierten politischen Entscheidungen bei.

1 Beschreibung der Trialog-Veranstaltung

1.1 Hintergrund

Im April 2013 haben acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, die Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina und die Union der deutschen Akademien der Wissenschaften das **interdisziplinäre Projekt „Energiesysteme der Zukunft“ (ESYS)** gestartet. Rund 100 Expertinnen und Experten aus Wissenschaft sowie unternehmensseitiger Forschung erarbeiten seitdem wissenschaftlich fundierte Handlungsoptionen für die Gestaltung einer sicheren, bezahlbaren und nachhaltigen Energieversorgung. Um die Positionen unterschiedlicher Stakeholder einbeziehen zu können, tauschen sich die ESYS-Arbeitsgruppen in verschiedenen Dialogformaten mit Vertreterinnen und Vertretern der Politik, Wirtschaft und organisierten Zivilgesellschaft aus. Die Trialoge der HUMBOLDT-VIADRINA Governance Platform werden dazu genutzt, neue Themen aus verschiedenen Perspektiven zu beleuchten und Fragestellungen im Hinblick auf ihre gesellschaftliche Anschlussfähigkeit zu schärfen.

Am 11. Juli 2016 fand der Auftakt-Trialog der zweiten Projektphase in Kooperation mit dem Projekt "Energiesysteme der Zukunft" (ESYS) statt. Unter dem Titel „**Sektorkopplung – von der Stromwende zur Energiewende**“ stand die Frage im Mittelpunkt, wie erneuerbare Energien auch verstärkt in Wärme- und Verkehrssektor eingesetzt werden können, um die Dekarbonisierung des Energiesystems voranzutreiben. Ausgangspunkt für die Diskussion waren ein **Impulspapier der ESYS-Geschäftsstelle** (siehe Annex IV) sowie **drei Fragen**, die im Vorfeld mit den verantwortlichen Vertreterinnen und Vertretern von ESYS abgestimmt worden waren:

1. Welche **Möglichkeiten** bietet die erforderliche Kopplung der Sektoren Strom, Wärme und Mobilität und welche **Grenzen** hat sie? In welchen Bereichen ist eine direkte **Elektrifizierung** sinnvoll, wo sollten andere Lösungsansätze verfolgt werden (wie z.B. die Verwendung synthetischer Kraftstoffe)?
2. Wie kann sichergestellt werden, dass durch die vermehrte Nutzung von Strom in neuen Anwendungsbereichen **tatsächlich CO₂-Emissionen reduziert** werden? Ist es vertretbar, die Technologien heute schon einzuführen, obwohl der Strom noch überwiegend aus fossilen Quellen stammt?
3. Welche **Rahmenbedingungen und Infrastrukturen** sind erforderlich? Wie müssten rechtliche Regelungen (bspw. das EEG), Umlagen und Abgaben angepasst werden? Welche sozialen und politischen Zusammenhänge müssen mitbedacht werden? Wer trägt die Kosten der Transformation?

1.2 Ziele des Trialogs

Ziel des Trialogs war es, eine Diskussion über aktuelle Fragen der Sektorkopplung zu ermöglichen, bei der sich Akteure aus Wissenschaft und Gesellschaft, also aus der Wirtschaft, der organisierten Zivilgesellschaft und der Politik auf Augenhöhe begegnen. All diese Akteure sind **Wissens- und Erfahrungsträger** und bringen gleichzeitig ihre eigenen Logiken in die Diskussion ein. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der ESYS-AG können in den Trialogen ihre aktuellen Forschungsfragen mit Vertreterinnen und Vertretern aus diversen gesellschaftlichen Bereichen diskutieren und erhalten einen Überblick über die verschiedenen gesellschaftlichen Perspektiven und den „Stand der gesellschaftlichen Diskussion“. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer aus den Stakeholdergruppen Wirtschaft, organisierte Zivilgesellschaft und Politik hingehen bekommen einen Einblick in aktuelle Forschungsvorhaben und haben die Möglichkeit, Anliegen, Interessen und Erfahrungen in die wissenschaftliche Debatte einzubringen. Dieser transdisziplinäre Austausch verhilft den Teilnehmenden zu einem Perspektivenwechsel, welcher für eine echte Verständigung wichtig ist. Er hilft außerdem bei der Formulierung der Analysen und Stellungnahmen zum Abschluss des Arbeitsprozesses der ESYS-AGs und kann somit zur Akzeptanz der Ergebnisse beitragen.

Die ganztägige Veranstaltung sollte zunächst die energie- und klimapolitischen Ziele in Verbindung mit den Chancen und Grenzen der technologischen Möglichkeiten zur Sektorkopplung bringen. Das Spannungsverhältnis zwischen Wirtschaftlichkeit, Nachhaltigkeit und Versorgungssicherheit spielt hierbei eine wichtige Rolle auf der Zeitachse. Was heute technologisch möglich, jedoch noch nicht wirtschaftlich ist, könnte langfristig zur Versorgungssicherheit beitragen. Wie gehen wir damit in der weiteren Entwicklung der Energiewende um? Hieran schließen sich Fragen zum notwendigen Ausbau der erneuerbaren Energien in Verbindung mit Effizienzpotentialen, zu benötigten Infrastrukturen, den gesetzlichen Rahmenbedingungen und zur Finanzierung der Technologien und Infrastrukturen für eine verstärkte Kopplung der Sektoren. Aspekte der gesellschaftlichen Akzeptanz und Partizipation sowie die europäische Einbettung der Sektorkopplung fließen ebenfalls in die Debatte ein.

Die **Vor- und Nachteile der diversen Optionen zur Gestaltung der Sektorkopplung** sollten unter verschiedenen Blickwinkeln diskutiert werden, um gesellschaftliche Konfliktlagen, aktuelle und zukünftige Herausforderungen sowie mögliche Missverständnisse zu sondieren. Es sollten **allgemeine Erkenntnislücken** benannt werden, sowie Ideen für relevante Forschungsfragen diskutiert und gesammelt werden. Schließlich sollten potentielle **Diskussionshemmnisse und Differenzen** zwischen den Teilnehmenden erörtert werden, die als Vorabinformation für die öffentliche Kommunikation der Projektergebnisse aufbereitet werden, um so Antworten auf mögliche kritische Punkte vorzubereiten.

1.3 Auswahl der Inputgebenden

Dem Trialog-Format entsprechend wurden die Inputgebenden entlang der Stakeholder-Zuordnung eingeladen. Dabei wurde nicht der Anspruch erhoben, dass die Inputgebenden alle vermeintlichen Gemeinwohlintereessen vertreten, sondern im Gegenteil, dass sie durchaus ihre Teilperspektiven präsentieren, die gegebenenfalls auch im Gegensatz zu einander oder zu den Positionen einzelner oder mehrerer Teilnehmenden stehen. Dass es sehr wohl auch Überschneidungen zwischen den Sektorenvertretern gibt, ist klar und nötig, um zu einem *Grundkonsenskorridor* zu gelangen. Dieser ist wiederum essentiell, um das überparteiliche Ziel der Energiewende gemeinwohlorientiert und effektiv umzusetzen.

Als **wissenschaftliche Vertreter** des ESYS-Projekts gab Herr Prof. Eberhard Umbach, Mitglied des acatech Präsidiums und Leiter der Arbeitsgruppe „Sektorkopplung“ zunächst die thematische Einführung und skizzierte die wichtigsten Technologien zur Kopplung der Sektoren. Danach folgten Impulsvorträge der einzelnen Stakeholdergruppen: Der erste Input wurde aus Sicht der **Politik** von Frau Dr. Dorothee Mühl, Unterabteilungsleiterin Strom im Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gegeben. Anschließend erläuterte Herr Heinrich Busch, Abteilungsleiter Planung und Bau und Präsidiumsmitglied des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches e.V. einen Standpunkt aus der Sicht der **Wirtschaft**. Am Nachmittag sprach Herr Udo Sieverding als Bereichsleiter Energie und Mitglied der Geschäftsführung der Verbraucherzentrale NRW und führte die Perspektive zur Sektorkopplung aus Verbrauchersicht als Vertreter der organisierten Zivilgesellschaft aus. Die Moderation des Trialogs erfolgte durch Prof. Dr. Gesine Schwan, Präsidentin der HUMBOLDT-VIADRINA Governance Platform.¹

¹ Die Agenda des Trialogs findet sich in Annex II.

2 Analyse des Dialogs

2.1 Auswertung und Überblick

Die qualitative Auswertung der transkribierten Diskussion erfolgte angelehnt an die **dokumentarische Methode** nach Ralf Bohnsack, eine etablierte Methode der qualitativen Sozialforschung, die insbesondere für die Auswertung von Gesprächen mit mehreren Personen angewandt wird. Mit diesem Verfahren erreichen wir eine tiefere Interpretation des Materials, als bei einer Interpretation ausschließlich entlang des Diskussionsverlaufs. Die diskutierten Themen können schließlich gebündelt dargestellt und prägnante Aussagen zitiert werden.

Die vorliegende Analyse trägt die verschiedenen Aspekte, Verständnisse und Diskurse der Dialog-Veranstaltung systematisch zusammen und zeigt die systemischen Implikationen auf, die sich durch die verschiedenen Optionen zur Kopplung der Sektoren ergeben.

In der Auswertung des Transkriptmaterials dominierten **folgende Themen die Diskussion:**

- Sektorkopplung als notwendiger Schritt der Energiewende
- Technik – Chancen und Grenzen
- Infrastrukturen: alte nutzen, neue etablieren?
- Akzeptanz: Dialog, Kommunikation und Kosten
- Regulatorische Rahmenbedingungen
- Europäische und internationale Dimension

Diese Themen werden mit den dazugehörigen Argumenten beleuchtet und ausgewertet. Aus den Ergebnissen kann ein Sachstand der Diskussion zwischen den vertretenen Stakeholdern dargelegt werden. Daraus lassen sich gesellschaftliche Grundkonsense ableiten, aber auch Fragen und Gesichtspunkte, die der weiteren Vertiefung durch die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bedürfen. Die Ergebnisse zeigen die wichtigsten Punkte der gesellschaftlichen Debatte auf, die in etwaigen politischen Handlungsempfehlungen der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zum Thema berücksichtigt werden sollten. Zunächst soll kurz die Bedeutung transdisziplinärer Methoden für weitere Forschungsprozesse zum Thema erläutert werden, wie sie sich auch in der Veranstaltung zeigte.

2.2 Transdisziplinarität in der Energiewende

Noch ist der Begriff **Transdisziplinarität** in vielen Bereichen unbekannt oder zumindest unklar. Doch gerade für aktuelle Fragen der Energiewende spielt er zunehmend eine wichtige Rolle. Es geht dabei um die Integration und Zusammenführung von Wissen aus der Gesellschaft und der Wissenschaft, um breit akzeptierbare Lösungen zu entwickeln und die **Anschlussfähigkeit** wissenschaftlicher Forschung zu schärfen. Die Energiewende braucht langfristig das Vertrauen und die Akzeptanz der Gesellschaft, da sie eine Reihe von tiefgreifenden Transformationsnotwendigkeiten mit sich bringt. Der Dialog und die gemeinschaftliche Erarbeitung von Lösungen fördern die Akzeptanz und das gegenseitige Verständnis der verschiedenen Akteure.

Die **Trialog-Veranstaltungen verstehen sich als Wegbereiter transdisziplinärer Ansätze**, indem sie eine systematisch durchdachte Zusammenarbeit von Wissenschaft und verschiedenen gesellschaftlichen Akteuren (Politik, Wirtschaft und organisierte Zivilgesellschaft) unterstützen. Durch die Vielfalt an Standpunkten und Positionen, die auf den Trialogen vertreten sind, verschaffen sich die Teilnehmenden einen schnellen Überblick sowohl über die wissenschaftliche Debatte als auch den dazugehörigen gesellschaftlichen Anliegen. Auch im Trialog wurde von Seiten der Wissenschaft die Bedeutung der „Praxisstimme“ (Zitat Wissenschaft) hervorgehoben. Sie muss die Chance bekommen, in einen argumentativen Austausch mit der Wissenschaft zu treten. Es reicht nicht, sie lediglich abzufragen. Wesentliche Merkmale der Trialog-Methode sind ihre **Perspektivenvielfalt** durch die verhältnismäßig ausgewogene Einladung der Stakeholdergruppen, die Begründung der verschiedenen Argumente während der Diskussion sowie die **analysierende Zusammenschau im Anschluss an die Trialoge**, um wichtige Grundkonsense aufzudecken und Differenzen herauszuarbeiten.

*Anschlussfähigkeit
wissenschaftlicher
Forschung schärfen*

Die Trialoge im Rahmen des Akademienprojekts ESYS dienen insbesondere zur Sondierung der relevanten Aspekte neuer Themenfelder, was Voraussetzung für eine konsequente Transdisziplinarität ist. Nur ein früher Austausch der verschiedenen Akteursgruppen ermöglicht eine Verständigung über die Problemanalyse und -definition, denn es versteht sich nicht von selbst, wo konkret die einzelnen Herausforderungen liegen angesichts der steigenden Ausdifferenzierung der Gesellschaft und des Energiesystems. In den Trialogen und weiteren Dialogformaten im Rahmen von ESYS sollen Grundlagen langfristiger Entscheidungen debattiert werden, die für eine erfolgreiche Transformation des Energiesystems wichtig sind. Hierzu müssen einzelwissenschaftliche und interdisziplinäre Erkenntnisse sowie gesellschaftliches Wissen und Erfahrungen zu wieder neuen Erkenntnissen miteinander verbunden werden. Das geht nur in einem konstan-

ten und nachhaltigen transdisziplinären Dialog, denn die konkrete Umsetzung von Innovationen und energiepolitischen Beschlüssen erfolgt letztlich in den Unternehmen, in den Kommunen und den privaten Haushalten.

Die Einordnung der Akteure in die genannten **Stakeholdergruppen** Politik, Wirtschaft und organisierte Zivilgesellschaft ist dabei selbstverständlich nicht immer trennscharf. Die Wissenschaft hat in dem transdisziplinären Setting eine besondere Rolle, da sie im Gegensatz zu den Stakeholdern, die Anliegen in eigener Sache vertreten, von ihrer Funktion her ein Interesse an der „wahrheitsgemäßen Erkenntnis“ hat oder zumindest haben sollte. Sie hat zudem das Potenzial, durch Forschungsergebnisse unterschiedliche gesellschaftliche Interessen zusammenzubringen.

Der Dialog „Sektorkopplung – von der Stromwende zur Energiewende“ setzt genau hier an und stellt sich an den Beginn eines Arbeitsprozesses, dem weitere transdisziplinäre Formate folgen sollen. In einem „hermeneutischen Zirkel“ – oder besser: einer Spirale, weil die Teilnehmenden nicht einfach an die Ausgangsposition ihres Verständigungsprozesses zurückkehren, sondern zu höherer Einsicht aufsteigen – können sich die Akteure so gemeinsam einem Thema nähern. Dazu gehört wesentlich die **Bereitschaft, zuzuhören und eine konsequente Offenheit** aller Akteure. Insbesondere bei der Sektorkopplung ist es wichtig, über „Sektorlogiken und Einzellogiken“ in der Betrachtung hinauszugehen. Ebenfalls reicht es nicht, die technologischen Möglichkeiten nur auf wirtschaftlicher oder technologischer Ebene gegeneinander abzuwägen – soziale, regulatorische und ökologisch umfassende Analysen spielen eine nicht minder wichtige Rolle. Schließlich gilt es zu verstehen, dass es für die Energiewende keinen Masterplan gibt, der zentral umgesetzt werden könnte. Interessen müssen immer wieder abgewogen und aus Fehlern kollektiv gelernt werden, um zu verantwortungsvollen Entscheidungen im Gegensatz zu Ad-hoc-Lösungen für die aktuelle und zukünftige Transformation des Energiesystems zu kommen.

2.3 Sektorkopplung als notwendiger Schritt der Energiewende

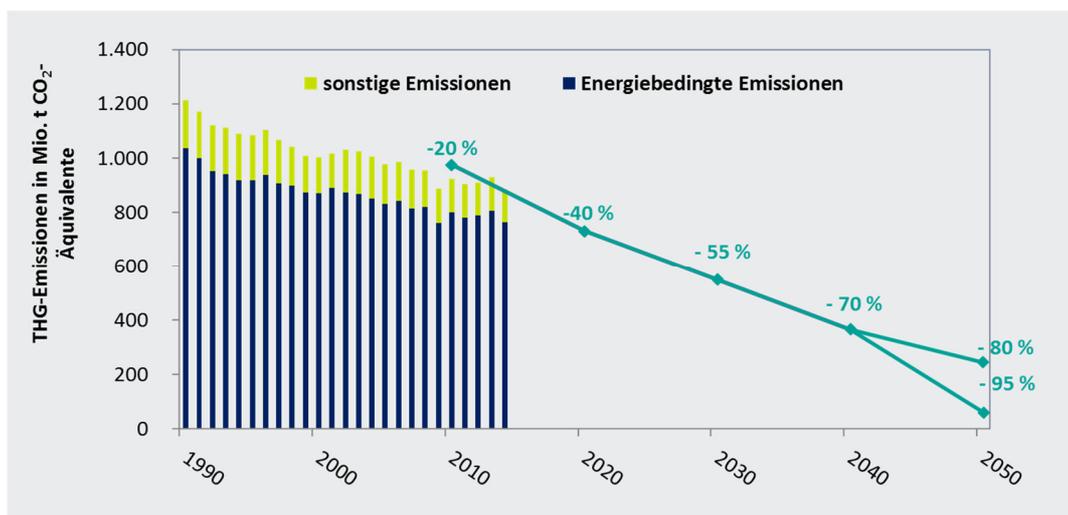
2.3.1 Hintergrund

Noch immer basiert die Energieversorgung in der Welt und auch in Deutschland zu einem Großteil aus fossilen Energieträgern, bei deren Verbrennung klimaschädliche Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) entstehen. Selbst wenn die enorme Komplexität des Klimawandels einige Unsicherheiten mit sich bringt, besteht gegenüber zukünftigen Generationen die Pflicht zu handeln. Aufgrund der Trägheit des Klimasystems herrscht dabei ein gewisser zeitlicher **Handlungsdruck** für die Transformation des Energiesektors, denn er trägt erheblich zum Ausstoß klimaschädlicher Gase bei.

Deutschland hat für sich auf internationaler und nationaler Ebene Ziele für den **Klimaschutz** gesetzt: bis zum Jahr 2050 sollen 80-95% der THG-Emissionen reduziert werden. Zur Erreichung dieser Ziele wurde das ambitionierte Projekt einer umfassenden Energiewende eingeleitet. Obgleich eine Reihe von Herausforderungen bestehen, sollte diese Energiewende mit Erfolg zu Ende geführt werden. Sie trägt nicht nur zum Klimaschutz bei, sondern hilft langfristig bei der Schonung von Ressourcen und der Etablierung einer stabilen Versorgungssicherheit. Die Verabschiedung der **Nachhaltigen Entwicklungsziele (SDGs)** im September 2015 durch die Vereinten Nationen und das **Pariser Klimaabkommen**, welches am 04. November 2016 in Kraft treten wird, verdeutlichen die Notwendigkeit des internationalen Handlungsbedarfs. Eine erfolgreiche deutsche Energiewende unterstreicht die Verbindlichkeit deutscher Klimaschutzanstrengungen und kann positiv zur weltweiten Bereitschaft beitragen, Energie zunehmend aus erneuerbaren Quellen zu produzieren.

Im Trialog wurde zunächst skizziert, inwieweit Deutschland die **Ziele der Energiewende Klima- und Umweltschutz, Versorgungssicherheit, Wirtschaftlichkeit** bereits umgesetzt hat. Wie sich der folgenden Grafik entnehmen lässt (Abb. 1) wurde bereits eine 20-prozentige Reduktion der Treibhausgasemissionen (THG) gegenüber 1990 erreicht. Sichtbar ist aber auch, dass diese Werte in den letzten Jahren stagnieren und dass das Tempo der jährlichen Emissionsminderungen deutlich höher ausfallen muss, um die langfristige Reduktion von mindestens 80% bis 2050 zu bewältigen. Ein Wissenschaftler betonte, dass zur Erreichung dieser ambitionierten Ziele ebenso ambitionierte Maßnahmen durchgeführt werden müssen.

Abbildung 1: THG-Emissionen Deutschland 1990-2014 und Zieldaten bis 2050

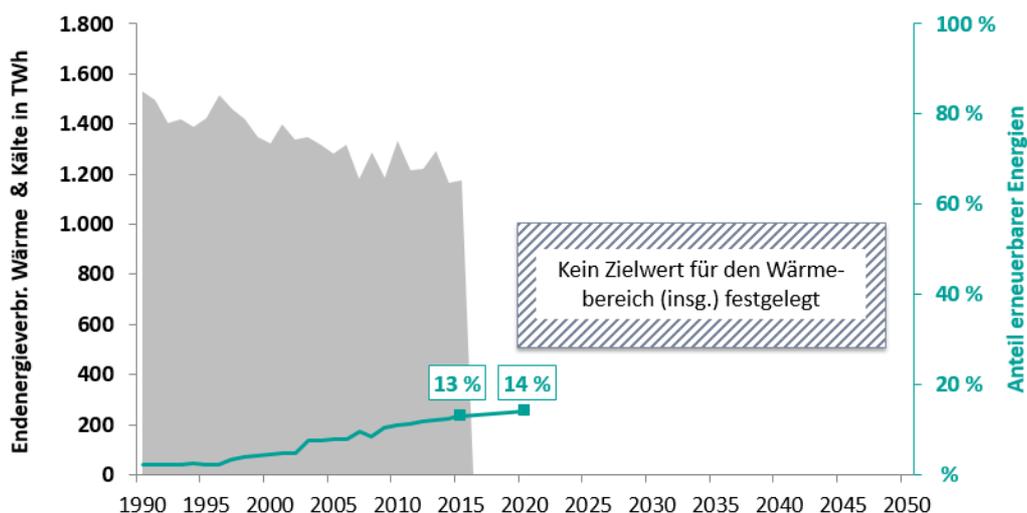


Quelle: Impulspapier ESYS-AG Sektorkopplung; Daten aus „Energiedaten, Gesamtausgabe“, BMWi, Stand Mai 2016

2.3.2 Sektor Wärme

Für den Wärmesektor sind keine sektorspezifischen Ziele zur Reduktion des Endenergieverbrauchs oder dem Anteil der erneuerbaren Energien vorgegeben. Lediglich im Gebäudesektor gibt es eine Reduktionsvorgabe von 80% des Primärenergiebedarfs bis 2050 gegenüber 2008. Klar ist jedoch, dass eine weitreichende Dekarbonisierung des Energiesystems nur dann gelingen kann, wenn **alle Sektoren zur Zielerfüllung beitragen**. Dies gilt umso mehr für den Wärmesektor, der mit 1176 TWh (2015) den größten der drei Verbrauchssektoren darstellt. Im Wärmesektor hat zwar der Endenergieverbrauch seit 1990 abgenommen, aber auch hier stagnieren die Werte in den letzten Jahren. Der Anteil der erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch im Wärmesektor ist stetig gestiegen und liegt aktuell bei etwa 13%. Allerdings sind 85% der erneuerbaren Energien in dem Sektor biobasiert und damit nur begrenzt weiter ausbaubar. Ergänzt wird die Bioenergie im Wärmesektor durch Solarthermie und Geothermie, deren Einsatz jedoch aufgrund technisch-wirtschaftlicher Bedingungen hauptsächlich auf Neubauten und energetisch sanierte Gebäuden beschränkt ist. Ohne disruptive Änderungen wird der Anteil der erneuerbaren Energien im Wärmebereich nur langsam wachsen. In Abbildung 2 ist dieser Trend aufgezeigt unter der Annahme, dass es keine drastischen Veränderungen gibt.

Abbildung 2: Endenergieverbrauch Wärme & Kälte und EE-Anteil 1990-2014



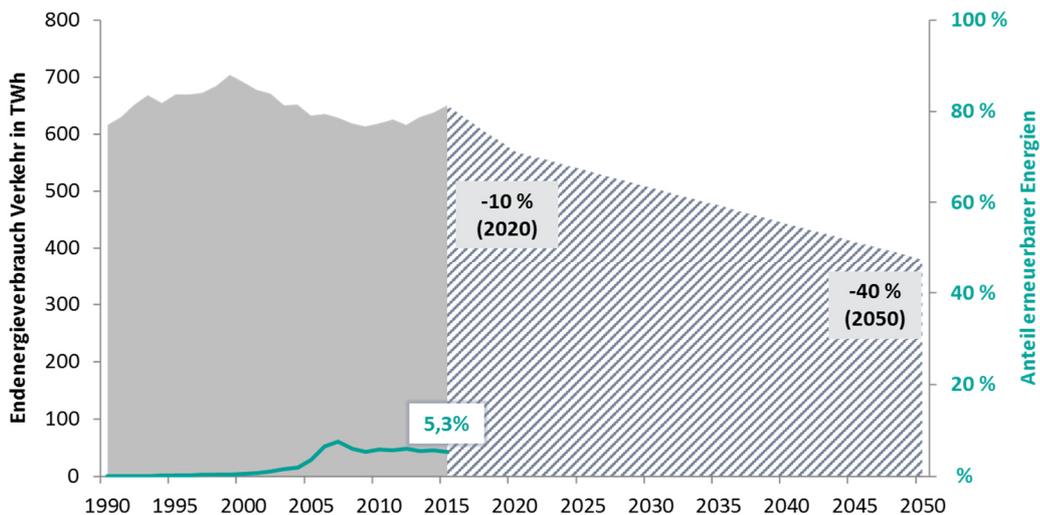
Quelle: Prof. Dr. Umbach Präsentation Trialog;

Daten aus „Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland“, BMWi, Stand Mai 2016

2.3.3 Sektor Verkehr

Der Endenergieverbrauch des Verkehrssektors liegt mit 600 TWh auf dem Niveau von 1990 bzw. ist sogar leicht gestiegen. Zwar wurde die Energieeffizienz stark verbessert, die Verkehrsleistung hat jedoch zugenommen. Wenn der Endenergieverbrauch tatsächlich um 40% gegenüber dem Endenergieverbrauch von 2005 gesenkt werden soll, wie es das Energiekonzept der Bundesregierung vorsieht, sind **erhebliche Anstrengungen nötig**. Auch der Anteil der erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch liegt im Verkehrssektor bei nur 5%. Aktuelle politische Maßnahmen setzen vorrangig auf Elektromobilität. Bis 2020 sollen eine Million, bis 2030 sechs Millionen Elektrofahrzeuge auf die Straße gebracht werden. Derzeit sind nach Angaben des Kraftfahrt-Bundesamt 25 500 Elektrofahrzeuge in Deutschland zugelassen. Gleichwohl sind weitere technische Lösungen zur Dekarbonisierung des Verkehrssektors denkbar, die im nächsten Kapitel aufgezeigt werden. Allgemein muss die Energiewende im Verkehrssektor einhergehen mit weiteren Änderungen in der Organisation von Verkehr, Stadtplanung und alternativen Mobilitätskonzepten.

Abbildung 3: Anteil EE am Endenergieverbrauch Verkehr 1990-2015 und Zieldaten



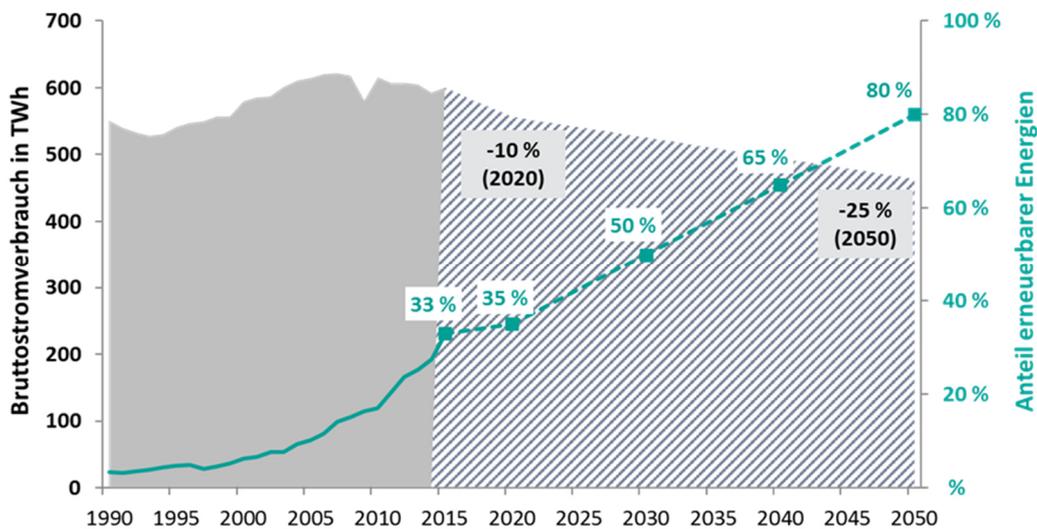
Quelle: Prof. Dr. Umbach Präsentation Trialog;

Daten aus „Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland“, BMWi, Stand Mai 2016

2.3.4 Sektor Strom

Der Stromsektor in Deutschland zählt mit einem steigenden Anteil erneuerbarer Energien zum Erfolgsfaktor der Energiewende. Im Jahr 2015 haben die erneuerbaren Energien endgültig eine dominierende Rolle in der Bruttostromerzeugung eingenommen. Mit einem Anteil von 30 Prozent haben sie den bisher größten Energieträger der deutschen Stromerzeugung Braunkohle (24 Prozent) hinter sich gelassen. Wenn auch der Stromverbrauch gegenüber 1990 leicht gestiegen ist, gibt es seit 2008 einen Trend zum sinkenden Stromverbrauch. Das bedeutet auch eine zunehmende Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Stromverbrauch. Allerdings müssen auch im Stromsektor weitere Anstrengungen erfolgen, um eine Verringerung des Stromverbrauchs um 10 Prozent bis 2020 gegenüber 2008 zu erreichen, wie im Energiekonzept der Bundesregierung vorgesehen. Vor allem vor dem Hintergrund des mit der Sektorkopplung einhergehenden Ausbaus der Erneuerbaren sowie begrenzten Ausbaufächen und Netzinfrastruktur ist eine gesteigerte Stromeffizienz bedeutsam.

Abbildung 4: Anteil EE am Bruttostromverbrauch Deutschland 1990-2016 und Zieldaten



Quelle: Prof. Dr. Umbach Präsentation Trialog;

Daten aus „Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland“, BMWi, Stand Mai 2016

2.3.5 Begründung der Sektorkopplung

Die Energiewende hat wesentlich zum Ausbau der erneuerbaren Energien und damit zur Reduzierung der THG-Emissionen beigetragen. Allerdings bedarf es weiterer, umfassender Energieeinsparungen und Effizienzverbesserungen sowie einer beschleunigten Dekarbonisierung des Wärme- und Verkehrssektors, die in der bisherigen Energiewende nur einen geringen Anteil an EE aufweisen. Eine nachhaltige, CO₂-arme Energieversorgung kann nur erreicht werden, wenn die Emissionen in allen Sektoren gesenkt werden und gleichzeitig die **Energiewende als Gesamtsystem** betrachtet wird, welches zu optimieren ist.

*Sektorkopplung:
Strom muss
langfristig
Energienachfrage im
Wärme- und
Mobilitätssektor
bedienen*

Wie im nächsten Kapitel ausgeführt wird, stehen im Stromsektor am ehesten Technologien zur Verfügung, die im großen Maßstab für eine CO₂-neutrale Energieerzeugung verwendet werden können. Also muss nach technologischem Stand das Stromangebot zukünftig einen großen Teil der Energienachfrage im Wärme- und Mobilitätssektor bedienen.

Die Kopplung der Sektoren Strom, Wärme und Mobilität ist an sich ist nichts Neues. Nachtstromspeicherheizungen wurden schon in den 1960er und -70er Jahren forciert, um nachts die Lasten der unflexiblen Großkraftwerke abzunehmen. Auch die Kraft-Wärme-Kopplung ist bereits eine etablierte Technologie, um unter Effizienzgesichtspunkten gleichzeitig Strom und Wärme zu erzeugen. Im Mobilitätssektor wird schon seit Jahrzehnten auf Strom als Energieträger zurückgegriffen, sowohl im Schienenverkehr als auch im bisher eher geringen Maßstab über Batteriefahrzeuge. Gleichermaßen kommen auch gasbetriebene Fahrzeuge bereits zum Einsatz. In der weiteren Transformation des Energiesystems werden bekannte und neue Sektorkopplungstechnologien zentrale Stellschrauben der Energiewende. Über die Kopplung der Sektoren wird somit vor allem Strom in den Sektoren Wärme und Mobilität eingesetzt. Dies dürfte langfristig zu einem **erhöhten Strombedarf** führen.

Die **Prognosen** verschiedener Studien zum zukünftigen Strombedarf gehen weit auseinander. Fast alle erwarten jedoch einen Anstieg, auch aufgrund der Kopplung der Sektoren.² Wenn der Anteil der erneuerbaren Energien in 2050 60% des Endenergiever-

Die **Prognosen** verschiedener Studien zum zukünftigen Strombedarf gehen weit auseinander. Fast alle erwarten jedoch einen Anstieg, auch aufgrund der Kopplung der Sektoren.² Wenn der Anteil der erneuerbaren Energien in 2050 60% des Endenergiever-

² Das Öko-Institut hat 2014 gemeinsam mit dem Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI) im Auftrag des BMUB ein Zielszenario zur Erreichung der Klimaziele der Bundesregierung modelliert. Dabei zeigte sich, dass alle Einzelziele mindestens erfüllt, teilweise sogar übererfüllt werden müssen, um das Emissionsminderungsziel von -80% bzw. -90% erreichen zu können.

brauchs betragen soll, wie im Energiekonzept dargelegt ist, wird ein Ausbau der erneuerbaren Energien – sofern keine disruptiven Entwicklungen erfolgen – etwa um den Faktor 10 notwendig, so die Darstellung eines Wissenschaftlers im Trialog. Zugleich sieht das Energiekonzept bis 2050 eine Reduktion des Stromverbrauchs um 10% vor. Daran orientieren sich auch die Ausbaupfade im EEG. Vor diesem Hintergrund bezeichnete eine Mehrzahl der Teilnehmenden die im EEG vorgesehenen Ausbauziele für erneuerbare Energien der Bundesregierung daher als nicht ausreichend, um die drei Sektoren entsprechend der Klimaziele des Energiekonzeptes zu dekarbonisieren.

Das Szenario zeichnet sich durch sehr starke Effizienzannahmen aus. Damit gehen ambitionierte Maßnahmen einher, die von einer Verteuerung von Kraftstoffen und eine damit verbundene Verkehrsverlagerung im Mobilitätssektor reichen bis hin zu einer Reduktion des Primärenergieverbrauchs im Gebäudesektor von 65% im weniger ambitionierten Klimaschutzszenario und 71% im ambitionierteren Szenario. Diese Annahmen ermöglichen es, den Strombedarf auf relativ geringe 540 TWh für das Klimaschutzszenario -80% zu prognostizieren. Im Szenario -90% kommt die Sektorkopplung verstärkt zum Einsatz und der Strombedarf wird etwas höher auf ca. 600 TWh prognostiziert. Damit gehen die Effizienzannahmen im Gebäudesektor jedoch noch über die in der *Energieeffizienzstrategie Gebäude* des BMWi für maximal wirtschaftlich vertretbare Reduktion um 54% hinaus. Im Trialog wurden auch Studien der Wohnungswirtschaft genannt, die maximal eine Reduktion des Primärenergieverbrauchs um 42% für vertretbar hielten. Nach Öko-Institut/Fraunhofer ISI können die starken Effizienzsteigerungen auch nur durch umstrittene Maßnahmen wie eine deutliche Erhöhung der Sanierungsrate auf bis zu 3% erreicht werden. Im ambitionierteren Szenario ist sogar eine Reduktion der Raumtemperatur in Wohngebäuden auf 19°C vorgesehen. Quelle: Öko-Institut/Fraunhofer ISI (2014): Klimaschutzszenario 2050. <https://www.oeko.de/oekodoc/2065/2014-638-de.pdf>

Auch das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) hat ein Szenario erstellt, bei dem die CO₂-Emissionen um 81% gegenüber 1990 gesenkt werden. Die Annahmen für dieses Szenario sind nicht detailliert ausgeführt, doch auch in diesem Szenario liegt ein Fokus auf Effizienzmaßnahmen. So werden für die Niedertemperaturwärme deutliche Reduktionen von 60% gegenüber dem heutigen Raumwärmebedarf vorgesehen. Die PKW-Flotte ist zudem komplett auf emissionsarme Antriebe wie Elektromobilität und Brennstoffzelle umgestellt. Für ein solches System errechnen die Autoren eine benötigte Bruttostromerzeugung von 634 TWh. Quelle: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE (2013) *Energiesystem Deutschland 2050*. Henning, Hans-Martin; Palzer, Andreas. <https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/veroeffentlichungen-pdf-dateien/studien-und-konzeptpapiere/studie-energiesystem-deutschland-2050.pdf>

Szenarien, die eine fast vollständige Dekarbonisierung aller drei Sektoren darstellen, kommen auf deutlich höhere Strombedarfe. Am drastischsten wird dies erkennbar in einer Studie des Umweltbundesamtes, die eine vollständige Dekarbonisierung aller Sektoren skizziert und dafür eine Nettostromerzeugung von 3000 TWh annimmt. Quelle: Umweltbundesamt (2013): *Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050*. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/treibhausgasneutrales_deutschland_im_jahr_2050_langfassung.pdf

Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer des Dialogs waren sich einig, dass die Klimaziele nur durch weitere Effizienzgewinne kombiniert mit intelligenten Sektorkopplungslösungen zu erreichen sind. Es wurde wiederholt betont, dass Sektorkopplung kein „Modewort“ sei, sondern eine „Notwendigkeit, um die Klimaziele zu erreichen“ (Wissenschaft). Auch in der politischen Priorisierung zur Weiterentwicklung der Energiewende wird gemäß dem Prinzip „efficiency first“ zunächst auf Energieeinsparungen, dann auf die direkte Nutzung erneuerbarer Energien und erst als letzte Option auf Umwandlungsprozesse für die Sektorkopplung gesetzt (Effizienzdreiklang - siehe dazu auch Grünbuch Energieeffizienz des BMWi). Es wird deutlich, dass Sektorkopplung nur eine von weiteren energiepolitischen Maßnahmen sein kann und insbesondere nicht dazu führen darf, Effizienzbestrebungen zu verwässern. „Strom aus erneuerbaren Energien kann keine verfehlte Verkehrs- und Gebäudepolitik ausgleichen, sondern ‚nur‘ eine äußerst sinn-

“

Sektorkopplung ist kein Modewort sondern eine Notwendigkeit, um die Klimaziele zu erreichen

—
Wissenschaft

volle und notwendige Ergänzung sein“, wie eine Wirtschaftsvertreterin anmerkte. Politisches Ziel ist daher aktuell, eine effiziente Sektorkopplung voranzubringen, die sich in die Energieversorgung als Gesamtsystem einfügt und einen optimalen Mix von Effizienz, Flexibilität und Kosten aufweist.

Die Diskussion im Dialog zeigte allerdings deutlich, dass die Sektorkopplung wie auch andere Entwicklungsschritte der Energiewende keine rein technische Angelegenheit ist, sondern auch eine Reihe sozialer Implikationen mit sich bringt. Entsprechend sind kooperative, verständigungsorientierte Entscheidungsverfahren wichtig, um sinnvolle und langfristig breit akzeptierbare Lösungen zu finden. Im Herbst 2016 wird auf politischer Ebene eine vertiefte Diskussion zur Sektorkopplung beginnen³, in der es auch um die Frage gehen wird, wie die Sektorkopplung in die Energiewende regulatorisch eingebettet werden soll. Anregungen wurden bereits auf dem Dialog geäußert. Sie werden im Kapitel 2.7 näher erläutert. Von Seiten der Politik wurde darauf hingewiesen, dass in energiepolitischen Debatten häufig interessen geleitete Forderungen gestellt werden, die das Gesamtsystem und dessen Optimierung vernachlässigen. Zudem seien Positionen häufig verfestigt, was die Kompromissfindung erschwere. Ein Teilnehmer aus der Wirtschaft wies auch darauf hin, dass einige Interessengruppen besonders stark ihre Positionen in die gesellschaftliche Debatte einbringen können und dass andere Akteure nicht in gleichem Maße Einfluss-

³ Siehe auch: BMWi (2016): Grünbuch Energieeffizienz <https://www.bmw.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/gruenbuch-energieeffizienz,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>

möglichkeiten haben. Als Beispiel wurde hier angeführt, dass die Kohleindustrie im Gegensatz zur Erneuerbaren-Energien-Branche traditionell stark gewerkschaftlich organisiert sei. Dies gilt es in kooperativen Verfahren und entscheidungsorientierten Diskussionen zu berücksichtigen.

Selbstverständlich ist für eine möglichst förderliche regulatorische Ausgestaltung der Sektorkopplung essentiell, welche technischen Möglichkeiten nach derzeitigem Stand überhaupt für eine breitere Anwendung zur Verfügung stehen. Hierzu gab es eine Reihe von Anmerkungen, Kommentaren und Fragen im Dialog, die im nächsten Abschnitt ausgewertet werden.

2.4 Technik – Chancen und Grenzen

2.4.1 Übersicht

Grundsätzlich kommen verschiedene Technologien zur Verknüpfung von Strom, Wärme und Mobilität in Frage. Allerdings bestehen Unsicherheiten, inwieweit bestimmte Technologien effizient, flexibel, wirtschaftlich und mit welchem Potenzial genutzt werden können und somit weiterverfolgt werden sollten. Mögliche technische Optionen sowie die dafür eingesetzten Energieträger sind in der folgenden Übersicht aufgeführt (siehe Abb.5). Im Wärmebereich wird zwischen Niedertemperaturwärme und Prozesswärme – wie sie bspw. die Industrie benötigt – unterschieden, da diese unterschiedlichen Anforderungen stellen. Aus der Übersicht lässt sich erkennen, dass einerseits bisher wenig verwendete Technologien, wie Power-to-Heat, durch die Sektorkopplung verstärkt zum Einsatz kommen, dass aber auch bewährte Technologien wie Verbrennungsmotoren, Heizkessel und Generatoren weiter zum Einsatz kommen können, zukünftig aber mit synthetischen, aus erneuerbaren Quellen gewonnenen Energieträgern betrieben werden müssen. Anschließend werden diese Technologien bezüglich ihrer Potentiale und damit verbundenen Chancen und Herausforderungen kurz dargestellt und im Weiteren ausführlicher diskutiert.

Abbildung 5: Optionen für verstärkte Sektorkopplung

| | Niedertemperatur- wärme | Prozesswärme | Originäre Strom- anwendungen | Verkehr |
|---|---|---|--|---|
| Direkte Elektrifizierung | Power-to-Heat Wärmepumpe Elektrodenkessel <i>regenerativ erzeugter Strom</i> | Power-to-Heat <i>regenerativ erzeugter Strom</i> | <i>regenerativ erzeugter Strom</i> | E-Mobilität O-LKW/Busse Schienenverkehr <i>regenerativ erzeugter Strom</i> |
| | Heizkessel <i>Erdgas, Heizöl</i> | Direktverbrennung <i>Erdgas</i> | <i>konventionell erzeugter Strom</i> | Verbrennungsmotor <i>Benzin Diesel Erdgas</i> |
| Power-to-Liquid | Heizkessel/ KWK-Anlagen <i>Synth. Flüssigbrennstoffe</i> | Verbrennung <i>Synth. Flüssigbrennstoffe</i> | Generatoren <i>Synth. Flüssigkraftstoffe</i> | Verbrennungsmotor <i>Synth. Flüssigkraftstoffe</i> |
| | Heizkessel <i>Heizöl</i> | Verbrennung <i>Heizöl</i> | Generatoren <i>Diesel</i> | Verbrennungsmotor <i>Benzin Diesel Kerosin</i> |
| Power-to-Gas (Methan) | Heizkessel/ KWK-Anlage <i>Synth. Methan</i> | Verbrennung <i>Synth. Methan</i> | Speicher + Rückverstromung <i>Synth. Methan</i> | Verbrennungsmotor <i>Synth. Methan</i> |
| | Heizkessel/ KWK-Anlage <i>Erdgas</i> | Heizkessel/ KWK-Anlage <i>Erdgas</i> | <i>konventionell erzeugter Strom</i> | Verbrennungsmotor <i>Erdgas, Kohle</i> |
| Power-to-Gas (Wasserstoff) | Heizkessel/ KWK-Anlage <i>Synth. Wasserstoff</i> | Verbrennung <i>Synth. Wasserstoff</i> | Speicher + Rückverstromung <i>Synth. Wasserstoff</i> | Brennstoffzelle <i>synth. Wasserstoff</i> |
| | Heizkessel/ KWK-Anlage <i>Erdgas</i> | <i>Verbrennung Erdgas</i> | <i>konventionell erzeugter Strom</i> | Brennstoffzelle <i>Wasserstoff</i> |
| Sonstige, nur begrenzt einsetzbare Technologien: | | | | |
| Bio- energie | Heizkessel/ KWK <i>Biomasse, Biogas</i> | Verbrennung <i>Biomasse, Biogas</i> | KWK-Anlage <i>Biomasse, Biogas</i> | Verbrennungsmotor <i>Biodiesel, Biogas</i> |
| | Heizkessel/ KWK <i>Erdgas, Heizöl</i> | Verbrennung <i>Erdgas, Heizöl</i> | <i>konventionell erzeugter Strom</i> | Verbrennungsmotor <i>Benzin Diesel Kerosin</i> |
| Geothermie/ Solarthermie | Geothermie/ Solarthermie Wärmepumpe <i>regenerativ erzeugter Strom</i> | | Tiefe Geothermie | |
| | Heizkessel <i>Heizöl, Erdgas</i> | | <i>konventionell erzeugter Strom</i> | |

Legende:

| |
|---|
| (klimaverträgliche) Sektorkopplungstechnologie und <i>Energieträger</i> |
| Substituierte Technologie und <i>Energieträger</i> |

Eigene Darstellung nach Grünbuch Energieeffizienz (BMW) und Präsentation Prof. Dr. Umbach auf dem Dialog

2.4.2 Direkte Elektrifizierung

Gemäß dem Effizienzdreiklang ist die direkte Elektrifizierung aus energetischer Sicht Umwandlungsprozessen wie Power-to-Gas vorzuziehen, da hier kaum Wirkungsgradverluste entstehen.

Elektrifizierungsoptionen im Verkehrssektors

Der Energieverbrauch des Verkehrssektors wird maßgeblich durch den Straßenverkehr bestimmt, so dass hier ein besonderer Bedarf an klimafreundlichen Technologien besteht. Elektrisch angetriebene Fahrzeuge haben aufgrund der Fortschritte der Batteriespeicher und der damit gestiegenen Reichweite der Fahrzeuge in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen. Die Elektromobilität im Straßenverkehr wird zwar durch verschiedene Maßnahmen politisch unterstützt, dennoch gibt es in Deutschland derzeit lediglich ca. 25.500 ausschließlich elektrisch betriebene Fahrzeuge. Im Vergleich zur Gesamtzahl von über 80 Mio. Fahrzeugen auf Deutschlands Straßen sind hier also enorme Veränderungen nötig, um eine nennenswerte Reduktion der klimaschädlichen Treibhausgase zu erreichen – und das natürlich auch erst, wenn der Strommix weitgehend aus erneuerbaren Energien besteht. Verkürzt: Elektrofahrzeuge sind so sauber wie der Strom, mit dem sie fahren.

Im Lastverkehr ist der Einsatz von Batteriebetriebenen LKWs mit einigen Herausforderungen verbunden. Unter anderem sind die Batterien sehr schwer. Hier könnten Oberleitungen auf Autobahnen eine Möglichkeit zur Elektrifizierung des Lastverkehrs sein. Allerdings gibt es hierzu noch keine ausgereiften Konzepte, da es einen enormen Ausbau der Infrastruktur bedeuten würde.

Elektrifizierungsoptionen im Wärmesektor

Im Wärmesektor stellen im Bereich niedriger Temperaturniveaus **Wärmepumpen** eine Möglichkeit zur Elektrifizierung dar. Technisch ist der Einsatz allerdings nur in energieeffizienten Gebäuden sinnvoll. Sobald höhere Wärmeniveaus erforderlich sind, wie etwa in unsanierten Altbauten oder für Industrieprozesse, stoßen Wärmepumpen auf technische Grenzen bzw. sind sehr stromintensiv. Der Einbau einer Wärmepumpe ist teilweise mit umfangreichen Baumaßnahmen verbunden. Darüber hinaus stellen Legionellen bei bestimmten Wärmespeichern, wie etwa in Mehrfamilienhäusern, derzeit noch ein Problem dar. Um diese Technologie weiter auszubauen, braucht es deutliche Anreize sowie Lösungen für kleinere Herausforderungen. Für höhere Wärmeniveaus werden diverse Optionen, wie etwa Elektrodenkessel genannt, um strombasiert Wärme zu erzeugen (**Power-to-Heat**), welche aber im Dialog nicht weiter besprochen wurden. In der Regel können moderne Power-to-Heat-Anlagen über Wärmespeicher auch zur Flexibilität des Energiesystems beigetragen.

2.4.3 Power-to-X

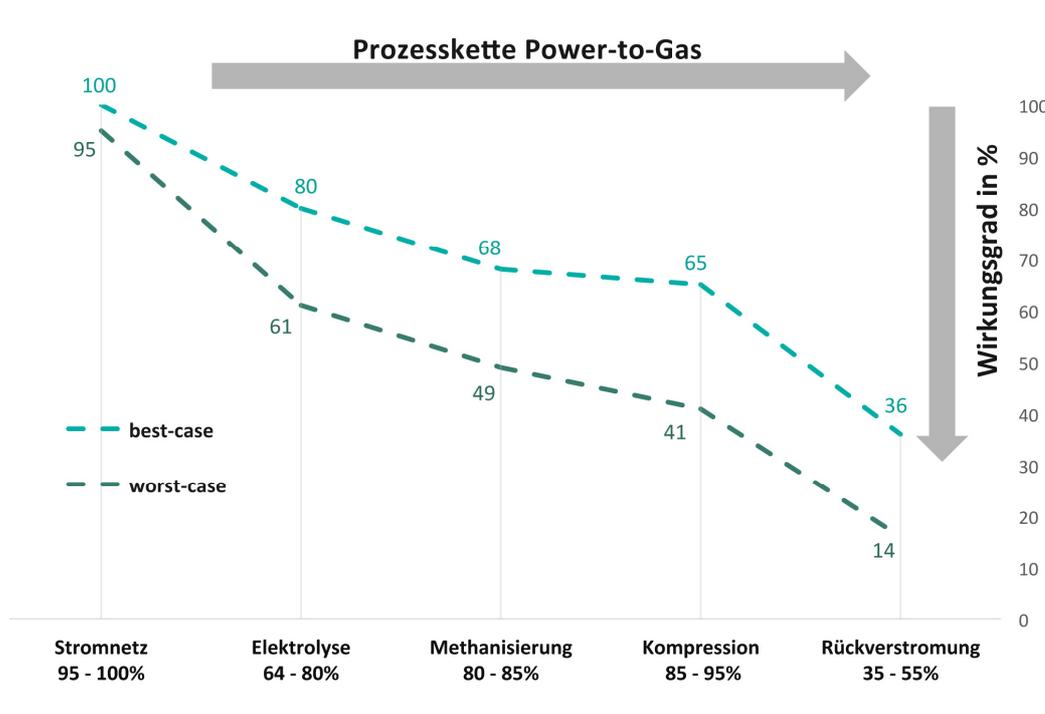
Unter Power-to-X wird allgemein die umgewandelte Nutzung von Strom(-überschüssen) aus erneuerbaren Energien verstanden – entweder zu Speicherzwecken bei originären Stromanwendungen oder als Ersatz fossiler Brennstoffe im Wärme- und Verkehrssektor. Power-to-X-Technologien tragen zu einer stärkeren Vernetzung von Strom-, Wärme- und Mobilitätssektor bei. **Power-to-Gas** bezeichnet die Erzeugung eines energiereichen Gases mittels strombasierter Elektrolyse. Dabei entsteht in einem ersten Schritt Wasserstoff, der dann in einem nächsten Schritt unter Zuführung von CO₂ in synthetisches Methan umgewandelt werden kann.⁴ Wasserstoff lässt sich aber auch im Methanol oder Chemikalien veredeln. Diese Möglichkeiten des Power-to-X werden dann als **Power-to-Fuels**, also die Umwandlung in Flüssigkraftstoffe z.B. für den Verkehrssektor oder **Power-to-Chemicals** für die Herstellung chemischer Grundstoffe für Industrieprozesse bezeichnet. Hierbei ist anzumerken, dass alle Varianten mit hohen Wirkungsgradverlusten behaftet sind, da die Elektrolyse aus physikalischen Gründen immer einen gewissen Energieeinsatz benötigt. Die Veredelungsschritte von Wasserstoff in Methan, Methanol oder andere Chemikalien weisen dabei ähnlich Umwandlungsverluste auf. Allerdings sind die Prozesse noch nicht ausgereift, so dass Potentiale zur Steigerung der Effizienz bestehen.

Beispielhaft wird in der folgenden Abbildung 6 die **Prozesskette von Power-to-Gas** dargestellt. Die obere Linie verbindet dabei die in der Literatur als bestmöglich angenommenen Einzelwirkungsgrade; die untere Linie die mindestens angenommenen **Einzelwirkungsgrade**. So werden für die Übertragung im Stromnetz Verluste von bis zu 5% für den Transport über größere Distanzen oder die Umwandlung von verschiedenen Spannungsebenen angenommen. Für die Wasserstoffelektrolyse nennt das Fraunhofer IWES Wirkungsgrade zwischen 64 und 80%, für die anschließende Methanisierung 80 – 85%. Die Methanisierung erfolgt bei atmosphärischem Druck, das Gasnetz wird jedoch auf verschiedenen Druckstufen zwischen 30 bar und 200 bar in den Erdgasspeichern betrieben. Je nachdem auf welche Druckstufen das Gas komprimiert wird, wird ein Wirkungsgrad zwischen 85 und 95% angenommen. Der Wirkungsgrad der Rückverstromung in Gas- und Dampfturbinenanlagen wird hauptsächlich dadurch bestimmt, ob es sich um eine Anlage handelt, bei der die Abwärme genutzt wird, daher die große Varianz von einem Wirkungsgrad zwischen 35 und 55%. Der Gesamtwirkungsgrad ergibt sich dabei als Produkt der Einzelwirkungsgrade der Prozessschritte. Im günstigsten Fall ist somit ein Gesamtwirkungsgrad von 36%

⁴ Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt (2014): Power-to-Gas (PtG) im Verkehr. Kurzstudie im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur. S.5. <http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/UI-MKS/mks-kurzstudie-ptg.pdf?blob=publicationFile>

erreichbar; im ungünstigsten Fall läge dieser lediglich bei 14%. Die hier dargestellte Prozesskette beruht auf älteren Daten, sodass die dargestellten Werte möglicherweise bereits etwas höher liegen, doch auch im Trialog wurde von Seiten der Wissenschaft ein Wirkungsgrad der Prozesskette von 36% vorgetragen.

Abbildung 6: Der Wirkungsgrad in der Prozesskette Power-to-Gas



Eigene Darstellung, basierend auf: Van Schnurbein, Vladimir (2012): Die Speicherung überschüssigen EE-Stroms durch synthetisches Methan. In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 62. Jahrgang (2012), Heft 9.

Power-to-Gas:

Die Diskussion zu den Möglichkeiten und Grenzen von Power-to-Gas (PtG) nahm einen großen Raum im Trialog ein und löste viele Rückfragen aus. Deshalb wird die Technologie auch in diesem Bericht ausführlicher als andere vorgestellte Technologien behandelt.

Grundsätzlich bietet die PtG-Technologie große Potentiale für die **Flexibilisierung** der Energieversorgung, denn das darüber gewinnbare Gas ist vielfältig in allen drei Sektoren einsetzbar. Fossiles Erdgas besteht überwiegend aus Methan. Das über PtG-Anlagen gewonnene synthetische Methan kann also ähnlich wie fossiles Erdgas eingesetzt werden. Dies bringt einige Flexibilitätsoptionen mit sich: Das synthetische Methan kann im Gasnetz gespeichert und transportiert werden, welches europaweit gut ausgebaut ist und in Deutschland aktuell Speicherkapazitäten bereithält, die nach Angaben aus der Wirtschaft rechnerisch den Strombedarf von etwa 2000 Stunden abdecken können. Dieses

Gas kann also saisonal gespeichert werden und auch in Zeiten geringer Erzeugung aus fluktuierenden erneuerbaren Energien Wärme und Strom bereitstellen. Gas kann zudem in komprimierter oder flüssiger Form (Compressed Natural Gas - CNG und Liquefied Natural Gas - LNG) als Kraftstoff eingesetzt werden.

Auch die **Vorstufe Wasserstoff** kann in geringem Umfang dem Gasnetz beigemischt werden. Es bestand jedoch keine Einigkeit in der Dialog-Diskussion, wie weit sich der Wasserstoffanteil im Gasnetz erhöhen lässt. Branchenvertreter hielten einen Wasserstoffanteil von bis zu 10% machbar. Eine Vertreterin aus der Wissenschaft verwies darauf, dass bestimmte Verbraucher eine sehr hohe Qualität bzw. einen sehr hohen Heizwert des Gases benötigen, so dass der Wasserstoffanteil nicht beliebig angehoben werden kann und der Veredlungsschritt zu Methan erfolgen muss.

Branchenvertreter wiesen darauf hin, dass eine intelligente **Verknüpfung von Strom- und Gasnetzen** sowie PtG-Anlagen ggfs. den Stromnetzausbaubedarf verringern kann. Hierzu müsste aber der regulatorische Rahmen angepasst werden, und es ist entscheidend, wo und auf welcher Netzebene die Anlagen errichtet werden (siehe dazu auch den Abschnitt „Infrastrukturen“ unter 2.5). Power-to-Gas kann derzeit noch nicht wirtschaftlich betrieben werden. Erste Versuchsanlagen sind in Deutschland bereits in Betrieb, doch die Produktionskosten von synthetischem Methan betragen derzeit etwa das Vierfache von fossilem Erdgas. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer gingen davon aus, dass die Technologie auf absehbare Zeit ohne Änderungen des regulatorischen Rahmens nicht marktfähig sein wird.

Aus **ökologischen Gesichtspunkten** ist der Einsatz von Power-to-X nur gerechtfertigt, wenn der Strom aus erneuerbaren Energien stammt. In der ESYS-Stellungnahme „Flexibilitätskonzepte für die Stromversorgung 2050“ wird darauf hingewiesen, dass erst ab einer Anzahl von 4000 Stunden pro Jahr mit Überschussstrom aus erneuerbaren Energien der Betrieb von Power-to-Gas-Anlagen wirtschaftlich zu betreiben ist. Diese Situation wird laut der Studie erst bei einem Anteil fluktuierender erneuerbarer Energien von über 80% erreicht.⁵ Wenn der Zielkorridor zum Ausbau der erneuerbaren Energien des Energiekonzeptes nicht übertroffen wird, wird dieser Wert erst nach 2050 erreicht. Angemerkt wurde jedoch, dass die räumliche Verteilung von Erneuerbare-Energien-Anlagen sehr unterschiedlich ist und es bereits heute Regionen in Deutschland gibt, die so hohe Anteile fluktuierender Erneuerbarer aufweisen.

⁵ ESYS (2015): Stellungnahme „Flexibilitätskonzepte für die Stromversorgung 2050“ Hrsg. Elsner, Peter; Fishedick, Manfred; Sauer, Dirk Uwe. http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Publikationen/Kooperationspublikationen/ESYS_Stellungnahme_Flexibilitaetskonzepte.pdf

Zwischenfazit: Sofern der Einsatz von effizienteren Technologien möglich ist, sollten diese grundsätzlich der Umwandlung von Strom über Power-to-X-Technologien vorgezogen werden. Aufgrund des großen Flexibilitätspotentials sollte Power-to-Gas aber als wichtige Flexibilitätsoption berücksichtigt werden. Da überwiegend auf bestehende Infrastrukturen zurückgegriffen werden kann, sind derzeit keine Akzeptanzprobleme in Bezug auf die Technologie zu erwarten.

Übersicht: Auf dem Trialog genannte Chancen und Hemmnisse von Power-to-Gas

| Chancen | Hemmnisse |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Über PtG-Anlagen gewonnenes synthetisches Methan und zu einem begrenzten Ausmaß auch Wasserstoff können im bestehenden Gasnetz saisonübergreifend gespeichert und europaweit verteilt werden • Synthetisches Gas kann auch in einem postfossilen Energiesystem Gas als Flexibilitätsoption in den drei Sektoren bereitstellen • PtG-Anlagen können flexibel Lasten im Stromnetz abnehmen (negative Residuallast) • Gas ist vergleichsweise einfach transportierbar ⇒ Import möglich • Durch die intelligente Verknüpfung von PtG-Anlagen mit Strom- und Gasnetzen kann ggfs. der Stromnetzausbaubedarf verringert werden • Keine Akzeptanzprobleme erwartet, da wenige neue Infrastrukturen benötigt werden ⇒ Langfristig wichtige Flexibilitätsoption | <ul style="list-style-type: none"> • Hohe Wirkungsgradverluste ⇒ Kommt diese Option flächendeckend zum Einsatz, erhöht dies den Ausbaubedarf für erneuerbare Energien enorm ⇒ Rückverstromung würde zusätzliche Wirkungsgradverluste mit sich bringen • Bisher sehr teure Option • Gasnetz und ergänzende Infrastruktur (PtG-Anlagen) müssten langfristig erhalten werden ⇒ Kosten • Schlechte Klimabilanz, wenn für die Elektrolyse kein Strom aus erneuerbaren Energien verwendet wird ⇒ Einsatz teuer und (noch) schlechte Klimabilanz ⇒ Aus Effizienzgründen für den flächendeckenden Einsatz ungeeignet |

2.4.4 Wasserstoff

Eine weitere Möglichkeit, Strom im Wärme- und Verkehrssektor zu nutzen, ist die direkte Verwendung des in der Elektrolyse hergestellten Wasserstoffs (siehe 2.4.3); damit würde man auf die Methanisierung zu verzichten. Wasserstoff ist beispielsweise in Brennstoffzellen sowohl im Verkehrssektor als auch zur Wärmeabgewinnung einsetzbar. Im Verkehrssektor stehen somit neben der Elektromobilität noch weitere Optionen zur Verfügung, die zukünftig eine größere Rolle spielen könnten. Allerdings stehen wir vor verschiedenen Herausforderungen. Zwar ist die Reichweite von Brennstoffzellenfahrzeugen deutlich länger, aber es müsste eine eigene Wasserstoff-Infrastruktur mit Wasserstoff-Tankstellen in Europa aufgebaut werden. Derzeit existieren nur ca. 20 Tankstellen in Deutschland. Es wurde ebenfalls darauf hingewiesen, dass Wasserstoff nicht ungefährlich in der Handhabung ist und Brennstoffzellen technologisch noch nicht ausgereift sind.

2.4.5 Sonstige Optionen

Biomasse

Ähnlich wie Gas kann Biomasse in vielen Sektoren eingesetzt werden. Sie hat jedoch ein begrenztes Ausbaupotenzial. Studien gehen von einem möglichen Ausbau um maximal den Faktor zwei aus. Auch die Energiebilanz der Biomasse wurde kritisch gesehen, wenn beispielsweise der Einsatz von Wasser und Chemikalien im Anbau berücksichtigt wird. Es wurde daher angemahnt, Biomasse vorrangig in den Bereichen einzusetzen, in denen keine alternativen Technologien zur Verfügung stehen.

Solarthermie

Solarthermie wurde als eine sinnvolle Möglichkeit präsentiert, Niedertemperaturwärme aus erneuerbaren Quellen bereitzustellen. Solarthermieranlagen werden dabei in der Regel nur als Ergänzung zu anderen Heizsystemen für Gebäude eingesetzt – etwa zur Warmwasserbereitstellung. Die Systeme sind dabei üblicherweise mit einem Wärmespeicher ausgestattet. Denkbar ist auch, große Solarthermieranlagen in Wärmenetze einspeisen zu lassen. Das weitere Ausbaupotenzial von Solarthermie wurde von der Wissenschaft als begrenzt eingestuft und Solarthermie im Dialog nicht weiter diskutiert.

Wasserkraft

In Deutschland wird ca. 3% der Bruttostromerzeugung aus Wasserkraft gewonnen. Wasserkraft bietet den Vorteil, dass sie sowohl flexibel Strom vom System abnehmen bzw. erzeugen und somit Ungleichgewichte im System abfedern und als Speicher dienen

kann. Aufgrund der dafür notwendigen geographischen Bedingungen und Umweltein-
griffe wird allgemein davon ausgegangen, dass die Wasserkraft in Deutschland nicht
weiter ausbaubar ist.

Flache Geothermie und Wärmepumpe

Bei der flachen bzw. oberflächennahen Geothermie wird die im Boden vorhandene
Wärme über eine Erdsonde und einen Wärmetauscher aufgenommen und über eine
Wärmepumpe auf dazu zum Heizen notwendige Temperaturen gebracht. Geothermie
kann auch zur Gebäudekühlung eingesetzt werden.

Die flache Geothermie in Kombination mit Wärmepumpen wurde im Trialog als
sinnvolle Technologie mit großem Potential gesehen, die nach Ansicht eines Vertreters
der Wissenschaft deutlich ausgebaut werden sollte. Laut Brancheninformationen
wurden 2013 ca. 8 TWh an Wärme durch flache Geothermie bereitgestellt.⁶ Wie aus
Abbildung 2 ersichtlich wird, liegt der Wärmebedarf Deutschlands bei ca. 1200 TWh. Es
wird also deutlich, dass die Geothermie massiv ausgebaut werden müsste, um einen
nennenswerten Beitrag zur Wärmeversorgung Deutschlands zu leisten. Wie bereits
erläutert, muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass die Technologie aus Gründen
der Effizienz und Wirtschaftlichkeit nur in Gebäuden mit geringem Wärmebedarf bzw.
Niedertemperatur-Heizungen, wie Fußbodenheizungen eingesetzt werden sollte.

Tiefe Geothermie

Für die tiefe Geothermie wird die in mehreren hundert Meter Tiefe vorhandene Wärme
als Energiequelle erschlossen. Dazu bedarf es jedoch günstiger geologische
Gegebenheiten, die in Deutschland nur an wenigen Orten, etwa im Raum München oder
in Mecklenburg-Vorpommern vorhanden sind. 2015 wurde in Deutschland lediglich ca.
5 TWh geothermische Energie direkt genutzt, vorrangig für die Wärmebereitstellung.
Bei Lagerstätten mit sehr hohen Temperaturniveaus kann mit der tiefen Geothermie
über Dampfturbinen auch Strom erzeugt werden, dies geschieht jedoch bisher nur in
sehr begrenztem Umfang.

Tiefe Geothermie stellt hohe ingenieurstechnische Anforderungen und die Bohrungen
in teilweise über 1000 m Tiefe erfordern große Investitionssummen und stoßen immer
wieder auf Akzeptanzprobleme. Im Technologiesteckbrief „Geothermische Kraftwerke“
aus der Schriftenreihe „Energiesysteme der Zukunft“ wird die tiefe Geothermie als eine
Technologie „am Anfang der Lernkurve“ bezeichnet, die bei ausreichend

⁶ Bundesverband Geothermie. Nutzung der Geothermie in Deutschland <http://www.geothermie.de/wissenswelt/geothermie/in-deutschland.html>

Investitionssicherheit zukünftig auch wirtschaftlich zu betreiben sei, es besteht jedoch weiterer Forschungsbedarf.⁷ Im Trialog wurde diese Technologie genannt, aber nicht näher diskutiert.

Die überblicksartige Darstellung der technischen Optionen zeigt, dass es eine Reihe von möglichen Ansätzen zur stärkeren Kopplung der Sektoren gibt, die in ihrer Wirkweise, ihren Voraussetzungen und unter ökologischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten unterschiedlich abschneiden. Sie bedürfen zumeist weiterer Entwicklungen. In diesem Zusammenhang stellte sich in den Trialog-Diskussionen die Frage, ob alle Technologien weiterverfolgt werden sollten. Die Mehrheit der Teilnehmenden sprach sich für eine Technologieoffenheit aus, solange es vorhandene Ressourcen ermöglichen. Dabei geht es zum einen um den Ausbau von Infrastrukturen, aber auch um Forschungsprozesse, Weiterbildungen, Pfadabhängigkeiten und Rohstoffkonkurrenzen.

2.4.6 Effizienz und Suffizienz

Grundsätzlich gilt es neben der Entwicklung smarterer Technologien, die die Nutzung von erneuerbarem Strom auch im Wärme- und Verkehrssektor ermöglichen, einen bewussteren Umgang mit jeder Kilowattstunde Strom herbeizuführen. Die Reduzierung des Energieverbrauchs sollte aus mehreren Gründen an erster Stelle stehen:

... **um den Ausbau der erneuerbaren Energien zu begrenzen.** Je nach Szenario werden Ausbaupfade aufgezeigt, die zu Flächen- und Akzeptanzproblemen führen werden.

... **um die Kosten im Rahmen zu halten.** Hier stehen insbesondere die Wirtschaftlichkeit von Unternehmen, die Akzeptanz der Energiewende und eine für alle bezahlbare Energieversorgung im Fokus.

... **um Umwelt und Klima zu schützen.** Auch der Bau von Erneuerbaren-Energien-Anlagen erfordert hohe Energie- und Rohstoffeinsätze. Diese finden vor allem in den rohstoffexportierenden Ländern bzw. Produktionsstandorten statt. Die Sektorkopplung sollte nicht dazu beitragen, höhere Emissionen im Ausland hervorzurufen.⁸

⁷ Für weitere Informationen siehe: ESYS (2015): Geothermische Kraftwerke. Technologiesteckbrief zur Analyse „Flexibilitätskonzepte für die Stromversorgung 2050“. Hrsg.: Clauser, Christoph; Elsner, Peter. http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Publikationen/Materialien/ESYS_Technologiesteckbrief_Geothermische_Kraftwerke.pdf

⁸ Zum Rohstoffbedarf der Energiewende und den damit verbundenen Herausforderungen siehe

Der Begriff der Effizienz wird in Diskussionen zur Energiewende sehr unterschiedlich verwendet. Aufgrund dessen und aufgrund der genannten Zusammenhänge mit der Sektorkopplung wurde auch in einem der Trialog-Workshops eine intensive Diskussion dazu geführt. Einerseits wird unter Effizienz die Reduzierung des Energieverbrauches insgesamt verstanden, andererseits umfasst sie viele verschiedene „Effizienzen“: Flächeneffizienz, Kosteneffizienz, Rohstoffeffizienz, Energieeffizienz etc. Die Energieeffizienz steht häufig im Vordergrund; sie ist jedoch nur eine Dimension, die in einem systemischen Ansatz zur Sektorkopplung mitgedacht werden muss. So wurde angemerkt, dass die Priorisierung des Effizienzgedankens im Hinblick auf Flächen- und Ressourceneffizienz auf die Nutzung von bestehenden Infrastrukturen und die Vermeidung von zu groß dimensionierten Erzeugungs- und Verteilerstrukturen drängt. Außerdem wurde auf den systemischen Charakter von Effizienz verwiesen: die Erhöhung der Effizienz in einem Bereich kann in anderen Bereichen zu Rebound-Effekten führen. Dies schmälert zwar die absoluten Einsparungen, stellt Anstrengungen zur Effizienzsteigerung aber nicht grundsätzlich in Frage.

“
Energieeffizienz ist von großer Bedeutung für das Gelingen der Energiewende, auch in Bezug auf die Sektorkopplung
—
Politik

In der Trialog-Diskussion bestand Konsens darüber, dass **Strom aus erneuerbaren Energien eine wertvolle Ressource** ist und auch zukünftig sein wird. Es wurde besonderen Wert darauf gelegt, dass durch den Einsatz von Strom für Wärme und Verkehr mit einem zukünftig deutlich höheren Strombedarf zu rechnen ist, der entsprechend mit einem deutlich höheren Ausbau der erneuerbaren Energien verbunden ist, als bisher angenommen wurde. Die öffentliche Diskussion fokussiert bisher darauf, wie Strom, der nicht ins Netz eingespeist werden kann und somit abgeregelt werden muss (der sogenannte „Überschussstrom“), sinnvoll genutzt werden kann. Hierzu ist die Sektorkopplung, aber auch z.B. Demand Side Management eine sinnvolle Flexibilisierungsoption. Eine eingeeengte Fokussierung auf diese Aufgabe im Rahmen der Sektorkopplung wäre aber nicht zielführend. Denn ein zukünftiges Energiesystem, welches zu einem Großteil strombasiert laufen soll, benötigt zusätzliche

auch den Bericht zum Trialog „Rohstoffe in der Energiewende – durch Recycling neue Abhängigkeiten vermeiden.“ vom Februar 2016 <http://www.governance-platform.org/trialoge/energiewende/>
Für umfassende Informationen zum Thema siehe: ESYS (2016) Rohstoffe für die Energieversorgung der Zukunft: Geologie – Märkte – Umwelteinflüsse. Hrsg. Angerer et al. <http://www.aca-tech.de/de/publikationen/publikationssuche/detail/artikel/rohstoffe-fuer-die-energieversorgung-der-zukunft-geologie-maerkte-umwelteinfluesse.html>

Erneuerbare-Energien-Anlagen. Eine Teilnehmerin aus der Stakeholdergruppe Wirtschaft kommentiert dazu im Protokoll:

„Es muss klar sein, dass wir keinen Strom im Überfluss haben. Es gibt keine großen Stromüberschüsse, die wir quasi kostenfrei für Energieverschwendung in Wärme und Verkehr einsetzen könnten.“

Verstärkt wurde diese Aussage durch die Betonung auf der Notwendigkeit der Suffizienz und der Reduzierung des Energieverbrauchs:

„Wenn wir nicht das ganze Land mit Wind und Solar zubauen wollen, dann müssen wir an aller erster Stelle nachdenken, wie wir an aller erster Stelle wirklich reduzieren den Verbrauch“ (org. Zivilgesellschaft)

Vorrangig noch vor technischen Effizienzsteigerungen sind daher **Energieeinsparungen**. Hierbei wurde betont, dass die derzeitigen Maßnahmen nicht ausreichen, um den Energiebedarf langfristig nennenswert zu senken. Ein Wissenschaftler wies darauf hin, dass der Endenergieverbrauch bei Fortschreibung des aktuellen Trends lediglich um 10% bis 2050 reduziert würde. Für ein suffizientes System müssen daher weitere Anstrengungen z.B. durch Verkehrsvermeidung und -verlagerung, erfolgen. Die Diskussion um die Sektorkopplung bietet die Chance über Sektorlogiken und Einzellogiken hinwegzugehen, grenzüberschreitende Überlegungen anzustellen und neue Ideen zu generieren.

2.4.7 Allgemeine Anmerkungen und offene Fragen

Die organisierte Zivilgesellschaft regte an, nicht nur einen systemischen Blick auf die Sektorkopplung einzunehmen, sondern auch Informationen über konkrete Bedarfe der einzelnen Verbraucher in Haushalten und Industrie einzuholen. Zwar ist das effektive und effiziente Funktionieren des Energiesystems unabdingbar, jedoch gehört dazu auch die Mikroebene der Verbraucherinnen und Verbraucher, welche zudem Ideen einbringen können. Auch sollte überlegt werden, ob es noch andere Sektoren gebe, die in die Kopplung einbezogen werden können, beispielsweise der Landwirtschaftssektor. Für die weitere Entwicklung der Sektorkopplung müssen eine ganze Reihe an Technologien auf ihre jeweiligen Vor- und Nachteile, die Anforderungen an Infrastrukturen, Kosten und damit verbundene Akzeptanzprobleme geprüft werden. Es muss kritisch abgewogen werden, wie diese sinnvoll zu kombinieren sind. Mehrfach wurde eine **technologieoffene Diskussion** gefordert (vornehmlich Wirtschaft) und zur Vorsicht geraten, „auf eine Technologie als Heilsbringer zu setzen“ (org. Zivilgesellschaft). Die Energiewende unterliegt ständigen technologischen und **disruptiven Entwicklungen und Ereignissen** – Stichwort Fukushima –, die zu geänderten Bedingungen führen können. Ein Wechsel der Blickrichtung kann daher einen positiven Beitrag leisten. Die Sektorkopplung stellt dabei nicht nur eine Plattform für

technologische Möglichkeiten dar, sondern ist auch eine Chance, im politischen Dialog wieder aufeinander zuzugehen, da viele verschiedene Akteure darin involviert sind. Auch stehen wir derzeit noch am Anfang der Debatte, und so gab es im Trialog eine ganze Reihe von Fragen, die selbstverständlich nicht abschließend geklärt werden konnten. Diese sollten in weitere Diskussionen und Studien einbezogen werden und lauten:

- In welchen Bereichen ist die **direkte Elektrifizierung** sinnvoll?
- Welche Technologien sind **ökologisch und ökonomisch sinnvoll**? – Wie können diese **wirtschaftlich** gemacht werden?
- Wie kann die Sektorkopplung so gestaltet werden, dass **Effizienz** tatsächlich an erster Stelle steht?
- **Design Thinking**: Wie sind die Bedarfe und Optionen für Sektorkopplung, wenn wir sie von der untersten Systemebene der Energieversorgung her betrachten? Wie können Verbraucherinnen und Verbraucher hier besser miteinbezogen werden?

Konkrete Fragen zu Power-to-X:

- **Power-to-Gas**: Welche Voraussetzungen sollten für den Einsatz der Technologie gelten? In welchen Bereichen (Verkehr; Wärme; als saisonaler Speicher oder Regelleistungsoption im Strommarkt) sollte das erneuerbar gewonnene Gas prioritär eingesetzt werden?
- Wie kann PtG **marktfähig** gemacht werden? Welche regulatorischen Rahmen braucht es dazu?
- Welche **Effizienzsteigerungspotenziale** gibt es bei den Umwandlungsprozessen?
- Wie weit lässt sich der **Wasserstoffgehalt im Gasnetz** erhöhen?

Ein prominenter Diskussionspunkt im Trialog war die Frage nach dem Erhalt, Ausbau und Neubau von Infrastruktur: wie viele „**parallele**“ **Netze** wollen wir uns leisten? Wer zahlt den Ausbau und die Fixkosten? Vor diesem Hintergrund ist das nächste Kapitel der Zusammenfassung dieser Diskussion gewidmet.

2.5 Infrastrukturen: alte nutzen, neue etablieren?

2.5.1 Wie viele parallele Netze?

Die vorgestellten Technologien zur Kopplung stellen ganz unterschiedliche Infrastrukturanforderungen. Genannt wurden dazu diverse **Netze**: Stromnetze (sowohl Übertragungs- als auch Verteilernetze), Gasnetze, Wasserstoffnetze, Wärmenetze, Stromtrassen für Überleitungs-LKW aber auch Schienen- und Straßennetze. Weiterhin besteht der Bedarf nach **Erzeugungskapazitäten und Umwandlungsanlagen** sowie **Speicher** verschiedener Art (Batteriespeicher, Wärmespeicher, Gasspeicher, Wasserstoffspeicher). Hinzu kommt, dass der notwendige Ausbau auch abhängen wird von der Höhe des zukünftigen Energieverbrauchs. Je mehr Energie eingespart wird, desto weniger muss transportiert werden.

Es bestand allgemeine Einigkeit darüber, dass auch zukünftig ein gut ausgebautes **Stromnetz** in Deutschland vorhanden sein muss. Es wurde jedoch von Einigen angezweifelt, ob die „Kupferplatte Deutschland“ weiterhin das Ideal der Netzplanung sein soll. Insbesondere auch in einer europäischen energiesystemischen Betrachtung erscheint dies keine Notwendigkeit, da andere Flexibilisierungsmöglichkeiten existieren. In einer volkswirtschaftlichen Betrachtung ist die Kupferplatte die günstigste Option. Aber es wurde eingewandt, dass die Energiewende auch eine emotionale Komponente hat und Rationalität nicht die einzige Entscheidungsgrundlage sein darf. Emotionale Bewertungen energiepolitischer Entwicklungen und Optionen führen einerseits zu neuen Herausforderungen (z.B. Widerstand gegen wichtige Netzausbauprojekte), andererseits auch zu positiv nutzbaren Effekten (z.B. Hausspeicher, die sich noch nicht rechnen, aber dennoch angeschafft werden).

*Strom- und
Gasnetz
intelligent
kombinieren*

Von politischer Seite wurde betont, dass der Netzausbau bisher die kostengünstigste Flexibilisierungsoption ist. Gleichzeitig wurde jedoch Gesprächsbereitschaft signalisiert und bemerkt, dass Netzentwicklungspläne permanent angepasst auch nach unten korrigiert werden können. Allerdings hat ein unzureichender Netzausbau bei steigendem Anteil volatiler Erneuerbarer die Kosten für Netzeingriffe erhöht und dazu geführt, dass insbesondere deutsche Nachbarn unter der Durchleitung unerwarteten Überschussstroms litten. Entsprechend wird und muss der Netzausbau auch im europäischen Kontext diskutiert werden, sowohl hinsichtlich alternativer Flexibilisierungsoption als auch hinsichtlich der Belastung der europäischen Nachbarn.

“
*Wie viele parallele Netze
wollen und können wir
uns auf Dauer leisten?*
—
Zivilgesellschaft

Wirtschaftsvertreter sowohl aus der Gas- als auch der Erneuerbaren-Energien-Branche zeigten sich interessiert an einem **gekoppelten Strom- und Gasnetzausbau** verknüpft mit Power-to-Gas-Anlagen. Diese Debatte um die zukünftige Bedeutung des Gasnetzes wurde kontrovers geführt. Einerseits besteht ein europaweit sehr gut ausgebautes Gasnetz mit entsprechendem Speichervolumen, welches in Kombination mit dem Stromnetz sowie Power-to-X-Technologien gut genutzt werden könnte. Andererseits wurde darauf hingewiesen, dass ein solches Netz auch unterhalten werden muss und nur günstig zu betreiben ist, solange große Mengen darüber transportiert werden. Wenn der Wärmebedarf langfristig reduziert wird, ist unklar, ob das Gasnetz bei gleichbleibenden Fixkosten weiterhin eine günstige Option darstellt.

Wirtschaftsvertreter machten wiederholt auf Studien von DVGW (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches) und VDE (Verband der Elektrotechnik und Elektronik) aufmerksam, die ein zukünftiges Energiesystem aus einer Kombination von Strom- und Gasnetzen beschreiben. Die Autoren zeigen dabei auf, dass eine intelligente Verknüpfung von Strom- und Gasnetzen über Power-to-Gas-Anlagen den Stromnetzausbau verringern kann. Wie eine Wissenschaftlerin im Trialog betonte, spielt hierbei auch die Standortfrage der Power-to-X-Anlagen eine Rolle: sind sie angesiedelt am Gestehtungsort des erneuerbaren Stroms oder eher in der Nähe des Nutzungsorts? Eine Power-to-Gas-Anlage auf Niederspannungsebene bringe beispielsweise keine Entlastung von Mittel- und Hochspannungsleitungen, da Windkraftanlagen in der Regel nicht in Niederspannungsnetze einspeisen. Wenn die Erwartung eintritt, dass die Netze zunehmend lokal auf niederere Netz- bzw. Spannungsebene ausgeglichen werden, bleibt die eingangs aufgeworfene Frage, wer das überliegende Gasnetz aus Hoch- und Mitteldruckebene finanziert. Sollen die Gasverteilernetzbetreiber diese mitfinanzieren? Ein Vertreter der Wirtschaft mahnte an dieser Stelle an, dass die weit verbreitete Annahme, dass das Gasnetz vorhanden und finanziert sei, zu kurz greife.

Die Möglichkeit eines ergänzenden oder alternativen **Wasserstoffnetzes** wurde mehrfach genannt, aber nicht im Detail erörtert. Fakt ist, dass für eine breite Nutzung von Wasserstoff ein deutschland- bzw. europaweites Netz erst aufgebaut werden müsste. Bisher gibt es, wie bereits erwähnt, nur einige wenige Tankstellen.

2.5.2 Speicher

Das EEG hat weltweit die Preise für die Elektrizitätserzeugung aus PV-Anlagen gesenkt. Die derzeitigen Entwicklungen auf den Speichermärkten wie bspw. in Kombination mit PV- und Kleinwindanlagen sowie weitere **Technologiefortschritte** und Förderprogramme könnten eine ähnliche Kostendynamik auslösen. Betont wurde hierzu, dass der Trend für PV-Hausspeichersysteme schneller aufwärts ging als erwartet, während die politisch unterstützte Elektromobilität bisher nur sehr langsam zulegt. Allerdings sind Hausspeichersysteme bisher nur für Einfamilienhäuser konzipiert und es fehlt bislang

an Lösungen für größere Mietshäuser oder andere Gebäude in der Größenordnung. Auch ist die Marktdurchdringung mit jährlich 15 000 bis 20 000 Systemen bei einem Wohnungsbestand von über 40 Millionen in Deutschland relativ gering.

Die volkswirtschaftliche Betrachtung von Speichern ist komplex. Sie stellt aber eine wichtige Komponente für die Betrachtung des weiteren Infrastrukturausbaus dar. Aufgrund der Komplexität wurden bspw. die volkswirtschaftlichen Effekte von Solarstromspeichern in das jährliche Speichermonitoring der RWTH Aachen aufgenommen. Demnach erhöhen dezentrale Speichersysteme den Anteil an selbstverbrauchtem Solarstrom, so dass weniger PV-Strom in das öffentliche Netz eingespeist, aber auch weniger Strommengen aus dem öffentlichen Netz bezogen wurden. Im Ergebnis wurden im Jahr 2015 10 Millionen Euro weniger EEG-Vergütung ausgezahlt, auf der anderen Seite verringern sich die Einnahmen durch Steuern, Abgaben und Netzentgelte in ähnlicher Höhe. Nicht erfasst sind dabei die Vorteile eines gleichmäßigeren Lastflusses und eines potentiell geringeren Netzausbaubedarfs⁹.

Saisonale Speicher: Die Möglichkeiten zur gasförmigen Speicherung von Energie wurden bereits ausgeführt. Hier stehen sowohl Power-to-Gas als auch andere Alternativen von Power-to-X für eine langfristige Speicherung, z.B. in Form von Flüssigkraftstoffen zur Verfügung. Flüssigkraftstoffe können zudem weitestgehend über bestehende Infrastrukturen transportiert und gelagert werden. Alle diese Power-to-X-Option haben gemeinsam, dass sie die Perspektive über Deutschland hinaus erweitern: Um systemisch relevante Mengen zur Verfügung zu stellen, können diese Energieträger gegebenenfalls aus Ländern importiert werden, die bessere Bedingungen zur Erzeugung regenerativen Stroms bieten.

2.5.3 Fernwärmenetze

Zur Zukunft der Wärmenetze gab es unterschiedliche Positionen. Wenn langfristig von einem stetig sinkenden Wärmebedarf ausgegangen wird und der Restwärmebedarf vor allem strombasiert abgedeckt wird, erscheint ein Ausbau von Fernwärmenetzen nicht mehr sinnvoll. Allerdings können sich über die Nutzung von Fernwärme weitere Flexibilisierungspotenziale ergeben, insbesondere auch über Power-to-Heat oder Geothermie. Bestehende Fernwärmenetze sollten folglich genutzt werden. Es besteht Forschungsbedarf zur effektiven Transformation und Nutzung der Fernwärme. Es wurde angeregt, zu untersuchen, was man aus den Fernwärme-Erfahrungen aus Dänemark lernen kann.

Hierzu ist anzumerken, dass üblicherweise in einer Region entweder ein Fernwärmenetz oder ein Gasnetz vorhanden ist. Der Anteil der Fernwärme ist bspw. in den nördlichen

⁹ RWTH Aachen (2016): Jahresbericht zum Speichermonitoring. http://www.speichermonitoring.de/fileadmin/user_upload/Speichermonitoring_Jahresbericht_2016_Kairies_web.pdf

und östlichen Bundesländern höher als in den westlichen Bundesländern, insbesondere in den Städten Berlin, Greifswald, Kiel und Flensburg. Die Frage um die Zukunft der Netze ist also nicht pauschal zu beantworten, sondern es könnten lokal unterschiedliche Lösungen gefunden werden.

2.5.4 Elektrifizierung des Güterverkehrs

Zur Elektrifizierung des Güterverkehrs hat sich noch keine Technologie etabliert. Um auch den Lastverkehr auf der Straße zu elektrifizieren, werden derzeit Oberleitungen über Autobahnen im Pilotbetrieb getestet. Wenn sich diese Technologie durchsetzt, wäre sie mit enormen Investitionen in Infrastruktur verbunden und müsste mit den europäischen Nachbarstaaten koordiniert werden. Die Diskussion um die Dekarbonisierung des Lastverkehrs ist noch in einem frühen Stadium. Daher wurde direkt an die E-SYS-AG die Bitte geäußert, die spezifischen Vor- und Nachteile der verschiedenen Technologien zur Elektrifizierung des Lastverkehrs (u.a. Stromtrassen für Oberleitungs-LKW, Schienenverkehr und Power-to-X) wissenschaftlich zu untersuchen.

2.5.5 Technologieoffenheit und Fragen

Ein zentraler Punkt in der Dialog-Diskussion war die Forderung nach einer technologieoffenen Debatte, was die Mehrheit der Teilnehmenden befürwortete. Konkret wurden zudem mehrfach **Reallabore** gefordert, die – ggfs. unter Aussetzung bestehender Regulierung – die Möglichkeit bieten, Technologien und Ideen lokal und zeitlich begrenzt auszuprobieren. Je länger eine technologieoffene Weiterentwicklung bestehen bleibt, umso langfristiger kann auch auf internationale Entwicklungen reagiert werden. Ebenso können in dezentralen Reallaboren lokale Bedingungen wie bspw. Fernwärmenetze,

Stadtverkehr oder ländliche Region, Güterverkehr etc. mit in die Betrachtung einbezogen und verglichen werden. In der Diskussion wurde deutlich, dass es möglicherweise keine zentrale Blaupause für alle Sektorkopplungstechnologien geben muss. Ebenso müssen die Wärmebedarfe sowie das Verkehrsaufkommen der Industrie eine gesonderte Untersuchung erhalten, da sie ganz anderen Anforderungen stellen als private Haushalte. Möglicherweise ergeben sich aber auch hier Synergien bspw. in der Nutzung von Industrieabwärme oder private E-Kfz als Speichern.

“
Um zu entscheiden, sollen möglichst viele gesellschaftliche Gruppen eingebunden werden. Man muss vielleicht noch zusätzliche Aspekte berücksichtigen, die jenseits der reinen CO₂-Betrachtung liegen. Das wird ein großes Konfliktpotenzial bieten.
—
Wissenschaft

Gleichzeitig gebietet der Effizienzgedanke, nicht alle Optionen parallel zu fahren. Besonders

schwierig stellen sich Entscheidungen hinsichtlich bestehender Infrastrukturen dar. Diese für ganz neue aufzugeben, erscheint zunächst nicht wünschenswert. **Technologieoffenheit steht somit in Spannung zu stabilen Investitions- und Rahmenbedingungen, zur Kosteneffizienz und Pfadabhängigkeiten.** Diese Spannung muss nach Ansicht der Teilnehmerinnen und Teilnehmer in einem gesellschaftlichen Prozess gelöst werden. Dazu zählt auch, in transdisziplinären Verfahren Antworten zu finden auf die Fragen, die seitens der Diskutanten gestellt wurden:

- Wie viele „**parallele**“ **Netze** wollen wir uns leisten? Wer zahlt den Ausbau und die Fixkosten?
- Wie können **zentrale Anlagen und Fernleitungen** finanziert werden, wenn die Netze und Anlagen zunehmend lokal gekoppelt werden und immer weniger Verbraucher an die Netze angeschlossen sind? Sollen diese steuerfinanziert werden?
- Wie kann **Fernwärme** effektiv genutzt werden? Welche Erfahrungen dazu gibt es aus Dänemark?
- Ist der Aufbau einer eigenen **Wasserstoffinfrastruktur** gerechtfertigt?
- Welche Möglichkeiten bestehen über Druckvarianzen in den Gasetzen (die sog. Netzatmung) Bedarfsspitzen in den Netzen zu verschieben und somit zur Flexibilität beizutragen?
- **Technologieoffenheit versus Kostenexplosion:** einige neue Technologien brauchen neue Infrastrukturen. Gleichzeitig sollten wir viele Technologien ausprobieren und den Prozess kontinuierlich nachsteuern können. Können wir Infrastrukturen aufbauen, auch wenn wir noch nicht wissen, ob sich eine Technologie langfristig durchsetzen kann? Welche Abhängigkeiten bzw. Notwendigkeiten zur **internationalen/europäische Zusammenarbeit** bestehen?
- Manche Regionen Deutschlands haben bereits heute den Energiemix von 2050 und eignen sich als Reallabore – Welche Möglichkeiten bestehen auf **lokaler Ebene zur Kopplung der Sektoren**? Können klein angelegte Sektorkopplungsprojekte Aufschlüsse für das Gesamtsystem geben? Welche Projekte/ Innovationsräume gibt es bereits? Welche Schlüsse können aus ihnen gezogen werden? Dauern zentrale Projekte unter zentraler Steuerung zu lange? Wie können bei zunehmend dezentraleren Systemen die Fernnetze finanziert werden?
- Lokale Schwankungen können durch **kleinere lokale Anlagen**, die die Sektoren koppeln, ausgeglichen werden. Gleichzeitig weisen **großtechnische Anlagen** eine höhere Effizienz als viele kleine Anlagen auf. Welche spezifischen Vor- und Nachteile bieten die unterschiedlichen Modelle?

- Power-to-Gas-Anlagen sind zwar teurer als andere Anlagen, aber deren Einsatz kann ggfs. den Bedarf zum Ausbau der Stromnetze verringern. Statt auf Stromnetze kann auf das **europaweit gut ausgebaute Gasnetz** zurückgegriffen werden. Inwieweit kann das Netzdesign zwischen Strom und Gas intelligent gestaltet werden? Unter welchen Bedingungen und Annahmen? Auf welcher Netzebene sollten Umwandlungsanlagen angesiedelt werden?

2.6 Akzeptanz: Dialog, Kommunikation und Kosten

2.6.1 Kosten und Investitionen

Die Umstellung des Energiesystems auf ein klimaschonenderes Energiesystem ist mit enormen Investitionen verbunden und wird auch in den nächsten Jahren weitere Kosten verursachen. In der öffentlichen Diskussion werden dazu immer wieder große Summen ohne Einordnung in die komplexen Zusammenhänge der Energiewende genannt. Oftmals wird hervorgegeben, wie teuer die Energiewende ist. Die Frage, welche Kosten langfristig ohne eine Transformation entstehen, wird hingegen seltener gestellt. Im Dialog wurden daher einige grundsätzliche Punkte festgehalten:

- **Wirtschaftlichkeit und Sozialverträglichkeit sind keine rein ökonomischen Begriffe.**

Die Begriffe beziehen verschiedene Kostendimensionen mit ein. Welche Subventionen oder externen Kosten jedoch berücksichtigt werden, lässt sich nicht ökonomisch begründen, sondern ist Ergebnis eines politisch-gesellschaftlichen Entscheidungsprozesses:

„Wirtschaftlichkeit enthält sehr viele Dimensionen, die letztlich nur über eine politische Vereinbarkeit geklärt werden können, indem die Menschen sagen, dass sie das noch mit einbeziehen wollen und jenes nicht.“ (Wissenschaft)

- **Wirtschaftlichkeit sollte nicht mit Kosten gleichgesetzt werden**

„Wirtschaftlichkeit bedeutet, dass ich einen gewissen Ertrag für einen gewissen Aufwand kriege. Und dann habe ich verschiedene Optionen und dann kann ich entscheiden, welche Investition ich denn tätige.“ (Wirtschaft)

Ob eine Investition als wirtschaftlich erachtet wird, ist daher auch mit den Renditeerwartungen des Investors verknüpft.

- **Heutige Kosten sind bedingt durch Entscheidungen der Vergangenheit** und auch zukünftige Kosten werden bedingt durch heutige und zukünftige Entscheidungen. Welche Technologie schließlich „wirtschaftlich“ ist, hängt auch davon ab, wie Abgaben und Umlagesysteme gestaltet werden.

Aufbauend auf diesen Feststellungen wurde darauf verwiesen, dass die **Kosten der Energiewende auch als Investitionen in ein zukünftiges klimaschonendes Energiesystem verstanden werden können**. Für eine faire Abschätzung der Kosten müssen zudem immer die alternativen Systemkosten beachtet werden, denn auch ein konventionelles Energiesystem erzeugt Kosten durch Investitionen und Brennstoffkosten.

Für die Energieunternehmen stehen weniger Kosten, sondern vielmehr die Frage nach neuen **Geschäftsmodellen** im Vordergrund. Hier wurde betont, dass die Sektorkopplung für die Gas- und Elektrizitätswirtschaft überwiegend eine Chance für das eigene Geschäftsmodell darstellt. Die Elektrizitätsbranche sieht einen langfristig steigenden Strombedarf durch die zunehmende Elektrifizierung und die Gasbranche kann über Power-to-Gas langfristig neue Märkte erschließen und bestehende Geschäftsmodelle mit erneuerbar gewonnenem Gas weiterbetreiben.

“

Sobald eine Industrie erkennt, dass da ein großer Zukunftsmarkt ist, wird mit Vollgas reingegangen, entwickelt, Produkte gemacht, nutzertauglich, anwendertauglich, da wird eine Geschichte erzählt und es geht gar nicht mehr nur um Wirtschaftlichkeit.

—
Wirtschaft

2.6.2 Teilhabe und Akzeptanz

Auch wenn die Kosten der Energiewende als Investitionen in eine klimafreundlichere Zukunft gesehen werden können, so entscheidet die Höhe der Stromrechnung auch über die Akzeptanz der Energiewende. Wenn diese durch eine erhöhte EEG-Umlage oder höhere Netzentgelte steigt und zusätzlich die Energiewende vornehmlich als Kostentreiber kommuniziert wird, so gefährdet das die Zustimmung zum Transformationsprozess in der Bevölkerung. Um die Akzeptanz für die Transformation des Energiesystems auch in den nächsten Jahrzehnten zu halten, ist eine positive Kommunikation zuträglich, die die Investitionen in die Zukunft herausstellt. Auch die Schaffung weiterer Möglichkeiten zur aktiven **Teilhabe an der Energiewende** für mehr gesellschaftliche Gruppen, kann zur Akzeptanz beitragen. Aufgrund der tagespolitischen Aktualität des Themas wurden hierbei besonders die **Mieterstrommodelle** hervorgehoben. Während bisher lediglich besser situierte Bevölkerungsschichten und Eigenheimbesitzer aktiv durch Investitionen in erneuerbare Energien profitieren konnten, so bieten Mieterstrommodelle auch für Mieter und Stadtbewohner eine direkte Teilhabemöglichkeit.

Darüber hinaus besteht somit eine zusätzliche Möglichkeit, **Kapital für die Energiewende zu mobilisieren**.

„Mieterstrom ist für uns als Unternehmen ein sehr wichtiges Thema [...] etwas Positives zur Energiewende. Wir haben die Kostendebatte, [...] und das ist immer sehr, sehr negativ geprägt. Und einmal zu sagen: Nein, wir haben eine Idee, wir haben eine Vision, wir schreiten mal wieder voran, auch so, dass es die Menschen in der Breite erfahren. Das ist ein unheimliches technokratisches Thema sonst und so kommt es mal in die Breite rein und man erlebt es... und überhaupt auch öffentliche Kommunikation pro erneuerbare Energien aufzubauen ist sehr, sehr schwer, weil eben so wahnsinnig viel Begleitdebatte da ist.“ (Wirtschaft)

Von verschiedenen Seiten wurde betont, dass der weitere Zubau an erneuerbaren Energien nur gemeinsam mit den Bürgerinnen und Bürgern möglich ist: denn der Zubau wird sichtbarer als je zuvor! Wenn die Anzahl erneuerbarer Energieanlagen zukünftig noch steigen und somit das Landschaftsbild verändern wird, ist die grundsätzliche Zustimmung der Bevölkerung wichtig. Ebenfalls muss vor diesem Hintergrund das Thema Effizienz und Energiesparen vorangetrieben werden. Je sparsamer wir zukünftig mit Energie umgehen, um so weniger Anlagen müssen zugebaut werden.

*Gesellschaftliche
Teilhabe trägt zur
Akzeptanz der
Energiewende bei*

Ebenfalls wurde unterstrichen, dass **Verbraucher großes Interesse daran haben, selbst aktiv die Energiewende mitzugestalten**. Das betrifft sowohl die Stromerzeugung- und Speicherung als auch den Willen, einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten. Ein Vertreter der organisierten Zivilgesellschaft verwies auf die vielen privaten Haushalte, die sich mit Photovoltaik in Kombination mit Hausspeichersystemen ausstatten, die „beseelt“ seien von dem Gedanken der Unabhängigkeit, obwohl solche Systeme noch nicht wirtschaftlich sind. Diese „positive Energie“ müsse befördert und für die Transformation genutzt werden.

Durch die Digitalisierung haben Prosumer nun sogar die Möglichkeit, ggfs. auch Nachbarn mitzuversorgen und somit selbst zu einem kleinen Energieversorger zu werden. Peer-to-Peer-Modelle und Blockchain ermöglichen dezentrale und datensichere Geschäftsmodelle. *„Digitalisierung [...] hat das Potenzial diese neue Rolle des Verbrauchers, diese neue Verbrauchermacht auch mit digitalen Geschäftsmodellen zu hinterlegen.“ (org. Zivilgesellschaft)* Hier könnte ein Struktur- und Bewusstseinswandel entstehen, der sowohl ein **neues aktives Selbstverständnis der Verbraucher** befördert, als auch neue Regulierungsanforderungen stellt. Angemerkt wurde hierzu, dass für Verbraucher auch andere Kriterien als rein wirtschaftlich-rationale Betrachtungen eine Rolle spielen. Energieversorgung ist ein emotionales Thema. Zwar kann eine gedämmte Fassade den

Eigenverbrauch senken, aber eine App, die die aktuelle Stromproduktion der eigenen PV-Anlage anzeigt, ist „vorzeigbarer“.

Die organisierte Zivilgesellschaft lehnte die negativ konnotierte Debatte um die „Entsolidarisierung“ der **Eigenverbraucher** ab. Für Verbraucher sei es unverständlich, warum auf den Eigenverbrauch die EEG-Umlage zu entrichten ist. Unklar sei auch, warum sich die Diskussion auf private Eigenverbraucher konzentriere, wobei der Eigenverbrauch der Industrie um ein Vielfaches größer sei. Dennoch wurde anerkannt, dass auch Prosumer, die nur einen kleinen Teil ihres Energieverbrauches über Netze beziehen, langfristig einen Beitrag zum Erhalt der Netze leisten müssen. Angemerkt wurde auch, dass die Möglichkeit zur Eigenstromversorgung nicht zu Lasten derjenigen Verbraucher gehen darf, denen diese Option nicht offensteht. In der aktuellen Situation sollte jedoch die positive Dynamik der Eigenstromerzeugung für die Akzeptanz der Energiewende genutzt werden. Die neue Rolle der Verbraucher weg von „Nörglern und Zahlern“ könne auch die Beteiligung an der politischen Diskussion zur Energiewende erhöhen, sofern diese Rolle weiter ermöglicht und gefördert wird.

Auch im **Wärmebereich** würden viele Hausbesitzer gern an der Wärmewende mitwirken, so ein Vertreter der Zivilgesellschaft – hier gibt es jedoch finanzielle Hürden. In circa 30% der 14 Millionen Einfamilienhäuser in Deutschland muss in den nächsten Jahren der Heizungskessel ausgetauscht werden – bestenfalls mit dem Umstieg auf eine Wärmepumpe. Solche Investitionen lohnen sich jedoch in vielen Fällen nicht, weswegen doch auf konventionelle Heizungssysteme zurückgegriffen werde. Hier stellte sich die Frage, wie das politisch besser angereizt werden kann.

Im Gegensatz zum Stromsektor ist es also noch nicht gelungen, die positive Dynamik der Energiewende in den Wärmebereich zu übertragen. Da Sanierungsmaßnahmen zudem direkt das unmittelbare Wohnumfeld der Betroffenen beeinflussen, hat die Akzeptanz von Maßnahmen im Wärmebereich einen noch höheren Stellenwert als im Strombereich, wo sich die Akzeptanz lediglich auf die Kosten erstrecken muss.

Lokale und dezentrale Ansätze zur Kopplung der Sektoren können ebenfalls zur Akzeptanz und zum Verständnis der Energiewende beitragen. Denn Widerstand formiert sich häufig gegen große und zentral geplante Projekte, bei denen Bürgerinnen und Bürger sowohl von der Planung als auch den damit verbundenen Einkommensströmen ausgeschlossen sind. Bei lokalen Projekten lässt sich Partizipation und Teilhabe meist einfacher gestalten und lokale Gegebenheiten können berücksichtigt werden. So besteht die Chance, demokratische Prozesse durch die Energiewende zu stärken.

“

Ich glaube, dass wir uns einfach vergewissern müssen, dass wir beim Thema Wärme und Verkehr unmittelbar in die Lebenswirklichkeit von 80 Millionen Menschen in Deutschland eingreifen.

—
Wirtschaft

Übereinstimmend wurde jedoch die Auffassung geteilt, dass eine **transparente Kommunikation und Partizipation** bei der Elektrifizierung der Sektoren Wärme und Verkehr wichtiger werden wird, als das bisher bei der Stromwende der Fall war. Konkret wurden folgende Punkte angesprochen, die klar kommuniziert werden müssen:

- Es bedarf einer **offenen Kommunikation über die Ziele und die Erreichung bzw. Nichterreichung der Ziele von Energiewende und Sektorkopplung**. So solle u.a. klargestellt werden, dass der Umbau des Energiesystems kurzfristig durch das Abschalten der nuklearen Kapazitäten zu höheren Emissionen führen kann. Mittel- und Langfristig ist es jedoch unerlässlich, dass die Emissionen tatsächlich sinken. Wenn die Energiewende dieses oberste Ziel nicht erfüllen kann, wird auch die Akzeptanz der Energiewende und ihrer Umsetzung über die Kopplung der Sektoren leiden.
- **Die Transformation des Energiesystems ist mit Kosten verbunden**. In diesem Strukturwandel gibt es Gewinner und Verlierer. Wie bereits ausgeführt, ist es der Akzeptanz zuträglich, wenn auch Verbraucherinnen und Verbraucher zu den Gewinnern zählen können.
- **Gesellschaftliche Diskussion und Mitentscheidung** über die Optionen der Sektorkopplung sind wichtig.
- Die **Zusammenhänge Akzeptanz und Effizienz** betrachten und fördern: nur wenn die Bevölkerung die Energiewende mit ihren Implikationen akzeptiert, wird sie für Energieeinsparungen und Effizienzbemühungen bereit sein und Rebound-Effekte vermeiden.
- **Partizipation bei konkreten Projekten**. Partizipationsprozesse bei konkreten Projekten ermöglichen es, etwaige Konfliktpunkte und Proteste von Bürgerinnen und Bürgern frühzeitig zu erkennen und somit eine Verzögerung oder sogar den kompletten Abbruch von Projekten in einem späten Stadium zu vermeiden. Manche Projekte werden nicht auf inhaltlicher Grundlage abgelehnt, sondern lediglich, weil die Menschen nicht einbezogen wurden. Eine Wissenschaftlerin formulierte dazu ihre Erfahrung:

„[...] dass bei alledem, nach allem was wir immer wieder darüber debattiert haben, letztlich nur Partizipation hilft, und zwar von Anfang an. Denn, die Vorstellung, dass man sich etwas nur gut ausdenken muss und dann wird es akzeptiert, ist nicht mehr die effektivste.“

Festgehalten wurde, dass es sicherlich keinen Königsweg geben wird, wie Kommunikations- und Partizipationsprozesse so zu gestalten sind, dass die wichtigsten Stakeholder einbezogen werden können und trotzdem die Prozesse nicht zu sehr verzögert werden.

Es gibt trotz Fortschritten in diesem Bereich noch immer Forschungsbedarf zu den Methoden, Chancen und Hindernisse von Partizipations- und Kommunikationsprozessen für die Energiewende. Im Trialog wurden konkret folgende Fragen gestellt:

- Gibt es Ansätze und Ideen, wie die Akzeptanz der Verbraucherinnen und Verbraucher für die Energiewende langfristig gehalten werden kann?
- Wie können Kommunikations- und Partizipationsprozesse so gestaltet werden, dass die wichtigsten Stakeholder einbezogen werden können und trotzdem die Prozesse nicht zu sehr verzögert werden?
- Stakeholder-Mapping: Wer sind Gewinner und Verlierer der Sektorkopplung?
- Wie kann Technologieentwicklung von Anfang an systematisch mit partizipativen Prozessen begleitet werden?

2.7 Regulatorische Rahmenbedingungen

2.7.1 Level playing field – Hintergrund und Fragen

Die Kopplung der Sektoren bringt unterschiedlich regulierte Sektoren mit unterschiedlichen Abgabelogiken zusammen. Um ein „level playing field“ zu schaffen, muss – so die Mehrheit der Teilnehmenden – untersucht werden, wo Anpassungen im System vorgenommen werden müssen und welche Implikationen zu beachten sind. Wie kann das konkret aussehen? Welche Hindernisse gibt es? Welche Anknüpfungspunkte bestehen bereits? Sollte Strom, der in anderen Sektoren eingesetzt wird, von bestimmten Abgaben befreit werden? Gibt es staatliche Umlagen und Steuern, die Fehlanreize setzen und den Zielen der Energiewende entgegenwirken? Wie können regulierte und weniger regulierte Märkte (z.B. Strom versus Fernwärme) zusammengebracht werden? Kommt es durch neue Regulierungen für die Sektorkopplung zu Asset-Entwertungen und Macht-verschiebungen? Wie können Spannungsverhältnisse zwischen langfristigen

“
Ich kann Ihnen heute nicht sagen, wie es ausgeht. Aber wir brauchen ein „level playing field“ sonst hat die Sektorkopplung keine reelle Chance.
—
Politik

Regulierungsrahmen und derzeit noch unsicheren technologischen und infrastrukturellen Entwicklungen und Bedarfen angemessen berücksichtigt werden?

Welche Pfadabhängigkeiten sind zu beachten? Und wie kann und muss der gesetzliche Rahmen zur Förderung von Sektorkopplung auf einer Zeitachse betrachtet werden?

Um die Rahmenbedingungen langfristig wirksam zu gestalten, ist es hilfreich mit Szenarien und Roadmaps zu arbeiten. Allerdings gibt es hierbei einige Aspekte zu berücksichtigen, insbesondere wenn es sich um Politikfelder mit hohem

Innovationspotential handelt. Diese sollen zunächst erläutert werden, um im Anschluss die auf dem Dialog genannten Regulierungsaspekte des Wärme- und Verkehrssektors näher zu beleuchten und die damit verknüpften Forschungsfragen aufzuzeigen.

2.7.2 Szenarien, Roadmaps und Zeithorizonte

Zur Gestaltung und Ausdifferenzierung gesetzlicher Rahmenbedingungen für eine effiziente Kopplung der Sektoren ist es von großer Bedeutung, die gesamte Systemarchitektur zu betrachten und den zeitlichen Horizont von Technologien und bereits bestehender Regularien und Fördermaßnahmen zu berücksichtigen. Die Nutzung von Szenarien, Prognosen und/oder Roadmaps ist jedoch mit verschiedenen Unsicherheiten behaftet, wie einige Teilnehmende hervorhoben. Szenarien stellen zwar wichtige Instrumente der politischen Entscheidungsanalyse dar, aber sie beinhalten nicht selten Ziel- und Wunschvorstellungen, wie sich etwas entwickeln soll. Als Argumentationsgrundlage sind Szenarien daher nur mit Vorsicht zu verwenden. Sie können aber als Vision dienen und Leitplanken für die zukünftige Ausgestaltung des Energiesystems bieten.

Auch die Aussagekraft von Prognosen auf Basis einer reinen Extrapolation ist begrenzt. Eine Extrapolation zeichnet den aktuellen Entwicklungstrend weiter und zeigt somit die zu erwartende Entwicklung ohne weitere Maßnahmen auf. Sie kann daher ein hilfreiches Instrument sein, um den Handlungsdruck zu verdeutlichen. Der Vorteil von Roadmaps liegt insbesondere in der übersichtlichen Kommunikation eines langfristigen Plans mit groben Zeitangaben und relativ konkreten Maßnahmen. Das erhöht die Glaubwürdigkeit und zeigt für alle Beteiligten und Betroffenen auf, mit welchen Maßnahmen, Auflagen oder Kosten langfristig zu rechnen ist. Allerdings basieren auch Roadmaps häufig auf Szenarien und schließen somit Zielvorstellungen ein.

Im Thema Sektorkopplung sind für die Weiterentwicklung von Gesetzen, Steuern, Abgaben, Fördermaßnahmen etc. insbesondere die Annahmen für den **Energieverbrauch 2050** und die technologische Entwicklung höchst relevant für die Ausgestaltung der Rahmenbedingungen. Wie bereits oben erwähnt, gehen hier die Annahmen zum Teil weit auseinander. Das Energiekonzept der Bundesregierung visiert eine Halbierung des Primärenergieverbrauches bis 2050 an, was ca. 2000 TWh entspricht. Das Umweltbundesamt hat ein Szenario für ein 2050 vollständig dekarbonisiertes Energiesystem entworfen und erwartet dafür einen Nettostrombedarf von fast 3000 TWh pro Jahr, was das Sechsfache des aktuellen jährlichen Stromverbrauchs darstellt. Da bisher lediglich ca. ein Drittel des erzeugten Stroms aus erneuerbaren Quellen stammt, sieht ein solches Szenario den Ausbau der erneuerbaren Energien um den Faktor 18 vor.

“

*Wir sprechen von 2050.
Das ist ein langer
Zeitraum, über den wir
die Akzeptanz halten
müssen, damit alle
Akteure mitmachen.*

—
Politik

Ein derartiger Ausbau ist in Deutschland nach aktuellem technischem Stand nicht erreichbar. Folglich müssten erneuerbare Energien in einem Umfang importiert werden, der in etwa den fossilen Importen heute entspricht. **Je nachdem, auf welche Szenarien die Politik zurückgreift, ergeben sich daher unterschiedliche Handlungsoptionen.** Es besteht ein Spannungsverhältnis zwischen einer flexiblen Gestaltung des Politikrahmens mit der Möglichkeit auf disruptive Entwicklungen zu reagieren und möglichst präzisen Vorhersagen und langfristig klaren Regularien.

Auch die **Zeithorizonte** spielen eine Rolle und können wichtige Ankerpunkte für die Ausgestaltung der Sektorkopplung und in der Kommunikation sein: Was brauchen wir heute, was in 5 Jahren, was in 10 Jahren? Welche Maßnahmen sollten bereits heute ergriffen werden und welche Maßnahmen sind erst zu einem späteren Zeitpunkt sinnvoll? Eine Technologie, die heute ökologisch und ökonomisch am effizientesten ist, muss in 10 Jahren vielleicht einer anderen Technologie weichen. Wie können diese Unwägbarkeiten regulatorisch abgefedert werden, so dass einerseits Technologien, die sich als wenig zukunftsträchtig erweisen, wieder zurückgenommen werden können, aber Investoren und Prosumer dennoch ausreichend Sicherheit haben?

2.7.3 Rahmenbedingungen

Die konkreten Systempfade bis 2050 sind noch offen und es bedarf somit auch einer offenen politischen Steuerung. Wichtig ist jedoch, dass das Marktdesign für die Sektorkopplung möglichst so ausgestaltet sein soll, dass auch tatsächlich die erneuerbaren Energien in den drei Sektoren genutzt werden. Dabei bestand Konsens, dass die Kopplung der Sektoren ein höchst komplexes Unterfangen ist. Uneinigkeit bestand darüber, wie es gelingen kann, diese Komplexität beherrschbar zu machen. Hoffnungen werden bspw. in die Digitalisierung gesetzt; andere sahen lokale Projekte als eine Chance, verschiedene Pfade zur Kopplung der Sektoren in einem geschützten Rahmen auszuprobieren. Diese Variante ermöglichte es auch, nur erfolgreiche Umsetzungen auf größere Einheiten zu übertragen und rascher zu agieren, da nicht die zentralen Entscheidungsprozesse durchlaufen werden müssen. Ebenfalls betonte ein Teilnehmer (Wirtschaft), „dass die Sektorkopplung auch gezielt dafür genutzt werden sollte, die lokale Ebene zu stärken.“

Andere plädierten dafür, Pilot- und Versuchsprojekte den gleichen Regeln auszusetzen und auf Sonderregelungen und Ausnahmen möglichst zu verzichten, um so zu erkennen, welche Wirkung diese Projekte in der Realität hätten. Wieder andere sahen eher die Großinfrastrukturen als ein geeignetes Feld der Sektorkopplung, da dort nur wenige Akteure involviert sind. Kritisch wurde die kleinteilige Koordination von vielen kleinen Anlagen gesehen. Dies stelle eine enorme Herausforderung dar. Die Frage lautet daher: Wie kann ein System entwickelt werden, das überschaubar und politisch steuerbar bleibt und gleichzeitig die Dynamik des Marktes nicht ausbremst?

Im Zuge der allgemeinen Diskussion um die Rahmenbedingungen für die Sektorkopplung wurde auch eine grundlegende **Debatte über die Steuerungswirkung des Energiepreises** eröffnet. Angemerkt wurde beispielsweise, dass sich der Börsenstrompreis zwar prinzipiell über marktliche Prozesse bestimme, der Strommarkt aber doch eng reguliert sei. So ist zwar auf die Einführung eines Kapazitätsmarkts bisher verzichtet worden, doch die Netzreserve, Redispatch und ähnliche Mechanismen generieren staatlich bestimmte Einkommensströme bzw. Kosten. Unter Verweis auf die anstehende Debatte auf europäischer Ebene über Kapazitätsmärkte im europäischen Strommarkt wurde angemerkt, dass sich womöglich auch Deutschland erneut die Frage stellen müsse: „Wie kommen wir zu einem Preis für Energie?“ (Wirtschaft)

Auch die **Finanzierung der Energiewende** wurde prinzipiell diskutiert. Es wurde betont, dass es neben Umlagesystemen noch weitere Möglichkeiten gibt, langfristige Infrastrukturen zu finanzieren. Umlagesysteme belasten heutige Verbraucher, die Infrastrukturen werden jedoch auch in den kommenden Jahrzehnten noch genutzt. Von zivilgesellschaftlicher Seite wurde eine stärkere steuerlich finanzierte Energiewende zur Diskussion gestellt, da eine kilowattstundenbasierte Umlage Geringverdiener im Verhältnis stärker belastet. Schließlich könne der Stromverbrauch nicht unter ein gewisses Mindestmaß reduziert werden. In einer Steuerfinanzierung würden Energiewendemaßnahmen mit anderen Ressorts konkurrieren und wären damit auch stärker in der politischen Diskussion.

Viele Fragen und Diskussionspunkte konnten im Dialog nur angerissen werden. Im Folgenden werden die wichtigsten Aspekte zur Ausgestaltung der regulatorischen Rahmenbedingungen zusammengefasst:

- **Spannungsfeld stabile Rahmenbedingungen und Anpassungsnotwendigkeiten.** Einerseits ermöglicht eine technologieoffene Förderung auf die Technologien zu setzen, die sich als zukunftsfest erweisen, andererseits haben große Anlagen lange Investitions- und Amortisationszeiträume, die frühzeitige Entscheidungen verlangen. Auch für Geschäftsmodelle braucht es stabile Rahmenbedingungen, hierzu muss zumindest für einen gewissen Zeitraum Investitionssicherheit für Innovationen gewährt werden. Dies dient auch der Transparenz und dem Schutz der Verbraucher. Wie kann dieses Spannungsfeld angemessen berücksichtigt werden in entsprechenden Regularien? Welche Betrachtungen auf der Zeitachse sind hierbei wichtig? Und welche Bedeutung haben Szenarien und Roadmaps in diesem Zusammenhang?
- **„Level playing field“ – unterschiedliche Abgabenlogiken.** Durch die Sektorkopplung kommen sehr unterschiedlich regulierte Sektoren zusammen. Derzeit ist die Kilowattstunde im Stromsektor stärker mit Abgaben belastet als die Kilowattstunde im Wärmesektor. Ein weiteres Beispiel ist die Besteuerung von Die-

selkraftstoff. Dieser ist im Verkehrssektor hoch, im Wärmesektor jedoch nur gering besteuert. Wie kann die Steuer- und Abgabenlogik im Energiesystem so überarbeitet werden, dass sie die Sektorkopplung sinnvoll unterstützt und ein „level playing field“ schafft? Welche Hindernisse gibt es? Welche Ressorts müssten miteinbezogen werden? Welche Anknüpfungspunkte bestehen bereits? Sollte Strom, der in anderen Sektoren eingesetzt wird, von Abgaben befreit werden (siehe auch nächster Punkt)? Welche staatlichen Umlagen und Steuern bieten Fehlanreize, die dem Ziel der Energiewende entgegenwirken? Wie können regulierte (z.B. Strommarkt) und weniger stark regulierte Märkte (z.B. Fernwärme) zusammengebracht werden? Wie soll die Sektorkopplung organisiert werden: marktlich oder reguliert? Sollen Innovationsräume und Freiräume für lokale Projekte gewährt werden? Oder sollte möglichst auf Sonderregelungen und Ausnahmen verzichtet werden und gleiche Bedingungen für alle gelten?

- **Aber: Forderungen nach Abgaben- und Umlagebefreiungen genau prüfen.** Abgabenbefreiungen für den Einsatz von Strom in bestimmten Anwendungen führen einerseits immer zu einer Umverteilung von Kosten, die so oder so getragen werden müssen und andererseits kann es nicht zielführend sein, „die wertvolle Ressource Strom“ billiger zu machen. Um ein „level playing field“ zu ermöglichen, müssen fossile Energieträger teurer werden (Anmerkung Wirtschaft Protokoll). Der Preis für CO₂-Zertifikate im Europäischen Emissionshandelssystem ist aktuell niedrig, so dass darüber kaum Anreize für klimafreundliche Technologien gesetzt werden. Wenn die überschüssigen Zertifikate in dem System abgebaut sind, ist jedoch mit einem raschen Anstieg der Preise zu rechnen. In diesem Zusammenhang wurde auch die kurz- und mittelfristige Flankierung mit einem nationalen CO₂-Preis diskutiert, um eher einen kontinuierlich-moderaten Preisanstieg zu forcieren. (Zivilgesellschaft).
- **Energiewende ist auch eine Demokratie- und Umverteilungsfrage.** Wichtig ist die Klärung der **Finanzierung** der Sektorkopplung. Durch die Kopplung der Sektoren wird es zu Asset-Entwertungen und Machtverschiebungen kommen. Wie kann die Abgabenlogik sozial verträglich und so ausgestaltet werden, dass sie der Akzeptanz zuträglich ist? Ist es sachgerecht, dass die Stromkunden die Dekarbonisierung von Wärme und Verkehr mitfinanzieren?
- **Förderung bedächtig und zeitlich begrenzt einsetzen.** Wenn Förderhähne zu lange Zeit aufgedreht sind, verfestigen sich Positionen und es wird schwierig, sie wieder zuzudrehen (Politik). Wenn Privilegien geschaffen werden, werden auch Geschäftsmodelle geschaffen, die die Privilegien ausnutzen.
- **Infrastrukturregulierung:** Welche Möglichkeiten bietet der integrierte Netzbetrieb von Strom und Gas, so dass die Nutzung von Gas- und Stromnetze besser

aufeinander abgestimmt werden können? Sollte der regulatorische Rahmen dazu geändert werden?

- **Verbraucherschutz:** Die Komplexität der Technologien und des Regulierungsrahmens macht es Verbraucherinnen und Verbrauchern schwer, sicher zu agieren und ihre Interessen zu vertreten. Lässt sich das Dickicht aus Fördermaßnahmen im Wärmebereich durch ein Instrument analog dem EEG im Strombereich vereinfachen? Oder brauchen wir noch bessere Beratung und Kommunikation aus der Verwaltung, um bestehende Anreize auch für Verbraucherinnen und Verbraucher nutzbar zu machen und administrative Vorgänge zu erleichtern? Ein erster Schritt könnte sein, die Regularien leicht zugänglich und gebündelt darzustellen und somit den Informationsfluss zu verbessern. Eine weitere Möglichkeit wäre, **Energiemarktwächter** zu etablieren, die Anliegen der Verbraucher und Verbraucherbeschwerden gegenüber Energieversorgern und Energiedienstleistern bündeln und somit ein Gegengewicht bilden können. Analoge „Wächter“ wurden bereits für den Finanzmarkt und den Digitalmarkt eingerichtet.
- **Welcher Sektor trägt die Flexibilitätsanforderungen?** Die Kopplung der Sektoren darf nicht dazu führen, Voraussetzungen und Anforderungen in einen Sektor zu schieben.
- **Mehrere politische Ebenen in der Weiterentwicklung der Sektorkopplung beachten:** Die unterschiedlichen Kompetenzebenen EU-Bund-Länder müssen berücksichtigt werden und sollten möglichst aufeinander abgestimmt werden. Darüber hinaus muss auf europäischer und internationaler Ebene unbedingt gezielt diskutiert werden, wie der internationale Flugverkehr, der Gütertransport und die Seeschifffahrt entwickelt werden sollen.
- **Power-to-X:** welche regulatorischen Rahmenbedingungen müssten verändert bzw. geschaffen werden, um Power-to-X energiemarktfähig zu machen?
- Welchen Beitrag kann **Digitalisierung für die Sektorkopplung** leisten?
- Welche Implikation hätte der **Import von synthetischen Kraftstoffen** (Power-to-X) aus Ländern mit besseren Erzeugungsbedingungen für erneuerbare Energien für Deutschland (neue Abhängigkeiten) und für die Herkunftsländer (Flächenverbrauch, Umweltauswirkungen, Konkurrenz um knappe Ressourcen etc.)?

2.7.4 Fokus Herausforderungen im Wärmesektor

Der Wärmesektor ist untrennbar mit dem Gebäudebestand verknüpft. Im Neubaubereich ist eine Minimierung des Wärmebedarfes und eine strombasierte Wärmeversorgung machbar, doch um erneuerbare Energien über Strom für die Raumwärme in Bestandsgebäuden zu nutzen, bedarf es umfangreicher Sanierungsarbeiten. Die Wohnungswirtschaft hat in Studien erarbeitet, dass Endenergieeinsparungen um 42% bis 2050 sowohl für Wohnungsunternehmen als auch für Mieter verkraftbar sind. Dieser Wert bewegt sich damit auch in der Bandbreite der Effizienzstrategie Gebäude des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, welches mindestens eine Reduktion des Endenergieverbrauchs um 36% vorsieht und unter Berücksichtigung von Denkmalschutzaspekten etc. sowie wirtschaftlichen Aspekten eine maximale Reduktion um 54% für möglich hält. Um den „nahezu klimaneutralen Gebäudebestand“ bis 2050 zu erreichen, muss also der Restwärmebedarf zu einem Großteil aus erneuerbaren Energien erfolgen. Hier zeigte sich, dass von Seiten der Wohnungswirtschaft bisher noch Unklarheiten bestehen, wie dies geschehen soll. Diese Unsicherheiten sind vor allem durch einen fehlenden konsistenten Regulierungsrahmen bedingt.

Während das EEG im Strombereich einen verlässlichen und leicht verständlichen Pfad vorzeichnet, ist die erneuerbare Wärmergewinnung durch einen **Flickenteppich an Regulierung** geprägt. Genannt wurden beispielsweise das Stromsteuergesetz (in Bezug Photovoltaik), EEG, Mieterstromregelungen, das Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz, verknüpft mit diversen steuerlichen Regelungen etwa das Gewerbesteuerengesetz betreffend. Erschwerend wurde angemerkt, dass der Wärmesektor durch eine sehr heterogene und kleinteilige Akteursstruktur geprägt ist. Zudem ist die Diskrepanz zwischen den Kosten der energetischen Sanierung und den erzielbaren Gewinnen so groß, dass sich viele Hausbesitzer trotz guten Willens nicht für umweltschonende Heizsysteme oder eine Dämmung entscheiden. Bei den aktuell niedrigen Energiepreisen übersteigen die Investitionen häufig das Sparpotenzial an Brennstoffen. Weiterhin würden viele Hausbesitzer auf mögliche Änderungen der gesetzlichen Förderung warten. Von mehreren Seiten wurden hier entsprechende **Förderprogramme** gefordert: „Weil ohne Anreize wie im Stromsektor wird diese Wärmewende, glaube ich, so nicht gehen.“ (Wirtschaft). Die Politik verwies auf eine Reihe von teilweise erst kürzlich beschlossenen Fördermöglichkeiten, die ggfs. noch nicht bekannt sind. Hier müsse man die Umsetzungsergebnisse abwarten.

Von der organisierten Zivilgesellschaft wurde die Idee eingebracht, die **Wärmeversorgung neu zu finanzieren**. Einerseits wurde angemerkt, dass im Wärmebereich für die privaten Haushalte über Preisanreize die Möglichkeit bestehe, eine Lenkungswirkung zu entfalten. So wurde die Idee einer **CO₂-Steuer** oder einer **Wärmeumlage** ins Spiel gebracht, um die Preisanreize zu verstärken. Entsprechende Konzepte wurden bereits von

der Heinrich-Böll-Stiftung, dem Bundesverband Erneuerbare Energien und der Verbraucherzentrale erarbeitet, die auch Möglichkeiten aufgezeigt haben, diese sozialverträglich zu gestalten.

Folgende weitere Herausforderungen gilt es im Wärmesektor zu beachten:

- **Sozialverträgliche Sanierung:** Sowohl von Wirtschaft als auch Zivilgesellschaft wurde betont, dass dabei stets die bezahlbare Energieversorgung der niedrigen und mittleren Einkommen im Blick behalten werden müsse. Bisher führen Sanierungen häufig zu einer Bruttowarmmietensteigerung.
- **Gesellschaftliche Debatte:** Sanierungsarbeiten betreffen das direkte Lebensumfeld der Bürgerinnen und Bürger und sind zunächst mit hohen Kosten verbunden. Um das Thema Sanierung auf die Agenda der Bürgerinnen und Bürger zu bringen, muss eine gesellschaftliche Debatte angeregt werden. Ggfs. braucht es auch klare politische Ansagen zu den langfristigen anvisierten Effizienz- und Energiewerten des Gebäudebestands. Wie können Sanierungsvorhaben angeregt und beschleunigt werden? Wie können **bestehende Instrumente systematisiert, ergänzt und besser kommuniziert** werden?
- **Gebäude im Quartier:** Durch die „Verschiebung des Betrachtungshorizontes vom Gebäude auf das Quartier wird noch keine Kilowattstunde eingespart“ (Zivilgesellschaft). Quartierslösungen dürfen außerdem nicht dazu führen, dass sich engagiertere und weniger engagierte Hausbesitzer gegeneinander ausspielen. Wie können die Synergien aus Quartierslösungen genutzt werden ohne gleichzeitig die Einzelnen aus ihrer Verantwortung zu entlassen?
- **Handwerk:** Die energetische Sanierung ist nicht die oberste Priorität im Handwerk. Die Auftragsbücher des Handwerks sind gut gefüllt und der Arbeitsfokus liegt häufig auf Neubauten. Es mangelt an Fachkräften und Anreizen, sich zu effizienzsteigernden Technologien fortzubilden. Welche Anreize und Lenkungswirkungen könnten hier helfen?
- **Fossile Heizungssysteme** wird es nach Ansicht eines Vertreters aus der Zivilgesellschaft in Deutschland noch lange geben, da es für viele Bestandsbauten, gerade in der Stadt, keine Alternative gebe. Im ländlichen Raum besteht über ausreichend Flächen für PV noch eher die Chance, eine strombasierte Versorgung sicherzustellen. Ein Verbot fossiler Heizungssysteme wurde auf absehbare Zeit als nicht realistisch erachtet.
- **Wärmepumpen:** Für Gebäude mit einem hohen Wärmebedarf können Wärmepumpen zu hohen Stromkosten für die Wärmebereitstellung führen. Dies muss im Sinne des Verbraucherschutzes klar kommuniziert werden.

- Wie können die Gebäude, deren Wärmebedarf sich nicht auf ein Minimum reduzieren lässt, zukünftig mit **erneuerbaren Energien beheizt** werden? Wie können die Wärmebedarfe der Industrie gedeckt werden, die auch weiterhin hohe Temperaturniveaus benötigen? Reicht das vorhandene **Biomassepotenzial**, die Bedarfe in Industrie-, Gebäude- und Verkehrssektor abzudecken?

2.8 Europäische und internationale Dimension

Bis 2030 soll auch EU-weit der Anteil der erneuerbaren Energien steigen, insgesamt auf 27 Prozent des Bruttoendenergieverbrauchs. Das bedeutet übersetzt, dass der Anteil an Erneuerbaren im Stromsektor von derzeit 26 Prozent auf ca. 50 Prozent steigen und sich somit fast verdoppeln muss¹⁰. Das bedeutet ebenfalls, dass die **Volatilität** im System steigen wird, was durch mehr Flexibilität und Zusammenarbeit innerhalb der EU beantwortet werden sollte.

Konkret wird derzeit das Richtlinienpaket zum Energiesystem der Europäischen Kommission erwartet, welches Ende 2016 vorgelegt werden wird. Während Deutschland mit dem Atomausstieg nach Fukushima im Alleingang gehandelt hat, wird derzeit stärker der **Dialog mit der Europäischen Kommission und den europäischen Nachbarn** gesucht. Nach der Erklärung der „12 elektrischen Nachbarn“ stehen nun weitere Gespräche zu den Flexibilitätshemmnissen und -chancen auf der Agenda. Dieser Prozess ist aufgrund der historisch gewachsenen unterschiedlichen Gegebenheiten in den nationalen Energiepolitiken nicht immer einfach. Eine Wissenschaftlerin wies darauf hin, dass es nicht ausreiche, nur die Exekutive zur Ausgestaltung des Energiesystems zusammenzubringen, die Gesellschaften in den europäischen Nachbarstaaten seien keineswegs so homogen, wie von der Exekutive teilweise dargestellt. Das Zusammenbringen unterschiedlicher Stakeholder biete zudem Raum für kooperative Lösungen *„Wenn man verschiedene Stakeholder aus den verschiedenen Ländern zusammenholt, dann wird die ganze Sache sehr viel weniger opak und sehr viel offener und argumentationsfähiger und auch partnerschaftlicher und kooperativer, als wenn man das durchsetzt“*.

Darüber hinaus steht Deutschland mit seiner Energiewende international unter Beobachtung. Von der Wissenschaft wurde daher angemahnt, auch international nicht nur die Kosten der Transformation hervorzuheben. Wenn es hingegen gelingt, die Energiewende erfolgreich voranzubringen und zu kommunizieren, kann **international ein wich-**

¹⁰ Agora Energiewende (2016): The Power Market Pentagon: A Pragmatic Power Market Design for Europe's Energy Transition. https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2016/Power-Market-Pentagon/Agora_PENTAGON_WEB.pdf

tiges Zeichen gesetzt werden. Schließlich gilt auch für die europäische und internationale Zusammenarbeit, dass die neuen Ansätze im Rahmen der Kopplung der Sektoren auch für neue Dialogansätze zwischen den Akteuren genutzt werden sollten, in denen nationale Erfahrungen ausgetauscht werden. Hier können sicherlich auch verschiedene Regionen mit bestimmten geografischen und meteorologischen Bedingungen im Zusammenhang mit Demografie und industrieller Struktur voneinander lernen. Ebenfalls stellt sich die Frage, ob die Weiterentwicklung der Sektorkopplungstechnologien wie Power-To-Gas oder Power-To-Liquid heute bestehende Infrastrukturanforderungen (Ausbau der Stromnetze) an einigen Stellen mindern würde. Diese und weitere Fragen sollten in europäischen Formaten mit allen Stakeholdern diskutiert werden.

2.9 Fazit

Ziel des Trialogs war die Auseinandersetzung mit Optionen und Standpunkten in Fragen zur Sektorkopplung, um die Transformationen des Energiesystems voranzutreiben. Durch das besondere Stakeholderformat der Trialoge konnten sich dazu Akteure aus Wirtschaft (Energieversorger, Branchenverbände, große industrielle Energieverbraucher), Politik (BMW, Bundestag, dena), organisierte Zivilgesellschaft (Verbraucherzentralen, Umweltorganisationen und Stiftungen) und Wissenschaft (Universitäten, Forschungseinrichtungen, Unternehmen) auf Augenhöhe miteinander austauschen. Die Ergebnisse der Diskussion unterstützen die AG Sektorkopplung vom Projekt ESYS bei der Analyse und Formulierung von Handlungsoptionen. Insbesondere für die Schärfung der Anschlussfähigkeit der Handlungsoptionen sind die Ergebnisse relevant.

Hauptdiskussionspunkte waren die technischen Optionen zur Sektorkopplung, deren Chancen, infrastrukturelle Voraussetzungen, Kosten und regulatorische Rahmenbedingungen. Hintergrund der Diskussionen bildeten die Energie- und Klimaziele der Bundesrepublik Deutschland sowie die Fortschritte in der Zielerreichung. Die Treibhausgasemissionen sind in Deutschland seit 1990 um 20 Prozent gesunken. Es müssen aber **weitere und innovative Maßnahmen** ergriffen werden, da die Reduktionsgeschwindigkeit trotz des Ausbaus der erneuerbaren Energien und verschiedener Effizienzmaßnahmen in den letzten fünf Jahren stagniert. Insbesondere im Wärme- und Verkehrssektor sind die Anteile fossiler Energien und auch der Energieverbrauch insgesamt vergleichsweise hoch. Im Stromsektor wiederum wurden die Erneuerbaren stark ausgebaut, dennoch sind auch hier weitere umfassende Maßnahmen notwendig – vor allem vor dem Hintergrund des **verstärkten Einsatzes von Strom im Energiesystem** durch die Sektorkopplung. Je nachdem in welcher Höhe weitere Energieeinsparungen erreicht werden in den nächsten Jahrzehnten, muss die Stromerzeugung aus Erneuerbaren für ein dekarbonisiertes Energiesystem entsprechend vervielfacht werden.

Diese Grundlagen wurden von den Teilnehmenden anerkannt, so dass die Diskussion mehr darauf fokussierte, wie mithilfe einer stärkeren Vernetzung der Sektoren Wärme, Verkehr und Strom die Dekarbonisierung des Energiesystems **effizient, nachhaltig und kostenschonend** erreicht werden kann. Allerdings sollte mit den Attributen vorsichtig umgegangen werden: effizient heißt nicht nur „energieeffizient“, sondern bezieht sich bspw. auch auf Ressourcen oder Flächen. Im Rahmen der Sektorkopplung bedeutet das, dass Wind- und Solarparks bspw. ressourcen- und flächenschonend ausgebaut werden sollten. Nachhaltigkeit muss zwar mittel- und langfristig die tatsächliche Einsparung von Treibhausgasemissionen einschließen: der Umbau des Energiesystems ist aber ein langwieriger Prozess. Es erscheint nicht sinnvoll, mit der Initiierung der Sektorkopplung so lange zu warten, bis fast die gesamte Stromproduktion auf Erneuerbaren fußt. Es werden also kurz- und mittelfristig Sektorkopplungstechnologien eingesetzt, die sich aus dem Strommix Deutschlands bedienen, der auch weiterhin einen Anteil fossiler Energieträger einschließt. Nichtsdestotrotz muss langfristig die **Einsparung von Treibhausgasen im Mittelpunkt** stehen. Schließlich sollte im Bereich der Kosten darauf geachtet werden, dass einerseits die Belastung der Verbraucher nicht weiter ansteigt, da sich das negativ auf die gesellschaftliche Akzeptanz auswirkt, die aber für die weitere Transformation unabdinglich ist. Andererseits wurde im Dialog von verschiedenen Seiten angemerkt, dass die **Kostenkommunikation** oftmals negativ im Rahmen der Energiewende intoniert ist. Die Frage nach den Kosten einer ausbleibenden Transformation wird selten gestellt. Darüber hinaus sollten die Kosten der Energiewende verstärkt als Investition in die Zukunft kommuniziert und die Chancen neuer Geschäftsmodelle herausgestellt werden.

Ebenfalls wurde unterstrichen, dass eine korrekte **Einschätzung des Ausbaufades von erneuerbaren Energien** für die Realisierung einer langfristig und breit angelegten Sektorkopplung schwierig ist. Sowohl Szenarien als auch Trendprognosen sind anfällig für Fehler oder Wunschvorstellungen. Hier scheint eine systematische Auswertung verschiedener Szenarien mit den jeweiligen Annahmen insbesondere für die Formulierung von Handlungsoptionen und die Gestaltung zukünftiger Rahmenbedingungen sinnvoll. Die Fragen, wie ein robuster Szenarienkorridor entwickelt und mit bestehenden Entscheidungsunsicherheiten umgegangen werden kann, wurden bereits angerissen und werden von einer weiteren ESYS-AG intensiv beleuchtet (siehe Folgeaktivitäten).

Nicht alle der vorgestellten Technologien wurden ausgiebig auf dem Dialog besprochen, aber zu vielen Technologien wurden Verständnisfragen und kritische Anmerkungen aus der Teilnehmerschaft eingebracht. Das zeigt, dass ein Austausch zwischen diversen Akteuren wichtig ist, um das eigene **Selbstverständnis als Experte oder Expertin** in einem bestimmten Bereich zu klären, ein Verständnis für Alternativen zu entwickeln und die **gesellschaftliche Debatte auf einen informierten Stand zu heben**. Ebenfalls

werden Forschungsfragen auch in Bezug auf die praktische Anwendung von innovativen Ansätzen aufgeworfen.

Eine im Dialog ausgiebig diskutierte Sektorkopplungsoption war **Power-to-Gas**, nicht zuletzt auch weil der Wirtschaftsinput von einem Vertreter der Gasbranche erfolgt war. Über Power-to-Gas-Anlagen produziertes synthetisches Gas kann auf europaweit bestehende Gasnetze- und Speicher zugreifen. Hierzu betonte die Mehrheit der Teilnehmenden, dass die Nutzung von bereits **bestehenden Infrastrukturen** allgemein sinnvoll ist. Insgesamt böte Power-to-Gas zudem ein hohes **Flexibilisierungspotential**. Problematisch an der Technologie sind allerdings die hohen **Wirkungsgradverluste und die Wirtschaftlichkeit**. Ebenfalls sollte nicht vernachlässigt werden, dass auch bestehende Infrastrukturen unterhalten und langfristig erneuert werden müssen. Es ist nicht eindeutig klar, ob dann Gas eine kostengünstige Option darstellt.

Auch **Wasserstoff** kann zu einem begrenzten Anteil über das Gasnetz gespeichert werden. Für eine umfassende Wasserstoffversorgung müssten allerdings zusätzliche Infrastrukturen aufgebaut werden. Im Vergleich benötigen **Power-to-Heat-Technologien** grundsätzlich keine neue Infrastruktur. Sie lassen sich allgemein in das bereits vorhandene System integrieren und können bspw. als Flexibilitätsoption „überschüssigen Strom“ in Wärme umwandeln und so Schwankungen im Stromnetz ausgleichen. Neben den speziellen infrastrukturellen Voraussetzungen einzelner Technologien wurde in der Diskussion deutlich, dass ein gut ausgebautes Stromnetz auch in Zukunft eine wichtige Komponente für ein funktionierendes und sicheres Energiesystem bleibt. Allerdings wird mit der Sektorkopplung nicht mehr der Anspruch einer Kupferplatte Deutschland leitend sein, sondern viel mehr die Steigerung von Flexibilität innerhalb Deutschlands sowie in Koordination mit den europäischen Nachbarn.

In diesem Zusammenhang stand wiederholt die Frage nach der **Technologieoffenheit**. Wenn auch alle Teilnehmenden zunächst technologieoffene Ansätze zur Sektorkopplung begrüßen, muss untersucht werden, wie lange wir uns diese Technologieoffenheit leisten können und wie sinnvoll der parallele Aufbau von bestimmten Infrastrukturen ist. Entscheidend wird auch sein, wie wir uns dahingehend – vor allem im Mobilitätssektor – mit unseren europäischen Nachbarn abstimmen, um die Flexibilitäten der neuen Technologien fruchtbar nutzen zu können, sie nicht unnötig zu doppeln oder inkompatible Parallelinfrastrukturen aufzubauen. Zu denken ist hier etwa an Infrastrukturen für elektrisch, gas- oder wasserstoffbetriebene Mobilität.

Indes sollten speziell in den nächsten Jahren auch lokale **Experimentierräume** gefördert werden, bevor Technologien und die dazugehörigen Infrastrukturen zentral und großflächig ausgebaut werden. Hier wurde einerseits vorgeschlagen, bestimmte Abgaben, Besteuerungen und Subventionen in diesen Experimentierräumen außer Kraft zu setzen, um die Wirkung der Technologien in einem „**level playing field**“ zu ergründen. Andererseits wurde gefordert, die Abgaben- und Subventionslogiken auch auf kleinem

Raum aktiv zu lassen, um wiederum verschiedene Instrumente unter realen Bedingungen besser abschätzen zu können. Es herrschte weitestgehend Konsens, dass Abgaben- und Subventionen in ihren Wirkungen im Energiebereich für eine effektive und effiziente Sektorkopplung überprüft und sicherlich in einigen Punkten angepasst werden müssen.

Ein wichtiges Element bleibt auch in den Ansätzen zur Sektorkopplung die Frage der **Effizienz** – sowohl hinsichtlich der spezifischen Technologie als auch auf allgemeiner Ebene des Energieverbrauchs. Je weniger Strom aus erneuerbaren Energien für die Kopplung der Sektoren benötigt wird, desto geringer kann der Zubau an Erneuerbaren-Energien-Anlagen ausfallen. Weniger effiziente Technologien sollten nur dort eingesetzt werden, wo es keine Alternativen gibt.

Schließlich zeigen die Entwicklungen, dass zwar sektorspezifische Maßnahmen Impulse setzen, letztlich aber die Reduktion der THG-Emissionen im Gesamtsystem entscheidend sind. Das sollte in Zukunft stärker im Mittelpunkt stehen. Mit dem Ansatz der Sektorkopplung werden dafür neue Räume für kreative Ideen geschaffen.

3 Ausblick auf Folgeaktivitäten

Dieser Bericht wird der ESYS-AG „Sektorkopplung“ für ihre weitere Arbeit zur Verfügung gestellt, welche 2017 eine Analyse und eine Stellungnahme zu den Möglichkeiten der Sektorkopplung veröffentlicht.

Der Dialog zur Sektorkopplung war der erste Dialog in der zweiten Projektphase des Akademienprojektes „Energiesysteme der Zukunft“. Bis zum Ende der Projektlaufzeit 2019 erhalten die Arbeitsgruppen des Akademienprojektes die Möglichkeit, mit den Dialogen in den Dialog mit der Gesellschaft zu treten und aktuelle Forschungsfragen in dem Format auf Augenhöhe mit Akteuren aus Politik, Wirtschaft und organisierter Zivilgesellschaft zu diskutieren.

Der nächste Dialog wird im Januar 2017 mit der AG Pfadabhängigkeiten stattfinden, die sich mit den Herausforderungen zu Technologie- und Infrastrukturentscheidungen unter Unsicherheiten befasst. Denn einmal getroffene Beschlüsse, lassen sich oft nur noch schwer ändern – es entstehen Pfadabhängigkeiten, die bei der weiteren Transformation des Energiesystems beachtet werden müssen.

Wie können derartige Entscheidungsprobleme gelöst werden? Die Arbeitsgruppe unter Leitung von Manfred Fishedick (Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie) und Armin Grunwald (Karlsruher Institut für Technologie) geht dieser Frage am Beispiel des Verkehrssektors auf den Grund. Sie entwickelt eine Stellungnahme, die Akteure dabei unterstützen soll, mit Pfadabhängigkeiten umzugehen und frühzeitig Weichenstellungen vorzunehmen. Dazu untersucht die AG Entwicklungspfade in der urbanen Mobilität und dem Güterverkehr, um daraus Schlussfolgerungen für heutige Entscheidungsfragen im Verkehrsbereich zu ziehen.

4 Annex

Annex I: Konzept der Trialoge

Das Trialog-Verfahren

Die Trialoge der HUMBOLDT-VIADRINA Governance Platform sind ein erprobtes Verfahren, um **gesellschaftspolitische Diskussionen fair und vertrauensbildend** zu gestalten und politische Entscheidungsprozesse fundiert vorzubereiten. Hauptpunkte des Verfahrens sind eine ganztägige Trialog-Veranstaltung mit relevanten Stakeholdern im Rahmen des zu diskutierenden Themas sowie die anschließende Analyse der Diskussion.

Als Stakeholder fungieren in den Trialogen Vertreterinnen und Vertreter von Politik, Wirtschaft und organisierter Zivilgesellschaft, begleitet von Wissenschaft und Medien. Sie treten in einen argumentativen Austausch miteinander, einer sog. **Deliberation**. Ziel unserer Trialog-Veranstaltungen ist es, **Verständigungsprozesse durch Perspektivenvielfalt und die Begründung von Argumenten zu initiieren und Grundkonsense zu erarbeiten**.

Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer decken aufgrund ihrer unterschiedlichen Funktionen, Erfahrungen und Machtpotenziale und dank der Deliberation untereinander ein breites Spektrum wesentlicher gesellschaftlicher Perspektiven ab. Durch ihre argumentative, durchaus konflikthafte Auseinandersetzung schaffen sie Transparenz, eröffnen Win-Win-Situationen und bereiten so einen überparteilichen Korridor vor, innerhalb dessen **gemeinwohlorientierte Lösungen** gefunden und nachhaltige Entscheidungen getroffen werden können.

Dazu ist es unabdinglich, dass die Offenheit des vertraulichen Austausches gewahrt wird und Positionen nicht von vornherein ausgeschlossen werden. Ebenso sollen die Positionen nicht einfach nebeneinander oder einander gegenübergestellt werden, sondern argumentativ aneinander anknüpfen. Nur so kann ein Verständigungsprozess angeregt werden, der breit akzeptierte Lösungen vorbereitet.

Wichtig ist zu diesem Zweck, die Teilnehmenden so auszuwählen, dass sie in ihrem Bereich kompetent und ebenso argumentationsfähig wie verständigungswillig sind. Über die **Chatham House Rule**¹¹ wird Vertraulichkeit hergestellt, die durch eine kompetente und faire Moderation weiter unterstützt wird.

¹¹„Bei Veranstaltungen (oder Teilen von Veranstaltungen), die unter die Chatham-House-Regel fallen, ist den Teilnehmern die freie Verwendung der erhaltenen Informationen unter der Bedingung gestattet, dass weder die Identität noch die Zugehörigkeit von Rednern oder anderen Teilnehmern preisgegeben werden dürfen.“ Royal Institute of International Affairs, London.

Trialoge im Rahmen des Projektes „Energiesysteme der Zukunft“

Das Projekt „Trialoge als transdisziplinäre Dialogplattform für die interdisziplinären Arbeitsgruppen im Projekt: Energiesysteme der Zukunft II“ wird im Zeitraum 2016 – 2019 weitere acht Trialoge für die ESYS-Arbeitsgruppen durchführen. Im April 2013 haben acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, die Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina und die Union der deutschen Akademien der Wissenschaften das interdisziplinäre Projekt „**Energiesysteme der Zukunft**“ (ESYS) gestartet. Rund 100 Expertinnen und Experten aus Wissenschaft sowie unternehmenseitiger Forschung erarbeiten seitdem wissenschaftlich fundierte Handlungsoptionen für die Gestaltung einer sicheren, bezahlbaren und nachhaltigen Energieversorgung. Um die Positionen unterschiedlicher Stakeholder einbeziehen zu können, tauschen sich die ESYS-Arbeitsgruppen in verschiedenen Dialogformaten mit Vertreterinnen und Vertretern der Politik, Wirtschaft und organisierten Zivilgesellschaft aus. Das Projekt ESYS wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert. Acatech hat die Federführung übernommen.

Die **Trialoge** ergänzen die wissenschaftlichen Arbeitsgruppen des Projekts durch eine Erweiterung hin zur **Transdisziplinarität**. Im Zentrum der Diskussion stehen die interdisziplinäre Forschungsarbeit der Arbeitsgruppen und deren Implikationen für die Gesellschaft ebenso wie gesellschaftliche Anliegen in Bezug auf das Thema der Arbeitsgruppen. Damit soll wissenschaftlich-analytische Forschung stärker mit gesellschaftlichem Erfahrungswissen und gesellschaftlich-politischen Entscheidungs- und Problemlösungsprozessen zusammengebracht werden. Diese bieten den wissenschaftlichen Arbeitsgruppen die Möglichkeit, in einem vergleichsweise kleinen und vertraulichen Rahmen ihre (Zwischen-)Ergebnisse methodisch reflektiert mit Vertreterinnen und Vertretern der Gesellschaft - also aus Wirtschaft, Politik und organisierter Zivilgesellschaft - ganztägig zu diskutieren. Sie erhalten so eine Rückkoppelung zu ihrer Forschungsarbeit durch die Gesellschaft, deren Interessenvertreterinnen und -vertreter zugleich Wissensträger sind. Durch die transdisziplinären Trialoge können neue Herangehensweisen an wissenschaftliche Themen eröffnet werden, weitere Forschungsbedarfe aufgedeckt und neues Wissen durch Verständigung generiert werden. Gleichzeitig wird die verfügbare Wissensbasis auch für Vertreter der Gesellschaft vertieft und damit das gesellschaftliche Handlungsvermögen gesteigert. Langfristig trägt ein gesellschaftlich robustes Wissen, insbesondere in der Energiewende dazu bei, dass wichtige anstehende Entscheidungen gesellschaftlich informiert unterstützt werden und Politik nachhaltig gestaltet werden kann. Entsprechend möchten die Trialoge wissenschaftlicher Arbeit nicht konfrontativ abprüfen, sondern sie stellen eine Möglichkeit zum partnerschaftlichen Austausch dar mit dem besten Nutzen für alle Beteiligten.

Annex II: Agenda

| |
|--|
| <p>09:30 Uhr Begrüßung und Einführung: Prof. Dr. Gesine Schwan, Präsidentin der HUMBOLDT-VIADRINA Governance Platform Dr. Ulrich Glotzbach, Leiter der Geschäftsstelle „Energiesysteme der Zukunft“, acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften</p> |
| <p>10:05 Uhr inhaltliche Einführung: Prof. Dr. Eberhard Umbach, Leiter der Arbeitsgruppe „Sektorkopplung“, acatech Präsidium</p> |
| <p>10:45 Uhr kurze Fragerunde</p> |
| <p>11:00 Uhr Kaffeepause</p> |
| <p>11:15 Uhr Input-Vortrag Politik: Dr. Dorothee Mühl, Unterabteilungsleiterin Strom im Bundesministerium für Wirtschaft und Energie</p> |
| <p>11:35 Uhr Input-Vortrag Wirtschaft: Heinrich Busch, Abteilungsleiter Planung und Bau, Stadtwerke Essen</p> |
| <p>11:50 Uhr Diskussion: Moderation Prof. Dr. Gesine Schwan</p> |
| <p>14:15 Uhr Input-Vortrag Zivilgesellschaft: Udo Sieverding, Bereichsleiter Energie und Mitglied der Geschäftsleitung, Verbraucherzentrale NRW</p> |
| <p>14:30 Uhr Diskussion: Moderation Prof. Dr. Gesine Schwan</p> |
| <p>15:15 Uhr Workshop Session: Workshop I: Power-to-X Technologien Leitung: Prof. Dr. Kurt Wagemann, Gesellschaft für Chemische Technik und Bio- technologie e.V. (DECHEMA), Mitglied ESYS-AG Sektorkopplung Workshop II: Elektrifizierung und Effizienz Leitung: Stephan Stollenwerk, RWE, Mitglied ESYS-AG Sektorkopplung Workshop III: Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Sektorkopplung Leitung Prof. Dr. Wolfram Münch, EnBW, Mitglied ESYS-AG Sektorkopplung</p> |
| <p>16:25 Uhr Zusammentragung der Ergebnisse der Workshops und Ausblick: Prof. Dr. Gesine Schwan</p> |

Annex III: Stakeholderauswertung

Einladungsmanagement

Basis für die Einladungen waren die detaillierte Kontaktdatenbank der HUMBOLDT-VIADRINA Governance Platform bestehend aus relevanten Akteuren der Stakeholdergruppen des Themenbereichs Energie, sowie eine von acatech zur Verfügung gestellte Kontaktliste aus der Arbeit des ESYS-Projekts. Sofern entscheidende Akteure für das konkrete Thema aus den Stakeholdergruppen noch nicht vorlagen, wurden diese gezielt recherchiert. Auf Grundlage dieser Datenbank von über 1300 Kontakten wurden entsprechend ihrer Schwerpunktsetzung 663 Personen eingeladen. Es wurden etwa 50 Teilnehmende erwartet und eine etwa gleichmäßige Verteilung in Bezug auf die drei Stakeholdergruppen Politik, Unternehmenssektor und organisierte Zivilgesellschaft angestrebt. Neben den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der Arbeitsgruppe Sektorkopplung wurden Vertreterinnen und Vertreter aus weiteren wissenschaftlichen Institutionen eingeladen. Auch die Medien erhielten die Möglichkeit zur Teilnahme.

Zu der Dialog-Veranstaltung haben sich insgesamt 105 Vertreterinnen und Vertreter aus Politik, Unternehmenssektor, der organisierten Zivilgesellschaft sowie Wissenschaft und Medien angemeldet. Die optimale Teilnehmeranzahl für das Veranstaltungskonzept und die Räumlichkeiten liegt bei ca. 50 Personen, sodass eine Warteliste angelegt werden musste und über 30 Personen nicht zur Veranstaltung zugelassen werden konnten. Dabei wurden deutlich mehr als die vorgesehene Teilnehmerzahl zugelassen, da erfahrungsgemäß nicht alle angemeldeten Personen an der Veranstaltung tatsächlich teilnehmen.

An der Veranstaltung haben schließlich **64 Personen** (18 weiblich, 46 männlich) **teilgenommen**, die **52 Organisationen und Unternehmen** vertraten. Unter den Teilnehmenden waren drei Vertreterinnen der HUMBOLDT-VIADRINA sowie sechs Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter von acatech.

Zusammensetzung der Teilnehmenden gemäß Stakeholder-Gruppen

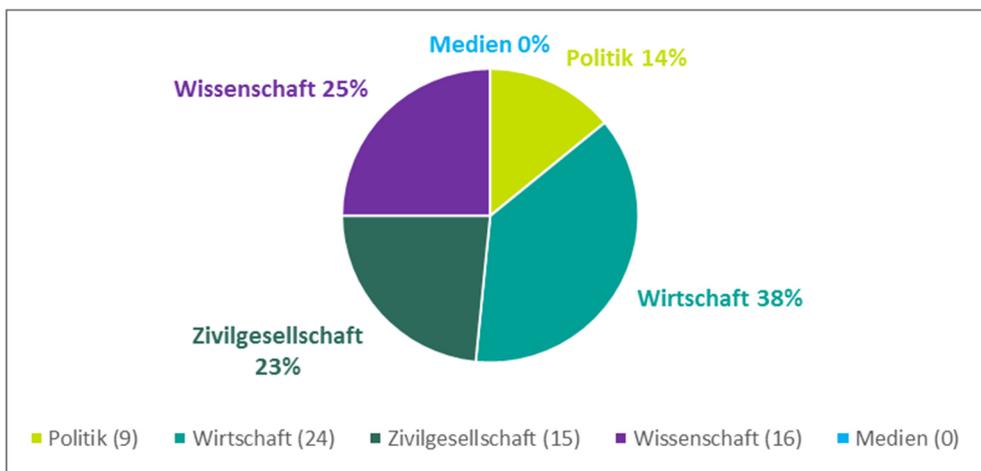
Die Teilnehmenden der Veranstaltung verteilten sich entsprechend der Kernidee des Dialog-Konzepts auf die Bereiche Politik, Wirtschaft, organisierte Zivilgesellschaft und Wissenschaft.

Von Seiten der **Wissenschaft** nahmen insgesamt 16 Vertreterinnen und Vertreter teil, davon mehrere Mitglieder der ESYS-AG „Sektorkopplung“, die von acatech - der Akademie der Technikwissenschaften, der Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie (DECHEMA) sowie der unternehmensseitigen Forschung (RWE und EnBW) entsandt wurden. Weiterhin waren u.a. Wissenschaftlerinnen und Wissen-

schaftler der RWTH Aachen, vom IASS Potsdam, vom Deutschen Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) und vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung UFZ anwesend.

Zusammensetzung der Teilnehmenden nach Stakeholdergruppe

Angaben in Prozent, Werte in absoluten Zahlen in Klammern unten



Bei diesem Trialog stellte die Stakeholdergruppe **Wirtschaft** mit 24 Anwesenden den größten Anteil der Teilnehmenden. Vertreten waren Energieerzeuger und Energieversorger (u.a. Naturstrom; Vattenfall; Stadtwerke Essen), diverse Branchenverbände (u.a. VKU, BDEW; Bundesverband Kraft-Wärme-Kopplung), Vertreter aus den drei Sektoren Strom, Wärme und Mobilität (z.B. der Windturbinenhersteller Enercon, der Bundesverband deutscher Wohnungs- und Immobilienunternehmen und der Automobilhersteller VW) sowie große Energieverbraucher (z.B. Aurubis) und Beratungsunternehmen.

Die **organisierte Zivilgesellschaft** wurde durch Verbraucherzentralen, den DGB, das Forum ökologisch-soziale Marktwirtschaft, Stiftungen (Mercator; Heinrich-Böll) sowie mehrerer Umweltorganisationen (u.a. BUND Berlin; NABU) mit insgesamt 15 Teilnehmenden vertreten. Von den neun Personen aus dem **politischen Bereich** kamen mehrere Teilnehmende aus dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, ein Vertreter des Ministeriums für Energie und Infrastruktur aus Mecklenburg-Vorpommern, zwei Personen aus dem Deutschen Bundestag (die Grünen und SPD) sowie von der dena.

Übersicht der vertretenen Institutionen

Die folgende Übersicht listet die vertretenden Institutionen auf, aus denen die Teilnehmenden entsandt wurden. Sie verdeutlicht die breite Zusammensetzung der Teilnehmerschaft:

| |
|--|
| 8KU Renewables GmbH |
| acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften |
| Agentur für Erneuerbare Energien (AEE) |
| Agentur Zukunft - Büro für Nachhaltigkeitsfragen |
| Aurubis AG |
| Bayer AG/ IG BCE |
| Bund für Umwelt und Naturschutz (BUND) Berlin |
| Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) |
| Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW) |
| Bundesverband Kraft-Wärme-Kopplung e.V. (B.KWK) |
| Bundesverband mittelständische Wirtschaft, Unternehmerverband Deutschlands e.V. (BVMW) |
| Bundesverband Solare Mobilität |
| Bündnis 90/Die Grünen |
| Büro F |
| Büro MdB Dr. Nina Scheer (SPD) |
| Deutsche Energie-Agentur (dena) |
| Deutsche Umwelthilfe e.V. |
| Deutscher Gewerkschaftsbund (DGB) |
| Deutscher Industrie- und Handelskammertag (DIHK) |
| Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) |
| DUH Umweltschutz-Service GmbH |
| EnBW Energie Baden-Württemberg AG |
| Ende Gelände |
| ENERCON GmbH |
| erdgas mobil GmbH |
| Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft e.V. |
| GdW Bundesverband deutscher Wohnungs- und Immobilienunternehmen e. V. |

| |
|---|
| Germanwatch e.V |
| Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V. (DECHEMA) |
| Heinrich Böll Stiftung |
| Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ |
| HUMBOLDT-VIADRINA Governance Platform gGmbH |
| Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität (IKEM) |
| Institute for Advanced Sustainability Studies e.V. (IASS Potsdam) |
| Ministerium für Energie, Infrastruktur und Landesentwicklung Mecklenburg-Vorpommern |
| Naturschutzbund Deutschland e.V. (NABU) |
| Naturstrom AG |
| Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften |
| RWE |
| RWTH Aachen, ISEA - Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe |
| Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) |
| Shell Deutschland Oil GmbH |
| Stadtwerke Essen |
| Stiftung 2° - Deutsche Unternehmer für Klimaschutz |
| Stiftung Mercator GmbH |
| Universität Bremen |
| Vattenfall GmbH |
| Verband kommunaler Unternehmen e. V. (VKU) |
| Verbraucherzentrale Bundesverband e.V. |
| Verbraucherzentrale NRW |
| Volkswagen AG Konzernrepräsentanz Berlin |
| Zivilgesellschaftliche Plattform Forschungswende |

Annex IV: Impulspapier ESYS-AG Sektorkopplung für den Dialog am 11. Juli 2016

Strom, Wärme und Mobilität zusammen denken – Perspektiven der „Sektorkopplung“

Unsere heutige Energieversorgung basiert zum Großteil auf dem Einsatz fossiler Energieträger wie Kohle, Erdöl und Naturgasen. Bei den weltweit genutzten Primärenergieträgern betrug ihr Anteil im Jahr 2013 über 80 Prozent. Etwa 13 Prozent entfielen auf regenerative Energien, insbesondere Biomasse, sechs Prozent auf Uran. Im Jahr 2015 lagen diese Anteile in Deutschland in derselben Größenordnung¹².

Um die Folgen des Klimawandels zu beschränken, hat sich Deutschland im Rahmen des internationalen Klimaabkommens von Kyoto im Jahr 1997 das Ziel gesetzt, den Ausstoß der Treibhausgase (THG) bis zum Jahr 2050 um 80 bis 95 Prozent gegenüber 1990 zu reduzieren. Abbildung 1 zeigt die Entwicklung der THG-Emissionen in Deutschland seit 1990 in Relation zu den Klimaschutzzielen der Bundesregierung. Der Beschluss der 21. Klimakonferenz in Paris im Jahr 2015 zur Beschränkung der globalen Erwärmung auf 1,5 Grad ist in diesen Zielen noch nicht berücksichtigt.

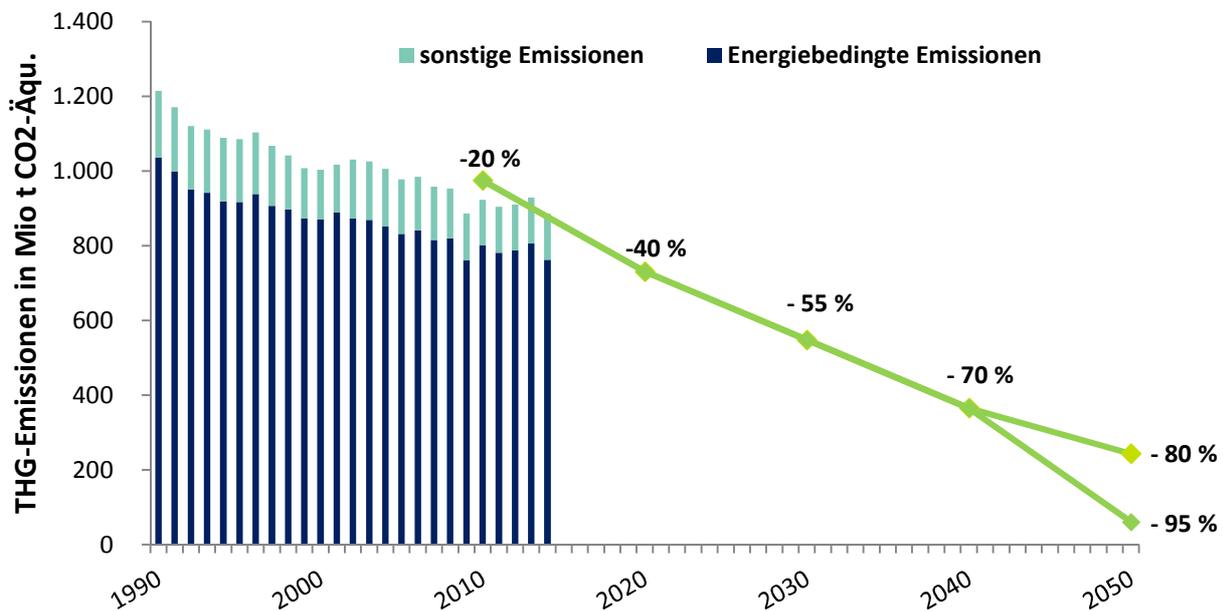


Abbildung 1: Historische Daten der Treibhausgasemissionen Deutschlands 1990 bis 2014 und Zieldaten bis 2050. Im Jahr 2014 machten die energiebedingten Emissionen (blauer Anteil der Balken) etwa 86 Prozent der gesamten THG-Emissionen aus¹².

¹² Quelle: Energiedaten: Gesamtausgabe, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Stand Mai 2016

Der Energieversorgung kommt beim Erreichen der Klimaziele die entscheidende Rolle zu. Im Jahr 2014 betrug der Anteil der energiebedingten THG-Emissionen in Deutschland rund 86 Prozent. Um die vereinbarten Ziele zu erfüllen, soll der Ausstoß von Kohlendioxid, der den Großteil der THG ausmacht, im Energiesystem deutlich reduziert werden. Hierfür gibt es zwei wesentliche Strategien: die Steigerung der *Energieeffizienz* und damit verbunden die Reduktion des gesamten Energieverbrauchs, sowie den umfassenden Einsatz *erneuerbarer Energien* (EE)¹³. Für eine erfolgreiche Energiewende ist es entscheidend, beide Ansätze zu verfolgen und miteinander zu verknüpfen.

Während der Ausbau der erneuerbaren Energien in der Stromerzeugung schnell vorangeht – der Anteil lag im Jahr 2015 bei etwa 33 Prozent – ist der Einsatz erneuerbarer Energieträger in anderen Bereichen bisher noch gering: 2015 betrug der Anteil im Wärmebereich zwölf Prozent des Bruttoendenergieverbrauchs, im Verkehrsbereich lag er bei fünf Prozent¹⁴. Dabei machen der Wärme- und Verkehrsbereich über 80 Prozent des gesamten Endenergieverbrauchs aus, sodass der Anteil der EE am Bruttoendenergieverbrauch bei nur 14 Prozent lag.

Eine Möglichkeit, den Einsatz der erneuerbaren Energien in den Bereichen Wärme und Verkehr zu erhöhen, besteht darin, die verschiedenen Anwendungsbereiche im Energiesystem wesentlich enger miteinander zu verknüpfen. So könnte beispielsweise Strom aus Solar- und Windanlagen verstärkt im Wärme- und Verkehrsbereich eingesetzt werden. Eine weitere Möglichkeit bestünde darin, regenerativ erzeugte Brennstoffe wie Wasserstoff oder Biomasse flexibel zur Wärmebereitstellung oder als Kraftstoff zu verwenden. Diese und ähnliche Maßnahmen werden oft mit dem Sammelbegriff der „Sektorkopplung“ beschrieben.

Sektorkopplung im heutigen Energiesystem

Um die Potenziale einer stärkeren Sektorkopplung betrachten zu können, hilft ein Blick auf die heutige Struktur des Energiesystems. Dazu werden die unterschiedlichen Nutzungen von Energie in vier Hauptbereiche unterteilt. Anders als bei der Betrachtung der Bereiche Strom, Wärme und Mobilität erlaubt diese Unterteilung eine eindeutige Zuteilung (vgl. Box unten):

- *Niedertemperaturwärme*: Wärme für die Beheizung von Gebäuden und Warmwasser
- *Prozesswärme*: Wärme für Prozesse in Gewerbe und Industrie
- *Originäre Stromanwendungen*: diese basieren vor allem auf der Nutzung von Strom, z. B. mechanische Antriebe in Industrie, Gewerbe und Haushalten; Beleuchtung; Anlagen der Informations- und Kommunikationstechnik; Druckluft, Klimaanlage und Kühllhäuser
- *Verkehr*: Fortbewegung in all ihren Formen, also privat und gewerblich sowie auf Straße, Schiene, Wasser und in der Luft

Exkurs: Primär- und Endenergie

In der Energiewirtschaft bezeichnet der Begriff *Primärenergie* die umgewandelten Energieträger nach ihrer Förderung, also z. B. Erdöl oder Naturgas (Erdgas). Als *Endenergie* werden Energieträger bei der Übergabe zum Endverbraucher bezeichnet, beispielsweise Erdgas, Heizöl oder elektrische Energie. Beim Endverbrauch findet in der Regel ein weiterer Wandlungsschritt von Endenergie in *Nutzenergie* statt, etwa zu Wärme, mechanischer Energie (Bewegung) oder Licht.

¹³ Zwei weitere mögliche Strategien zur Reduzierung der CO₂-Emissionen sind der Einsatz von Kernenergie und der von „Carbon Capture and Storage“ (CCS). Da Deutschland aber beide Ansätze nicht verfolgt, werden sie im Weiteren nicht diskutiert.

¹⁴ Quelle: „Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland“, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Stand Februar 2016

Abbildung 2 zeigt die Verteilung der Energieträger in den vier Nutzungsbereichen. Dabei wird deutlich, dass jeder Nutzungsbereich durch eine Hauptform der Endenergie dominiert wird. Sowohl *Niedertemperaturwärme* als auch *Verkehr* werden überwiegend durch fossile Brennstoffe bzw. Kraftstoffe versorgt. Obwohl der Strom für den Schienenverkehr der wichtigste Energieträger ist, spielt er mengenmäßig im Verkehrsbereich mit etwa zwei Prozent bisher nur eine untergeordnete Rolle. Auch im Bereich der Niedertemperaturwärme, etwa durch Wärmepumpen oder Power-to-Heat, ist seine Bedeutung heute noch gering. *Prozesswärme* wird ebenfalls überwiegend mit Brennstoffen bereitgestellt, allerdings auch zu einem gewissen Anteil mit Strom. Die *originären Stromanwendungen* werden – entsprechend der Definition – hauptsächlich mit Strom versorgt.

Exkurs: Welche Sektoren gibt es?

Der Begriff der „Sektoren“ wird im Energiesystem nicht einheitlich verwendet. Die am weitesten verbreitete Verwendung stammt aus der Energiewirtschaft: hier wird zwischen den Verbrauchssektoren „Industrie“, „Verkehr“, „Gewerbe, Handel und Dienstleistungen“ (GHD) sowie „privaten Haushalten“ unterschieden.

Oft wird aber auch von den Sektoren „Wärme“, „Strom“ und „Mobilität“ gesprochen. Auch der Begriff der „Sektorkopplung“ bezieht sich auf diese Einteilung. Sie ist allerdings nicht eindeutig, da Strom ein Energieträger ist, der teilweise auch im Wärme- und Mobilitätsbereich zum Einsatz kommt.

Für die Rolle von Strom im heutigen Energiesystem gilt also in der Regel: „Strom bleibt Strom“, d. h. im System erzeugter Strom wird bis auf wenige Ausnahmen als Endenergie an die Verbraucher geliefert und vorher nicht in andere Endenergieträger umgewandelt. Technologien, die Strom in andere Energieträger umwandeln, kommen bisher kaum zum Einsatz. Dazu zählt beispielsweise Power-to-X, also die Wandlung von Strom in synthetische Kraftstoffe zur Speicherung oder zur Verwendung als Treibstoff.

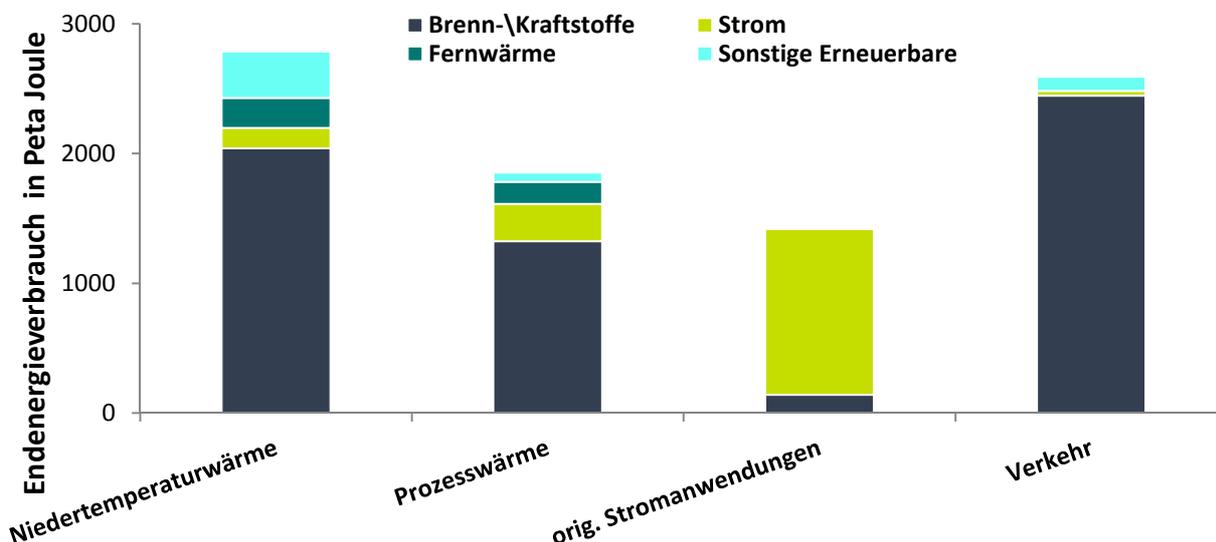


Abbildung 2: Verteilung im Jahr 2014 der verwendeten Energieträger in den vier Nutzungsbereichen¹⁵.

¹⁵ Quelle: „Energiedaten: Gesamtausgabe“, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Stand Mai 2016

Perspektiven der Sektorkopplung

Welche Rolle könnte eine stärkere Sektorkopplung für unsere Energieversorgung spielen? Welche zentralen Herausforderungen gibt es und wo liegen die Chancen? Im Folgenden werden zentrale Fragestellungen diskutiert.

Strom als Grundlage einer kohlenstoffneutralen Energieversorgung?

Zahlreiche Energiefachleute sehen die „Dekarbonisierung“ des Stromsystems, verbunden mit einer – gleichzeitigen oder anschließenden – Elektrifizierung der anderen Nutzungsbereiche, als zentralen Bestandteil für ein nachhaltiges Energiesystem an. Elektromobilität, Wärmepumpen oder die direkte Umwandlung von Strom in Wärme (Power-to-Heat) sind Beispiele für wichtige Technologien. Daneben gibt es weitere Möglichkeiten, die Energieversorgung umzustrukturieren, beispielsweise durch die Verwendung von synthetischen Kraftstoffen (Power-to-Fuels) und Bioenergie. Eine andere Möglichkeit besteht darin, regenerativ erzeugten Wasserstoff zu verbrennen und für die Wärmebereitstellung oder Mobilität einzusetzen. Der Wasserstoff könnte in Deutschland erzeugt oder aus anderen Ländern importiert werden.

Vielen dieser Optionen ist gemein, dass sie als Basis Strom aus erneuerbaren Energiequellen verwenden. Weitere Energieträger wie Geothermie oder Solarthermie sind aus technischer Perspektive bereits heute verfügbar, aber ihre Potenziale und ihr möglicher Beitrag zur künftigen Energieversorgung sind begrenzt bzw. ungewiss. Daher wird eine direkte oder indirekte Elektrifizierung voraussichtlich eine zentrale Rolle für eine nachhaltige Energieversorgung einnehmen.

Die Verwendung von Strom aus erneuerbaren Quellen als Grundlage der Dekarbonisierung der gesamten Energieversorgung setzt voraus, dass große Mengen an nutzbarem Strom zur Verfügung stehen. Sektorkopplung ist damit mehr als die reine Nutzung von Überschussstrom. Verschiedene Studien deuten darauf hin, dass der von der Bundesregierung festgelegte Ausbaukorridor für den Zubau an erneuerbaren Energien für dieses Szenario nicht ausreichen könnte^{16,17}. Der Korridor wurde vor dem Hintergrund des Ziels festgelegt, dass der Stromverbrauch bis 2050 um 25 Prozent reduziert werden soll. Der umfassende Einsatz von Strom in den Bereichen Wärme und Verkehr lässt dieses Ziel unwahrscheinlich erscheinen.¹⁸

Emissionsminderungen durch Elektrifizierung?

Bei einer Umstellung auf Strom als zentralen Energieträger für die Energieversorgung müssen auch die damit verbundenen CO₂-Emissionen berücksichtigt werden. Obwohl der Bruttostromverbrauch nur rund 20 Prozent des Endenergieverbrauchs in Deutschland ausmacht, ist die Stromerzeugung für über 40 Prozent der CO₂-Emissionen in Deutschland verantwortlich¹⁹. Damit stellt sich die Frage, wie viel CO₂-Emissionen kurz- und mittelfristig vermieden werden, wenn ein kontinuierlicher Übergang zu einem höheren Einsatz von Strom in den

¹⁶ Quellen: „Wie hoch ist der Stromverbrauch der Energiewende?“, Fraunhofer IWES (2015), Studie im Auftrag von Agora Energiewende, „Was kostet die Energiewende“, Fraunhofer ISE (2015), „Klimaschutzszenario 2050“, Öko-Institut / Fraunhofer ISI (2015), „GROKO – II, Szenarien der deutschen Energieversorgung auf der Basis des EEG-Gesetzesentwurfs – insbesondere Auswirkungen auf den Wärmesektor“, Joachim Nitsch (2014)

¹⁷ Der Bedarf an Strom aus EE hängt wesentlich von verschiedenen Einflussfaktoren, wie dem zukünftigen Gesamtenergieverbrauch, der Verfügbarkeit von Biomasse oder auch dem Umsetzungsgrad von Effizienzmaßnahmen im Gebäudesektor, ab.

¹⁸ Siehe bspw.: „Wie hoch ist der Stromverbrauch der Energiewende?“, Fraunhofer IWES (2015), Studie im Auftrag von Agora Energiewende, „Was kostet die Energiewende“, Fraunhofer ISE (2015)

¹⁹ Quelle: „Energiedaten: Gesamtausgabe“, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Stand Mai 2016

Anwendungsbereichen Wärme und Mobilität eingeleitet wird. Soll der Strom nun zunächst aus den nicht mehr voll ausgelasteten Kohlekraftwerken bezogen werden oder würden neue Solar- und Windkraftanlagen zum Einsatz kommen? Auch das Zusammenspiel mit dem europäischen Emissionshandel (ETS) ist zu diskutieren: Während die Emissionen im Stromsektor durch den ETS in Europa gedeckelt sind, sind Emissionen im Wärme- und Mobilitätsbereich nicht erfasst. Was würde es bedeuten, wenn Emissionen, die nicht durch den ETS reguliert werden, durch Emissionen ersetzt würden, die den Rahmenbedingungen des ETS unterliegen?²⁰

Welche Rahmenbedingungen müssen angepasst werden?

Für den systemübergreifenden Ansatz der Sektorkopplung müssen auch die regulatorische Rahmenbedingungen betrachtet werden. Die größtenteils separaten Märkte und Infrastrukturen für Strom, Gas oder Wärme mit jeweils eigenen gesetzlichen Regelungen, Umlagen und Preissystemen müssen angepasst werden, um einen fairen Wettbewerb und einen flexiblen Einsatz der verschiedenen Energieträger in den unterschiedlichen Nutzungsbereichen zu ermöglichen.

Effiziente Sektorkopplung: Wann beginnen wir, welche Grenzen gibt es?

Die Umsetzung der technischen Möglichkeiten zu einer verstärkten Sektorkopplung ist auch mit der Frage des richtigen Zeitpunkts verbunden. Sollte schon heute, mit dem weiterhin von fossilen Energieträgern dominierten Strommix, eine Elektrifizierung vorangetrieben und Technologien wie Elektromobilität oder Power-to-Heat gefördert werden? Gibt es Bereiche, in denen die Elektrifizierung prioritär erfolgen sollte? Und was sind die Grenzen einer „all electric world“? Die vergleichsweise schlechte Speicherbarkeit von Strom spricht dafür, dass andere Energieträger wie Wasserstoff oder Biomasse künftig in bestimmten Bereichen eingesetzt werden, beispielsweise für die langfristige Speicherung oder für den Flug- und Schiffsverkehr. Wird es möglich sein, den Güterverkehr über strombasierte Technologien wie den Schienenverkehr und Oberleitungs-LKWs abzuwickeln?

Eine besondere Herausforderung wird auch die Umstellung von Industrieprozessen auf erneuerbare Energieträger sein. Beispielsweise wird nicht der Wärmeeintrag in allen industriellen Prozessen durch Strom oder regenerativ erzeugten Wasserstoff ersetzt werden können, da das Prozessmedium einen direkten Einfluss auf das Verfahren haben kann²¹.

Auch das Zusammenspiel mit Maßnahmen zur Effizienzsteigerung ist von großer Bedeutung. Ist es zum Beispiel sinnvoller und ökonomisch effizienter, zuerst in die Gebäudedämmung zu investieren oder hocheffiziente Wärmepumpen und thermische Speicher zu installieren? Für die Optimierung des Gesamtsystems muss es letztlich gelingen, die beiden Ansätze, Steigerung der Energieeffizienz und Sektorkopplung, so zu gestalten, dass sie sich sinnvoll ergänzen.

²⁰ Die EU hat verbindliche Ziele für die gesamten CO₂-Emissionen in Europa festgelegt. Im ETS werden im Wesentlichen die Emissionen aus der Stromerzeugung und den Industrieprozessen erfasst. Die anderen Bereiche werden durch die sog. „Effort Sharing Decision“ adressiert. Dabei bekommen die Mitgliedsstaaten Emissionsminderungsvorgaben in Abhängigkeit von ihrer wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit. Das Gesamtziel ist -10%, für D -14% bezogen auf 2005.

²¹ Ein Beispiel ist der Hochofenprozess zur Roheisenherstellung, in dem die verwendete Kohle auch eine mechanische Funktion erfüllt, die nicht leicht substituiert werden kann.



HUMBOLDT-VIADRINA
Governance Platform

Kontakt

HUMBOLDT-VIADRINA Governance Platform gGmbH
Pariser Platz 6 (Allianz Forum)
10117 Berlin

Telefon: +49 30 20620 140

Email: energie.trialoge@governance-platform.org

Website: <http://www.governance-platform.org>

Bericht vom 01.11.2016

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung