



Sektorenintegration im Energiesystem Flexibilisierung, Dekarbonisierung und Elektrifizierung

Konferenz vom 09. Juni 2020

September 2020

ZUSAMMENFASSUNG

Autorin: Sarah Dalisson, DFBEW
sarah.dalisson@developpement-durable.gouv.fr

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Gefördert durch:





Disclaimer

Der vorliegende Text wurde durch das Deutsch-französische Büro für die Energiewende (DFBEW) verfasst. Die Ausarbeitung erfolgte mit der größtmöglichen Sorgfalt. Das DFBEW übernimmt allerdings keine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit der Informationen.

Alle textlichen und graphischen Inhalte unterliegen dem deutschen Urheber- und Leistungsschutzrecht. Sie dürfen, teilweise oder gänzlich, nicht ohne schriftliche Genehmigung seitens des Verfassers und Herausgebers weiterverwendet werden. Dies gilt insbesondere für die Vervielfältigung, Bearbeitung, Übersetzung, Verarbeitung, Einspeicherung und Wiedergabe in Datenbanken und anderen elektronischen Medien und Systemen.

Das DFBEW hat keine Kontrolle über die Webseiten, auf die die in diesem Dokument sich befindenden Links führen. Für den Inhalt, die Benutzung oder die Auswirkungen einer verlinkten Webseite kann das DFBEW keine Verantwortung übernehmen.



Inhalt

Disclaimer	2
Einführung	4
I. Sektorkopplung: Definitionen und Konzepte	5
II. Grundlagen, Perspektiven und Mittel für eine erfolgreiche Sektorenintegration	5
II.1 Klimaneutralität auf europäischer Ebene bis 2050: Grundlagen, Technologien und Perspektiven	6
II.2 Der Beitrag der Sektorenintegration zur Netzstabilität und Dekarbonisierung des Energiesystems	7
II.3 Marktregeln für die erfolgreiche Sektorkopplung	8
III. Projektbeispiele und Geschäftsmodelle	9
III.1 Rückgewinnung von erneuerbarem Strom und Kälteerzeugung im Wohngebäudesektor: Optimierung und Resilienz	9
III.2 Beitrag der Elektromobilität zur Sektorenintegration: Flexibilität und Dekarbonisierung	11
III.3 Power-to-Gas als Flexibilitätsvektor der Sektorkopplung	12
IV. Perspektiven und Zukunft der Sektorenintegration	14
IV.1 Sektorenintegration in Europa bis 2050	14



Einführung

Die vorliegende Zusammenfassung stellt die wichtigsten Ergebnisse der Online-Konferenz zur Sektorenintegration im Energiesystem vor ([Konferenzprogramm](#)). Die vom Deutsch-französischen Büro für die Energiewende (DFBEW) organisierte Online-Veranstaltung fand am 9. Juni 2020 statt. Das ursprünglich vorgesehene ganztägige Programm wurde angesichts der Corona-Pandemie auf ein mit der Online-Übertragung zu vereinbarendes Format gekürzt. Die Vorträge (auf Englisch) der Redner können von der [Website des DFBEW](#) heruntergeladen werden, die Audio-Mitschnitte stehen im Mitgliederbereich der Seite zur Verfügung. Die vorliegende Zusammenfassung stellt keine Wiedergabe der Vorträge im Wortlaut dar, sondern liefert eine genauere Betrachtung der behandelten Themen im deutsch-französischen Kontext.

Sowohl auf europäischer als auch auf nationalstaatlicher Ebene wurden ehrgeizige Ziele zum Erreichen der Klimaneutralität gesetzt. Die Reduzierung von Treibhausgasemissionen in den verschiedenen Sektoren geht dabei einher mit einer stärkeren Elektrifizierung des Verbrauchs sowie einem höheren Anteil erneuerbarer Energien am Erzeugungsmix. Der Ausbau der erneuerbaren Energien wiederum erfordert die Anpassung und Weiterentwicklung des Stromnetzes sowie eine erhöhte Flexibilität. Vor diesem Hintergrund wurden Überlegungen zum sich ergänzenden Charakter der verschiedenen Energieträger und zu einer verstärkten Integration verschiedener Energiesysteme – als „sector coupling“ bzw. „Sektorenintegration“ bezeichnet – angestellt. Für den Energiesektor liegt darin insofern eine Chance, als der ganzheitliche Ansatz der Sektorenintegration dazu beiträgt, die Wirksamkeit der verschiedenen Ansätze zu optimieren und so Hindernisse zu beseitigen und Kosten zu reduzieren.

DFBEW-Geschäftsführer Sven Rösner erinnerte in seinen einleitenden Bemerkungen daran, dass 2017, bei der letzten Veranstaltung des Büros zum Thema Sektorenintegration, auf die Existenz punktueller, aber teilweise erheblicher Diskrepanzen zwischen Stromerzeugung und -nachfrage eingegangen wurde. In der Notwendigkeit, ständig für ein Gleichgewicht zwischen Angebot und Nachfrage zu sorgen, liege eine wesentliche Herausforderung für das Stromnetz. Er erinnerte auch an die erheblichen CO₂-Emissionen außerhalb des Stromsektors, vor allem in den Bereichen Wärme, Kälte und Verkehr, auf die 75 bis 80 % des Endenergieverbrauchs in Deutschland und in Frankreich entfielen.

Im Rahmen eines – bei der letzten Konferenz entworfenen – idealen Energiesystems erschiene es möglich, durch die Kombination der jeweiligen Anforderungen zu einer umfassenden Komplementarität zu gelangen: ein stark elektrifiziertes Konzept – z. B. mit vielem Elektroautos, Wärmepumpen und Speichersystemen – das die nötige Flexibilität bietet, um die Volatilität der erneuerbaren Stromerzeugung auszugleichen, damit diese voll genutzt werden kann. Damals schien sich die Perspektive einer zu 100 % erneuerbaren Stromerzeugung abzuzeichnen. Diese Hypothese sieht sich jedoch mit mehreren Hindernissen konfrontiert und kann daher lediglich als Inspirationsquelle auf der Suche nach einem idealen System dienen.

Zunächst einmal stellt sich die Frage, wie viele Erneuerbaren-Anlagen maximal installiert werden können. Diese könnten in Deutschland mittelfristig 800 bis 850 TWh Strom liefern, also ein Drittel des derzeitigen gesamten jährlichen Energieverbrauchs. Auch wenn die Stromversorgungssysteme stark miteinander vernetzt werden und zunehmend ein Austausch zwischen ihnen stattfindet, kann diese Größenordnung in wirtschaftlicher Hinsicht weiterhin als Maßstab für zukünftige Ansätze gelten. Rückblickend und angesichts mehrjähriger Erfahrung erscheint das ursprüngliche Konzept der Sektorenintegration zu idealistisch. Die Idee, Synergien zwischen den Bereichen Energieerzeugung, -übertragung und -nutzung zu schaffen, ist jedoch heute so aktuell wie nie zuvor. So bot die Konferenz die Gelegenheit, nicht etwa die Schlussfolgerungen der vorherigen zu falsifizieren, sondern ihre Ergebnisse aus einem neuen Blickwinkel zu betrachten. Über den Jahresbedarf von 850 TWh und die durch diesen Wert bedingten Anforderungen bezüglich Effizienz und Suffizienz hinaus ist es wichtig zu verstehen, dass diese Strommenge nicht linear über das ganze Jahr erzeugt werden wird. Daher muss das optimale System der Zukunft in der Lage sein, Flexibilitätspotenziale energiesektorübergreifend dort zu mobilisieren, wo sie am kostengünstigsten sind, um den Bedarf zur Stunde x adäquat zu decken. Dies kann beispielsweise durch das vorübergehende Ausschalten der Kühlgeräte eines Supermarktes, mithilfe einer Wärmepumpe, die einen Warmwasserspeicher versorgt oder aber über eine Autobatterie, die in der Lage ist, die Frequenz eines Verteilnetzes dezentral zu stabilisieren, geschehen.



I. Sektorenintegration: Definitionen und Konzepte

Fokus: Definitionen und Konzepte der Sektorenintegration

Unter „Sektorenintegration“ versteht man die Suche nach Komplementarität zwischen verschiedenen Energieträgern, mit dem Ziel einer Optimierung der Energieeffizienz, sowie einer Reduzierung von Endenergieverbrauch und Treibhausgasemissionen.

Es wird zwischen zwei Definitionen des Begriffs unterschieden:

- Sektorenintegration mit Blick auf den Endverbrauch, wobei die Elektrifizierung der Energienachfrage mit der Verstärkung der Wechselwirkungen zwischen Stromversorgung und Endverbrauch einhergeht.
- eine europäische Definition entsprechend der vom Europäischen Parlament im November 2018 verwendeten Bezeichnung „cross sector coupling“. Hier geht es darum, die verschiedenen Infrastrukturen und Energieträger (Wärme-, Strom-, Gas- und sonstige Netze) so zu integrieren, dass sie sich gegenseitig unterstützen.

Die Sektorenintegration kann auch als „energy vector coupling“ oder „energy system integration“ bezeichnet werden.

Bei der Sektorenintegration ist zwischen verschiedenen Energiequellen zu unterscheiden, die vor ihrer Umwandlung in der Natur zur Verfügung stehen. Diese haben unterschiedliche Eigenschaften und können fossil (Erdgas, Kohle, Erdöl usw.), nuklear (Uran) oder erneuerbar (Energie aus Wasser, Wind, aus dem Boden usw.) sein. Die Energiequellen werden entweder direkt verwendet oder so umgewandelt, dass sie übertragen oder gespeichert werden können. Es gibt vier Arten von Energieträgern:

- Strom
- Wärme und Kälte in Verbindung mit einem Netz oder Speicher
- gasförmige Brennstoffe (heute vor allem in Form von Erdgas, aber auch als Synthesegas, das aus anderen Quellen hergestellt wird, z.B. Wasserstoff, Biogas, Synthesemethan und Ammoniak)
- flüssige Brennstoffe (vor allem auf Erdölbasis, aber auch aus anderen Quellen erzeugte synthetische Flüssigbrennstoffe).

Die meisten Energieträger können anhand verschiedener Quellen hergestellt werden, außerdem können Energieträger miteinander interagieren. In diesem Falle spricht man von Sektorenintegration.

II. Grundlagen, Perspektiven und Mittel für eine erfolgreiche Sektorenintegration

Vorträge:

- **Klimaneutralität auf europäischer Ebene bis 2050: Grundlagen, Technologien und Perspektiven**

Dr. Dogan Keles, Leiter der Forschungsgruppe Energiemärkte und Energiesystemanalyse, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

- **Beitrag der Sektorenintegration zur Netzsicherheit und Dekarbonisierung des Energiesystems**

Marc Le Du, Experte Strategie, Sektorenintegration und Energien, französischer Übertragungsnetzbetreiber RTE

- **Marktregeln für eine erfolgreiche Sektorenintegration**

Maren Petersen, Geschäftsbereichsleiterin Erzeugung, Leiterin der Stabsstelle für erneuerbare Energien, Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW).

Sämtliche Vorträge (auf Englisch) und ihre Audio-Mitschnitte können von der [Website des DFBEW](#) heruntergeladen werden.

II.1 Klimaneutralität auf europäischer Ebene bis 2050: Grundlagen, Technologien und Perspektiven

Sowohl auf nationaler als auch auf europäischer Ebene wurden ehrgeizige Ziele gesteckt, um bis 2050 klimaneutral zu werden. Der Anteil erneuerbarer Energien in den verschiedenen Sektoren hat in den letzten Jahren tendenziell zugenommen. Nach Angaben des Bundesumweltministeriums belief er sich 2018 auf 37,8 % in der Stromerzeugung, 13,9 % in der Wärmeerzeugung und 5,6 % im Verkehrssektor.

Dogan Keles (Karlsruher Institut für Technologie, KIT) erinnerte daran, dass zum Erreichen der Zielsetzungen sämtliche Sektoren CO₂-frei gestaltet werden müssten. Dies erfordere umfassende Maßnahmen zur Förderung der Sektorenintegration, um Strom aus erneuerbaren Quellen auch in anderen Bereichen, wie etwa Wärme oder Verkehr, einsetzen zu können.

Die Umsetzung der Sektorenintegration erfolgt auf verschiedene Arten, darunter vor allem Power-to-Heat, Kälteerzeugung, Power-to-Gas und Elektromobilität. Zudem ist es möglich, erzeugtes Gas zwischen zu speichern und anschließend erneut zur Stromerzeugung zu verwenden. Dieser Vorgang wird als Power-to-X-to-Power bezeichnet. Allerdings sind hier die Energieerträge relativ gering, da bei den aufeinanderfolgenden Umwandlungen von einem Energieträger in den anderen viel Energie verloren geht. Dennoch kann die Sektorenintegration als ein wichtiger Impuls zum Erreichen der europäischen und nationalstaatlichen Klimaziele bis 2050 angesehen werden.

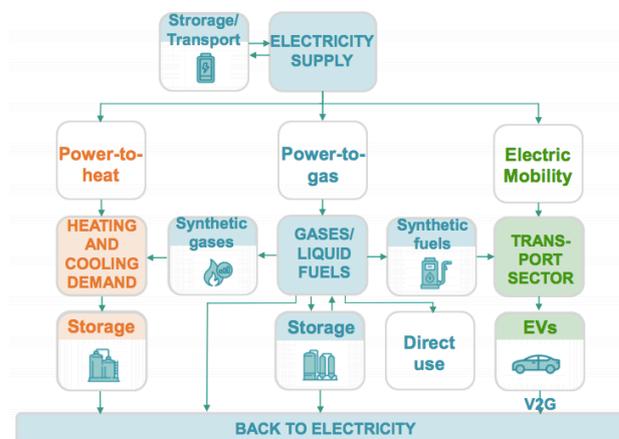
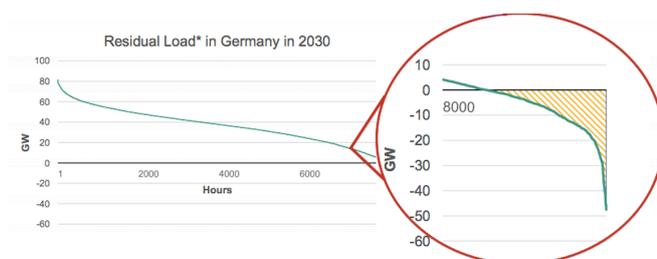


Abbildung 1: Verschiedene Möglichkeiten der Sektorkopplung, Quelle: IEA 2019



Surplus electricity cannot be used in the other sectors, even if p_{el} is „0 €/MWh“: $c_{grid} + c_{RES} > p_{heat}$

Abbildung 2: Prognose der Residuallast in Deutschland 2030, Quelle: Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

die üblichen Marktpreise für Wärme übertreffen würden. Um eine stärkere Wechselwirkung zwischen erneuerbarer Stromerzeugung und Wärmeverbrauch zu erlangen, erscheint es unumgänglich, vergleichbare Preisbedingungen für den Endverbraucher zu schaffen.

Ein weiteres Hindernis für den Ausbau der Sektorenintegration betrifft CO₂-Emissionen, die im Rahmen der Dekarbonisierung minimiert werden sollen. Die Einführung eines CO₂-Preises, der die Wettbewerbsfähigkeit CO₂-freier Mobilität fördert, erscheint erforderlich. Derzeit reichen beispielsweise im Verkehrssektor die festgelegten CO₂-Preise nicht aus, um die nationalen und europäischen Ziele zu erfüllen. Um die Sektorenintegration voranzubringen, müssen deshalb Einsparungen durch Skaleneffekte (unter Gewährleistung eines relativ niedrigen Endpreises für

Es gibt diesbezüglich jedoch verschiedene Hindernisse, darunter vor allem der hohe Preis der angesprochenen Technologien, deren Wettbewerbsfähigkeit noch nicht erreicht ist. Die nebenstehende Grafik zeigt, dass in Deutschland im Jahre 2030 die sogenannte Residuallast (Energienachfrage abzüglich Energieerzeugung aus erneuerbaren Quellen) nicht in anderen Sektoren, wie beispielsweise Wärme, genutzt werden kann, wenn die aktuelle Preispolitik und insbesondere die EEG-Umlage beibehalten werden. Der Versuch, diesen Strom in Wärme umzuwandeln, wäre nicht rentabel, da die Stromgestehungskosten hierbei

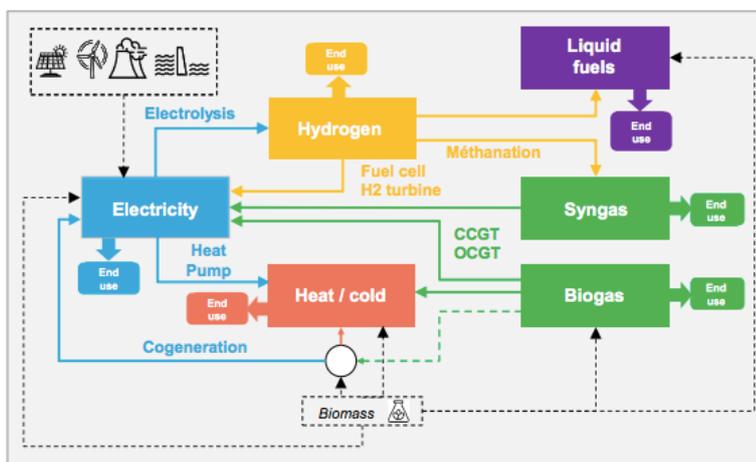
den Verbraucher) erreicht, die Versorgungssicherheit gewährleistet und der Ausbau erneuerbarer Energien in sämtlichen Sektoren fortgesetzt werden. In einer vom KIT durchgeführten Studie zur Power-to-Gas-Technologie und ihrer Rolle im Energiesystem der Zukunft wurden mehrere Szenarien mit unterschiedlichen CO₂-Preisen durchgespielt. Demnach bietet offenbar ein hoher CO₂-Preis die beste Lösung für eine signifikante Dekarbonisierung des Energiesystems. Allerdings betonte Dogan Keles auch, dass selbst ein Szenario mit einem Preis von 300 €/t keine vollständige Dekarbonisierung ermöglichen könne. Dies scheine vielmehr von der diesbezüglichen Sensibilität der Verbraucher sowie der Verfügbarkeit alternativer Technologien abzuhängen.

II.2 Der Beitrag der Sektorenintegration zur Netzstabilität und Dekarbonisierung des Energiesystems

Die französischen Pläne zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen stehen in Einklang mit den Zielen der EU. So will Frankreich seinen CO₂-Ausstoß bis 2030 auf 300 Millionen Tonnen reduzieren. Dies entspricht einem Rückgang von rund 40 % im Vergleich zu 1990. Bis 2050 sollen die Emissionen auf rund 100 Millionen Tonnen CO₂ begrenzt werden. Frankreichs Dekarbonisierungsstrategie basiert auf zwei zentralen Elementen:

- Halbierung des Energieverbrauchs im Vergleich zum aktuellen Wert: von 1 800 TWh/Jahr 2018¹ auf 900 TWh im Jahr 2050. Der aktuelle Verbrauch wird zu 75 % von fossilen Brennstoffen (flüssige Brennstoffe wie Öl, feste Brennstoffe wie Kohle und Holz oder Gase wie Erdgas) gedeckt.
- Umstellung der Energieerzeugung auf CO₂-freie Energiequellen und Rückverlagerung der Energieerzeugung in das französische Staatsgebiet.

Ist von Wechselwirkungen zwischen Energieträgern die Rede, so geht es im Grunde um fünf verschiedene Interaktionen. Diese sind in der untenstehenden Grafik dargestellt und entsprechen zwei verschiedenen Konzepten: Power-to-X, d. h. Interaktionen ausgehend von elektrischer Energie hin zu anderen Energieträgern, bzw. X-to-Power, d. h. Interaktionen ausgehend von anderen Energieträgern hin zu elektrischer Energie.



Power-to-X:

- Elektrolyse zur Wasserstoffherzeugung
- Wärmepumpen zur Erzeugung von Wärme oder Kälte

X-to-Power:

- Stromerzeugung aus Bio- oder Synthesegas
- Stromerzeugung aus Wasserstoff
- Erzeugung von Strom und Wärme durch Kraft-Wärme-Kopplung

Abbildung 3: Power-to-X und X-to-Power, Quelle: RTE

Mithilfe von Power-to-X-Technologien könnten die übrigen Energieträger (Wasserstoff oder Wärme) dekarbonisiert und damit die Klimaziele umgesetzt werden. X-to-Power-Technologien wiederum tragen durch Stromerzeugung oder -speicherung sowie Flexibilität auf der Verbrauchsseite zum Gleichgewicht des Energiesystems bei. Marc Le Du (RTE) nannte zwei Voraussetzungen für ein effizientes Power-to-X: Einerseits müsse die CO₂-freie Stromerzeugung in Europa ausgebaut werden, um elektrische Prozesse weiterzuentwickeln. Marc Le Du ist der Meinung, dass die

¹ <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2019-09/datalab-59-chiffres-des-energie-edition-2019-septembre2019.pdf>



aktuelle Funktionsweise des EU-ETS den Ansprüchen nicht genüge und dass ein klares Preissignal für CO₂-Emissionen von Nöten sei. Dieses müsse gemeinsam festgelegt werden und einheitlich, stabil und langfristig ausgerichtet sein. Die Einführung eines einheitlichen europäischen Referenzwertes könne hierbei eine Lösung bieten, da sie Verzerrungen der europäischen Entscheidungen, die einen Vergleich der von den verschiedenen Energieträgern erwarteten Vorteile ermöglichen, verhindert.

Marc Le Du ging auch auf den Beitrag der Sektorenintegration zur Netzflexibilität ein. Der Flexibilitätsbedarf nähme zu und könne saisonal, wöchentlich oder täglich auftreten. Das Verständnis der Flexibilität beschränke sich daher nicht auf die Reaktion auf ein kurzfristiges Ungleichgewicht, sondern schließe langfristiger ausgerichtete Anforderungen ein. Seiner Meinung nach erhöhe die Zunahme des „Anteils der nicht steuerbaren erneuerbaren Energien am Erzeugungsmix“ den Flexibilitätsbedarf in jeder Hinsicht, aber je nach prozentualem Anteil unterschiedlich stark. Schließlich scheint der Flexibilitätsbedarf auch vom Stromverbrauch, von der Temperaturabhängigkeit der Nutzungen, der Temperaturentwicklung sowie von neuen elektrischen Anwendungen, wie z. B. Power-to-Heat, abzuhängen. Vonseiten des Netzes stehen der Elektrifizierung der Nutzungen in Frankreich offenbar keine spezifischen Hindernisse im Weg. Laut Marc Le Du erfüllt das Netz die Voraussetzungen für die Energiewende, die Elektrifizierung der Nutzungen und die Sektorenintegration müssen jedoch mit klaren Vorschriften umrahmt werden, um Zukunftsperspektiven für die jeweiligen Branchen sichtbar zu machen.

Die Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen elektrischer Energie und anderen Energieträgern ist entscheidend dafür, wie Klimaneutralitätsanalysen gestaltet werden. Die Interaktionen hängen von zahlreichen Parametern ab, wie z. B. von einzelstaatlichen Entscheidungen innerhalb des europäischen Verbundsystems, sowie vom Ausbau anderer Lösungen wie der Kohlenstoffbindung. Die Fixkosten bestimmter Technologien, wie beispielsweise Brennstoffzellen oder Wasserstoffturbinen, sind ebenfalls ein wichtiger Parameter. Auch die Frage der variablen Stromgestehungskosten spielt eine wichtige Rolle, insbesondere die Kosten für in Europa erzeugten oder importierten grünen Wasserstoff. Schließlich betonte Marc Le Du, dass es notwendig sei, das verfügbare CO₂-freie Erzeugungspotenzial sowohl im Strom- als auch im Gasbereich und mit Blick auf das gesamte Energiesystem zu untersuchen.

II.3 Marktregeln für eine erfolgreiche Sektorenintegration

Deutschland hat seine Ziele für den Ausbau erneuerbarer Energien bereits weitgehend erreicht, bzw. übertroffen. Für 2020 wurden 35 % erneuerbare Energien in der Stromerzeugung angestrebt, bereits 2019 belief sich ihr Anteil auf 42 %. Nach Ansicht von Maren Petersen (**Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft - BDEW**) ist die Sektorenintegration dazu geeignet, den CO₂-Ausstoß in allen Sektoren zu reduzieren und generell den Ausbau der erneuerbaren Energien zu fördern. Sie biete erhöhte Flexibilität und könne dazu beitragen, Engpässe zu vermeiden, indem überschüssige Energie beispielsweise für Power-to-Gas verwendet wird. So käme es heute teilweise dazu, dass die Erzeugungskapazität von Windparks abgeregelt werde, weil die Netze nicht in der Lage seien, die gesamte erzeugte Energie aufzunehmen. Die Sektorenintegration sei also nicht nur in wirtschaftlicher Hinsicht vorteilhaft, sondern Sorge auch dafür, die Versorgungssicherheit durch mehr Flexibilität zu gewährleisten. Damit mache sie das Energiesystem insgesamt stabiler.

Der Erfolg einer weitreichenden Sektorenintegration hängt jedoch von bestimmten Voraussetzungen ab. Wird – wie es Maren Petersen tut – davon ausgegangen, dass die Energiewende nach marktwirtschaftlichen Prinzipien erfolgen muss, so darf nicht ausschließlich programmspezifisch argumentiert werden. Vielmehr müssten auch im Hinblick auf eine effiziente Entflechtung (*unbundling*) diese Marktregeln gelten und die Technologien zur Sektorenintegration sich auf dem Markt etablieren und durchsetzen. Der BDEW hat eine Studie zu Marktregeln durchgeführt, mit denen eine optimale Sektorenintegration erzielt werden könnte. Demnach erscheint es zunächst einmal wichtig, einen CO₂-Preis für sämtliche Sektoren einzuführen und dessen Bedeutung für die Dekarbonisierung des Energiesystems hervorzuheben. Im Hinblick auf Steuern und Gebühren hält Maren Petersen einen sektorübergreifenden Ansatz für notwendig. So sollten Steuern bzw. Gebühren nur auf Ebene der Endnutzung von Strom erhoben werden,



also nur dann, wenn Energie an den Verbraucher geliefert wird, wie z.B. bei Anlagen mit Wärmepumpen oder Stromspeichern. Maren Petersen stellte mögliche Ansätze zum Erreichen der Ziele vor. Ihrer Ansicht nach sind kurzfristige Maßnahmen, wie die Senkung der EEG-Umlage, erforderlich, um die Technologien der Sektorenintegration erschwinglicher zu machen. Darüber hinaus sei es notwendig, an der Planung des Strom- und Gassektors, der Anlagenstandorte, der Stromerzeugung und des Baus von Industrieanlagen zu arbeiten, von denen die Energie direkt genutzt werden kann. Auch die Einführung von Herkunftsnachweisen für grünen Wasserstoff sei für Käufer und Endverbraucher vorteilhaft.

Über die in den vorausgegangenen Redebeiträgen bereits erwähnten Hindernisse hinaus betonte Maren Petersen die Bedeutung einer transparenten Kommunikation bezüglich der Problematik der Netzengpässe. So wüssten die Erzeuger erneuerbarer Energien aus Power-to-Gas-Anlagen heute nicht, wann und wo Engpässe auftreten. Dies sei jedoch von wesentlicher Bedeutung für die Netzstabilität, zu deren Gewährleistung die Einspeisung erneuerbarer Energie mitunter erheblich reduziert oder sogar ganz eingestellt werden müsse. Wären diese Daten bekannt, so könnten lokale Flexibilitätsmärkte aufgebaut werden. Maren Petersen ging auch auf die Bedeutung von Anreizprogrammen wie Reallaboren und *regulatorisches Lernen* für die Marktentwicklung ein. Diese beiden innovativen Programme wurden vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) ins Leben gerufen und verfolgten das Ziel, im Rahmen von regionalen Pilotprojekten neue Gebühren- und Steuersysteme zu erproben und ihre Auswirkungen auf die Nutzung und Erzeugung von Wasserstoff in Elektrolyseanlagen zu untersuchen.

Für Maren Petersen stellt die Sektorenintegration eine wesentliche Voraussetzung für eine erfolgreiche und nachhaltige Dekarbonisierung aller Sektoren dar. Um zu gewährleisten, dass diese gut voranschreite, sei es daher zunächst notwendig, Hindernisse abzubauen, die Infrastruktur zu optimieren, umfassend und sektorübergreifend vorzugehen und bei der Festsetzung von Steuern und Gebühren die Treibhausgasemissionen einzubeziehen. Der Rahmen für das Energiesystem der Zukunft muss nach Ansicht Maren Petersens auf europäischer Ebene bestimmt werden. Insbesondere sei festzulegen, ob die Integration erneuerbarer Energien, die Netzstabilität oder aber die Dekarbonisierung prioritär zu behandeln seien. Schließlich müssten die für diese Entwicklung hauptverantwortlichen Akteure bestimmt werden: Marktteilnehmer, Netzbetreiber, oder Sonstige.

III. Projektbeispiele und Geschäftsmodelle

Vorträge:

- Rückgewinnung von erneuerbarem Strom und Kälteerzeugung im Gebäudesektor: Optimierung und Resilienz
Aurélie Foucquier, Forschungsingenieurin, CEA Liten
- Beitrag der Elektromobilität zur Sektorenintegration: Flexibilität und Dekarbonisierung
Bastian Pfarrherr, Fachbereichsleiter Innovation, Stromnetz Hamburg
- Power-to-Gas als Flexibilitätsvektor der Sektorenintegration: Projekt „Jupiter 1000“
Anthony Mazzenga, Head of renewable gases, GRTgaz

Sämtliche Vorträge (auf Englisch) und ihre Video-Mitschnitte können von der [Website des DFBEW](#) heruntergeladen werden.

III.1 Rückgewinnung von erneuerbarem Strom und Kälteerzeugung im Wohngebäudesektor: Optimierung und Resilienz

Der Gebäudesektor weist nicht nur ein hohes Energieeffizienzpotenzial auf, sondern ist auch ein wichtiger Motor der Sektorenintegration. Das französische Forschungszentrum CEA Liten hat in Zusammenarbeit mit einem auf Einfamilienhäuser spezialisierten Bauunternehmens eine Studie durchgeführt, um zu untersuchen, wie überschüssige erneuerbare Energie zur Kühlung von Gebäuden eingesetzt werden kann. Aurélie Foucquier (**CEA Liten**), stellte die Ergebnisse der Studie vor, die auf den wachsenden Bedarf an Klimaanlage und Kühlsystemen im Zuge der

Klimaerwärmung eingeht. Das CEA und das angesprochene Bauunternehmen haben einen ganzheitlichen Ansatz entwickelt, bei dem eine digitale Plattform zum Einsatz kommt. Sie soll den Anforderungen des Baugewerbes angepasste Lösungsansätze bieten, die, in mit Photovoltaikmodulen ausgestatteten Einfamilienhäusern, im Sommer für angenehme Raumtemperaturen sorgen.

Das Vorgehen erfolgte in zwei Phasen: Zunächst die Bereitstellung einer als „statisch“ bezeichneten Lösung, bei der eine Bauweise ins Auge gefasst wird, die zur Reduzierung des Energieverbrauchs in den Gebäuden beiträgt; anschließend eine Phase, in der lokal vorhandene Ressourcen genutzt werden, um im Sommer für angenehmere Raumtemperaturen zu sorgen. In der ersten Phase geht es folglich um die Entwicklung des idealen energieeffizienten Gebäudes. Um dies zu erreichen wird versucht, den Energieverbrauch insgesamt zu reduzieren, indem Lösungen für die Dämmung der Wände, Verbesserungen an den Fenstern und zur Verschattung, sowie die Ausrichtung und Leistung der installierten Photovoltaikmodule untersucht werden. So sollen das ideale Gebäudeprofil erstellt und Empfehlungen zum Erhalt einer idealen Leistung geliefert werden. Dieses Idealmodell wird anschließend mit verschiedenen realen Störfaktoren regulatorischer, ästhetischer, architektonischer und meteorologischer Art konfrontiert.

Die Studie beschäftigt sich insbesondere mit der Nutzung lokal vorhandener Ressourcen (Wind und Außentemperatur) und kombiniert die natürliche Belüftung mit einer optimierten Steuerung der Rollläden. Mithilfe der Rollladensteuerung kann die Dauer der Sonneneinstrahlung über den Tag hinweg reduziert und somit der Temperaturanstieg begrenzt werden. Die natürliche Lüftung wiederum ermöglicht es, frische Luft von außen zuzuführen, sofern diese kälter als die Raumtemperatur ist. Gleichzeitig wird die natürliche Sonnenenergie über die Photovoltaikmodule genutzt. Der so erzeugte Strom versorgt die verschiedenen Eigenverbrauchsposten im Gebäude: Warmwasserbereitung, mechanische Belüftung und Betrieb von Elektrogeräten. Das System verfügt zudem über eine aktive Kühlfunktion.

Mit der Studie konnte die Belastbarkeit des Systems in Bezug auf verschiedene gebäudespezifische Einflussfaktoren (Anzahl der Bewohner, Energieeffizienzklassen der Haushaltsgeräte, Umgang mit Klimaanlage, Ausrichtung der Photovoltaikmodule und ihre installierte Leistung) beobachtet werden. Insgesamt wurden 7 000 verschiedene Konstellationen herausgearbeitet und drei Konfigurationen untersucht:

- eine einfache Konfiguration mit großem Warmwasserbedarf
- eine von der Leistung her leicht optimierte Konfiguration mit einem thermodynamischen System
- eine Konfiguration mit thermodynamischer Brauchwassererwärmung sowie einer Steuerung der Lüftung und der Rollläden

Die Studie kam zu dem Ergebnis, dass bei einer Konfiguration mit Eigenverbrauch ohne Batterie, über den beobachteten Zeitraum von rund 3 670 Stunden hinweg, unabhängig vom Profil des jeweiligen Haushalts, zur Hälfte der Zeit Energie eigenverbraucht wurde. Die in der Studie festgestellte Belastbarkeit gilt es nun unter realen Bedingungen zu bestätigen. Auch konnten, unabhängig von der jeweiligen Konfiguration, im Durchschnitt 30 % des Kühlbedarfs gedeckt werden. Offenbar kann also ein wesentlicher Anteil des Kältebedarfs durch die Photovoltaikerzeugung gedeckt werden, wodurch erhebliche Einsparungen ermöglicht werden.

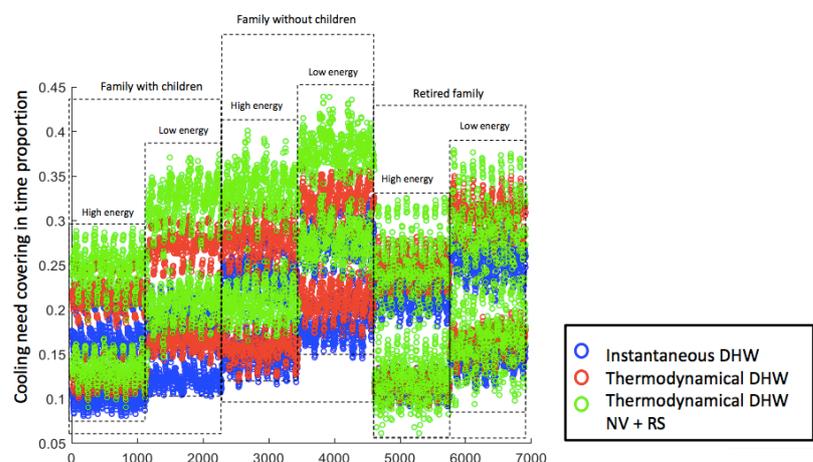


Abbildung 4: Durch PV-Erzeugung gedeckter Kältebedarf, Quelle: CEA Liten



Die Studie hat somit die Realisierbarkeit eines derartigen Systems nachgewiesen. Da die Ergebnisse mithilfe einer digitalen Simulation ermittelt wurden, wird es im nächsten Schritt darum gehen, das System in einem realen Gebäude zu testen und die Daten zu vergleichen. Die Studie zeigt, wie die Sektorenintegration im Gebäudesektor praktisch umgesetzt werden kann und wie sie Einsparungen beim Energieverbrauch und damit auch bei den Stromausgaben der Haushalte ermöglicht. Da es einen Teil des Bedarfs selbst deckt, stellt ein derartiges Eigenverbrauchssystem zudem eine Flexibilitätslösung für das Stromnetz dar, denn es vermeidet die Entnahme von fast 30 % des Energieverbrauchs, wodurch zu Spitzenlastzeiten die Einspeisung von Solarstrom in das Verteilnetz begrenzt und somit der Flexibilitätsbedarf an anderer Stelle reduziert werden kann.

III.2 Beitrag der Elektromobilität zur Sektorenintegration: Flexibilität und Dekarbonisierung

Mit einem Ausstoß von 137 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalent im Jahr 2018 ist der Verkehr der emissionsstärkste Sektor in der Welt². Die Reduzierung der Treibhausgasemissionen in diesem Bereich stellt daher einen wesentlichen Hebel zum Erreichen der Klimaneutralitätsziele dar. Auch hier hängt das Erreichen der Ziele von der Sektorenintegration ab. Bastian Pfarrherr (**Stromnetz Hamburg**) ging aus Sicht eines Stromnetzbetreibers auf die Bedeutung der Elektrifizierung des Verkehrs, sowohl für das Erreichen der Klimaneutralität, als auch mit Blick auf die Flexibilisierung des Stromnetzes, ein.

Sämtliche nationalen Klimapläne setzen auf eine beschleunigte Elektrifizierung des Verkehrsbereiches, um die Vorgaben für die Reduzierung der Treibhausgasemissionen zu erreichen. Die Stadt Hamburg hat beschlossen, bis 2030 die gesamte öffentliche Busflotte auf Elektrofahrzeuge umzustellen, also auf rund 6 000 Elektrobusse. Diese Busse müssen aufgeladen und in Depots gewartet werden. Auch bei Privatfahrzeugen ist eine umfassende Elektrifizierung geplant. All dies wird sich erheblich auf das Netz auswirken. Hamburg plant bis 2030 mit über 100 000 vollelektrischen Fahrzeugen, die einen zusätzlichen Strombedarf von rund 500 GWh/Jahr verursachen würden. Nach Einschätzung des Netzbetreibers Stromnetz Hamburg dürfte diese Zahl noch nach oben korrigiert werden.

Dabei stehen die Netze nicht nur in technischer, sondern auch in wirtschaftlicher Hinsicht vor einer Herausforderung. Der Anschluss von Ladepunkten an das Hochspannungsnetz ist ein umständlicher Prozess, deshalb ziehen die Betreiber den Anschluss an das Mittelspannungsnetz vor. Dadurch wird zudem ein wirtschaftlicher Gewinn für die Nutzer ermöglicht, die den Anschluss über das Netzentgelt mitfinanzieren. Wichtig sei auch die Frage der Netzdimensionierung. So gäbe es in stark besiedelten Gebieten, wie den Hamburger Vororten, nur sehr wenig Industrie und sonstige Gewerbe, weshalb das Netz hier nicht auf einen starken Verbrauch ausgerichtet sei. Sollte die individuelle Elektromobilität ausgebaut werden, müssten daher Optimierungslösungen gefunden werden, um den Netzausbau und die damit verbundenen Kosten zu begrenzen und dennoch das Aufladen aller privaten Fahrzeuge zu ermöglichen.

Über Individualverkehr und Busse hinaus befinden sich in Hamburg verschiedene andere Projekte in der Entwicklung: Auch Taxis, private Anbieter im Bereich Personenbeförderung und Paketzustellung, sowie große Unternehmen mit eigenem Fuhrpark stellen nach und nach auf elektrische Antriebe um. Diese neuen Nutzungen werfen die Frage der Last und der zeitlichen Verteilung der Netzbelastung auf. Derzeit laufen Versuche speziell zur Netzsteuerung. Ein IT-System zur Verwaltung der Infrastruktur wurde mit anderen bestehenden Systemen kombiniert. Mithilfe der erfassten Daten kann die Last gesteuert und in stark überlasteten Netzen reduziert werden. Die Daten zeigen auf, welches Fahrzeug schnell aufgeladen werden muss und bei welchen Fahrzeugen die Ladezeit verzögert werden kann. So wird die Flexibilität verstärkt und das Netz entlastet.

² https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/2020-01-20_MTES_SNBC2.pdf

Die Stromnetze werden sich also an diese neuen Nutzungen und an einen stärker elektrifizierten Verkehrssektor anpassen müssen. Im städtischen Bereich muss der Ausbau der Netze, sowie der Ladeinfrastrukturen organisiert werden, was jedoch vergleichsweise einfach erscheint. Problematischer ist die Frage der Nutzung der Elektromobilität über große Entfernungen, sowohl in Bezug auf Ladeinfrastrukturen an Autobahnen als auch mit Blick auf das Netz.

Gewisse Hindernisse stehen dem Ausbau der Elektromobilität noch im Wege. So ist das Regulierungssystem problematisch, insbesondere im Hinblick auf Verfahren, die Beschränkungen unterliegen. Mit Blick auf den weiteren Ausbau dieser Nutzungen erscheint eine attraktivere Gestaltung des Systems erforderlich. Aus Sicht der Netzbetreiber muss die Einspeisekontrolle und -planung besser organisiert werden, um auf die aktiven Wechselwirkungen zwischen Netz und Fahrzeugen eingehen zu können. Denn indem sie Strom in das Netz einspeisen, tragen die Fahrzeuge zu einer noch höheren Flexibilität bei. Diese Praktiken müssen gesetzlich gut umrahmt und ihre speziellen Hindernisse dabei berücksichtigt werden.

III.3 Power-to-Gas als Flexibilitätsvektor der Sektorkopplung

Die Perspektive eines gänzlich dekarbonisierten Energiemixes setzt eine Anpassung der Gasnetze voraus, damit verschiedene Gase aus erneuerbaren Quellen eingespeist werden können. Gasnetze sind ein fester Bestandteil der Sektorenintegration (ob in Bezug auf Power-to-Gas-, Kraft-Wärme-Kopplung, oder Stromerzeugung aus Wasserstoff, Biogas oder Synthesegas). Anthony Mazzenga (GRTgaz) wies darauf hin, dass die Gasnetzbetreiber ab 2050 nur noch Biomethan, Wasserstoff, Synthesegas oder Gasmischungen und kein fossiles Erdgas mehr aufnehmen wollen. Diese Perspektive stützt sich auf die folgenden vier Säulen der Sektorenintegration:

- Einspeisung von Energie aus der Abfallbehandlung allgemein, sowie speziell aus der Landwirtschaft mit der Verwertung von landwirtschaftlichen Reststoffen, Gülle und Abfällen, die in Biogas, in diesem Fall Biomethan, umgewandelt werden.
- neue Nutzungen von Gas, wie im Verkehr und insbesondere im Schwerlastverkehr
- Sektorenintegration in der Industrie in Verbindung mit Wärmerückgewinnung und Rückgewinnung bzw. Speicherung von CO₂
- Das Thema Wasserstoff.

Fokus: Power-to-Gas

Der Begriff „Power-to-Gas“ bezieht sich auf Konzepte, die Strom aus erneuerbaren oder anderen Quellen mithilfe von Elektrolyse und Methanisierung in Synthesegas umwandeln. Insbesondere ermöglicht sie die Speicherung von erneuerbarem Strom im Erdgasnetz.

Derzeit befassen sich mehrere Projekte mit der Einspeisung von Wasserstoff in die Gasnetze. Für die Betreiber beschränkt sich das Thema Wasserstoff nicht auf Power-to-Gas, sondern kann auch die Verwertung von Rest-Wasserstoff aus der Industrie, sowie die thermische Vergasung von Biomasse oder Abfällen betreffen. Bei diesen Verfahren entstehen Methan-Wasserstoff-Mischungen, deren Einspeisung in die

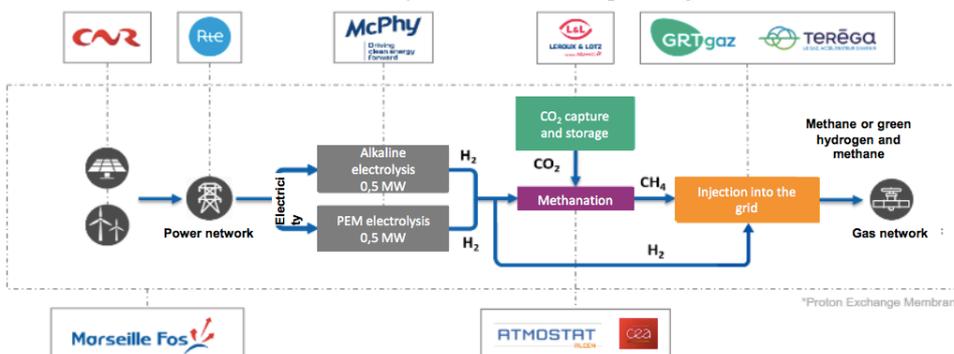


Abbildung 5: Power-to-Gas-Projekt, Quelle: GRTgaz



Gasnetze eine weitere Herausforderung darstellt. Das Projekt Jupiter 1000 liefert ein gutes Beispiel für die Netzeinspeisung eines solchen Mischgases. Bei dem im Hafen von Fos-sur-Mer angesiedelten Projekt handelt es sich um eine Pilotanlage für Power-to-Gas mit einer Stromerzeugungskapazität von 1 MW. Sie ist beispielhaft für die Sektorenintegration und bringt verschiedene Akteure der Strombranche (wie den Stromerzeuger CNR und den Übertragungsnetzbetreiber RTE), die beiden französischen Gasübertragungsnetzbetreiber Terega und GRTgaz sowie Ausrüstungshersteller und lokale politische Vertreter zusammen. Sie alle arbeiten im Bereich sowohl der Erzeugung als auch der Einspeisung von reinem Wasserstoff in die bestehenden Gasübertragungsnetze, über die Industriekunden versorgt werden. Darüber hinaus untersuchen sie die Möglichkeit, diesen Wasserstoff mit lokal abgespaltenem CO₂ zu kombinieren. So soll Synthesemethan erzeugt werden, das ebenfalls eingespeist werden könnte. Das Projekt wurde 2020 gestartet und sieht die Durchführung eines auf drei Jahre angelegten Forschungsprogramms vor. Ziel ist es, den künftigen Netzanschluss industrieller Anlagen für die Zeit zu vorbereiten, wenn die Power-to-Gas-Technologie in Frankreich weiter fortgeschritten sein wird.

Im Rahmen der französischen Wasserstoffstrategie wurde eine Arbeitsgruppe eingerichtet, in der sämtliche Akteure der Gasbranche vertreten sind: Betreiber von Übertragungs- und Verteilnetzen, Speichern und Flüssiggasterminals. Diese Arbeitsgruppe hat verschiedene Konfigurationen untersucht, mit Hilfe derer so viel Wasserstoff wie möglich in das Gasnetz eingespeist werden soll. Die Studie zeigt drei komplementäre Methoden zur zukünftigen Einspeisung von Wasserstoff in die Netze auf:

- Mischverfahren: Einige Lösungen basieren auf der Herstellung von Mischungen, so z. B. sämtliche Technologien zur Vergasung von Biomasse oder Abfällen. Dadurch können zudem Projekte zur Wasserstoffherzeugung unterstützt werden, solange noch keine großen Wasserstoffinfrastrukturen zur Verfügung stehen.
- Spezielle Netze bzw. die Möglichkeit, einen Teil der Gasnetze in reine Wasserstoffnetze umzuwandeln.
- Methanisierung: Sie ermöglicht die Umwandlung von Wasserstoff in Methan, dessen Nutzung bekannt und sehr einfach ist. In bestimmten lokalen Konfigurationen kann dies eine Ergänzung sein.

Unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen Aspekte und der Grenzen für die Einspeisung von Wasserstoff in Gasinfrastrukturen sowie im Hinblick auf die an das Netz angeschlossenen Kunden und deren Sicherheit konnte festgestellt werden, dass die Integration von bis zu 6 % Wasserstoff in die Gasnetze mit minimalen Kosten verbunden ist. Soll ein Wasserstoff-Anteil von 10 bis 20 % integriert werden, sind die Kosten höher und es wird notwendig, bestimmte Vorrichtungen zu ersetzen oder manche Kunden zu schützen. Bei einem Anteil von über 20 % sind die Anpassungskosten zu hoch. Daher empfehlen die Betreiber, den Mix unter 20 % zu halten und weitere Überlegungen zur Anpassung der Infrastrukturen anzustellen, um bestimmte Netze zu 100 % auf Wasserstoff umstellen zu können. Mehrere deutsch-französische Projekte zu diesem Thema befinden sich in der Entwicklung, wie beispielsweise die Kooperation zwischen GRTgaz und dem deutschen Übertragungsnetzbetreiber Ontras. Sie arbeiten gemeinsam an einem Projekt zur Mischung von Gas und Wasserstoff sowie zur Netzintegrität. Ein anderes Beispiel ist das von GRTgaz und dem deutschen Netzbetreiber Creos im Saarland durchgeführte Projekt *MosaHYC*, bei dem es um die Umwandlung eines 70 km langen Gasnetzes in ein hundertprozentiges Wasserstoffnetz geht.

Nach Einschätzung von Anthony Mazzenga setzt eine verstärkte Sektorenintegration eine globale und technologie-neutrale Herangehensweise voraus, um an sämtlichen Power-to-Gas-Lösungen arbeiten zu können. Aber auch die Vergasung oder Umwandlung von Methan in Wasserstoff – zum Beispiel durch Pyrolyse, mit der blauer Wasserstoff erzeugt werden kann – seien CO₂-freie Lösungen, die ebenfalls untersucht werden müssten. Notwendig erscheint auch, auf europäischer Ebene festzulegen, welche Gase als erneuerbar bzw. emissionsarm zu betrachten sind. Dazu könnten Herkunftsnachweise sowohl für Methan als auch für Wasserstoff dienen. Auch eine Harmonisierung der Netzeinspeisung von Wasserstoff auf nationaler Ebene halte er für erforderlich. Und schließlich werde es darauf ankommen, einen Rahmen für die Weiterentwicklung von Power-to-Gas Technologien festzulegen, einen Rahmen für die Rollen des Marktes und der Übertragungsnetzbetreiber zu liefern und Wasserstoff in das europäische Subventionssystem zu integrieren, sei es über *Projects of common interest* oder Richtlinien für staatliche Beihilfen.



Anthony Mazzenga geht davon aus, dass die Gasinfrastrukturen auf jeden Fall dazu in der Lage sind, den Ausbau der Wasserstoffnutzung zu fördern, da sie eine kostengünstige Lösung für dessen Integration in das Energiesystem bieten. Damit seien sie ein fester Bestandteil des Konzeptes der Sektorenintegration.

IV. Perspektiven und Zukunft der Sektorenintegration

Vortrag:

- Perspektive der Sektorenintegration in Europa bis 2050

Antoine Vagneur-Jones, Analyst, BloombergNEF

IV.1 Sektorenintegration in Europa bis 2050

Die Überzeugungen, dass eine verstärkte Sektorenintegration nötig ist und dass es hierfür noch eine Reihe von Hindernissen zu beseitigen gilt, stoßen im Energiesektor auf weitgehende Einigkeit. Doch es stellt sich noch eine andere Frage: Ist eine durch eine umfassende Sektorenintegration geförderte signifikante Elektrifizierung der Energienutzungen in der Lage, bis 2050 eine Klimaneutralität zu gewährleisten? Mit dieser Thematik befasst sich ein [Bericht](#) (auf Englisch), der von Bloomberg im Auftrag von Statkraft und Diäten erarbeitet und im Februar 2020 veröffentlicht wurde.

Der Bericht beschäftigt sich nicht mit der Methanisierung, sondern allein mit der Elektrifizierung und der Entwicklung ihrer unterschiedlichen Anwendungsbereiche: Elektromobilität, Wärmepumpen in Gebäuden, sowie indirekte Elektrifizierung, z.B. durch Elektrolyse. Es wird ein plausibler Verlauf für die Sektoren Industrie, Verkehr und Gebäude in einem beliebigen nordeuropäischen Land mit geringer Wasserkrafterzeugung, einem noch überwiegend auf fossile Brennstoffe basierendem Wärmesystem und einem hohen Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung modelliert. Die Modellierung lieferte den Rahmen für Überlegungen zu Anreizmaßnahmen, die diesen Übergang fördern könnten, sowie zur Frage nach deren Rentabilität.

Antoine Vagneur-Jones (**BloombergNEF**) ging auf die ab 2020 erwartete starke Elektrifizierung des Verkehrssektors ein. Diese könnte an ihre Grenzen stoßen: je nach Szenario könne zwar über die Hälfte des Energiebedarfs im Verkehrsbereich gedeckt werden – im Schwerlast-, See- und Luftverkehrssektor, wo das Elektrifizierungspotenzial begrenzt ist, werde aber eine gewisse Grundmenge fossiler Mobilität weiterbestehen. Die vorhandenen Möglichkeiten zur Reduzierung des Anteils fossiler Energieträger an diesen Nutzungen seien in den meisten Fällen weniger erfolgversprechend als die direkte Elektrifizierung, so Antoine Vagneur Jones. Im Bausektor könne aufgrund der Verbreitung von Wärmepumpen ein höherer Elektrifizierungsgrad festgestellt werden. Auch Gas spiele eine wichtige Rolle, ob als Synthesegas oder in Form von Wasserstoff. Mit Blick auf die Industrie schließlich geht aus dem Bericht hervor, dass, selbst wenn ein großer Teil dieses Sektors – beispielsweise in der Lebensmittel- oder Papierherstellung – elektrifiziert wird, andere Verfahren weiterhin einen hohen Wärmebedarf aufweisen werden, wie etwa in der Metallindustrie oder der Zementherstellung. In diesen Industriezweigen ist Wasserstoff eine vielversprechende Lösung, hier scheint dieser auch das größte Potenzial aufzuweisen.

Die erwarteten Veränderungen werden sich auch auf den Energiemix der Zukunft auswirken. Unter der Annahme einer massiven Elektrifizierung der Nutzungen geht die Entwicklung von derzeit 11 % elektrischer und knapp 80 % fossiler Energie zu einem umgekehrten Verhältnis im Jahr 2050. Je nach verfügbaren Technologien könnte der Elektrifizierungsgrad bis dahin 50 bis 60 % betragen. Angestrebt wird eine signifikante Reduzierung der Treibhausgasemissionen um 60 bis 68 % bis 2050.

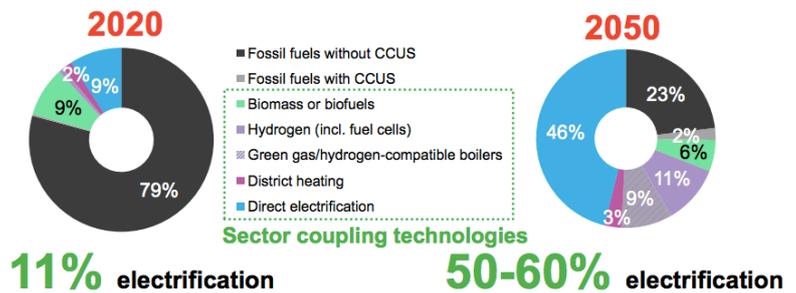


Abbildung 6: Modellierung des Verbrauchs nach Energiequelle in Nordeuropa; Quelle: BloombergNEF

Voraussetzung für das Erreichen derartiger Werte sind ehrgeizige politische Maßnahmen. Im Bausektor wird überlegt, den Anschluss neuer Haushalte an das Gasnetz zu verbieten, wie dies in den Niederlanden getestet wurde, oder die Vermarktung von Ölheizungen zu untersagen. Im Verkehrssektor könnte ein Verkaufsverbot für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor und hohem Schadstoffausstoß in Betracht gezogen werden. Im Industriesektor schließlich wird es auch darum gehen, die Abwanderung von Industrien aus Europa zu verhindern und so zur Reduzierung der CO₂-Emissionen beizutragen. Hier könnten ein gesetzlicher Rahmen und Subventionen für den Ausbau der Wasserstoffbranche Anreize für Investitionen liefern.

Mit Blick auf die Nachfrageseite geht die Analyse von BloombergNEF davon aus, dass im Zuge von Sektorenintegration und Elektrifizierung der Stromverbrauch bis 2050 im Vergleich zu 2018 um 65 % ansteigen wird.

Die nebenstehende Grafik stellt ein von BloombergNEF entwickeltes Modell dar. Es zeigt, dass der Energiemix, mit dem eine derartige Nachfrage gedeckt werden könnte, in einem auf die Sektorenintegration ausgerichteten Szenario die Netzintegration einer viel größeren Menge erneuerbarer Energien erfordert. Damit steigt der Anteil nicht-steuerbarer Energien und damit auch der Flexibilitätsbedarf auf verschiedenen Ebenen. Möglich wären hier eine dynamische Preisgestaltung, die beispielsweise das verzögerte Aufladen von Fahrzeugen fördert, oder eine Laststeuerung der industriellen Nachfrage.

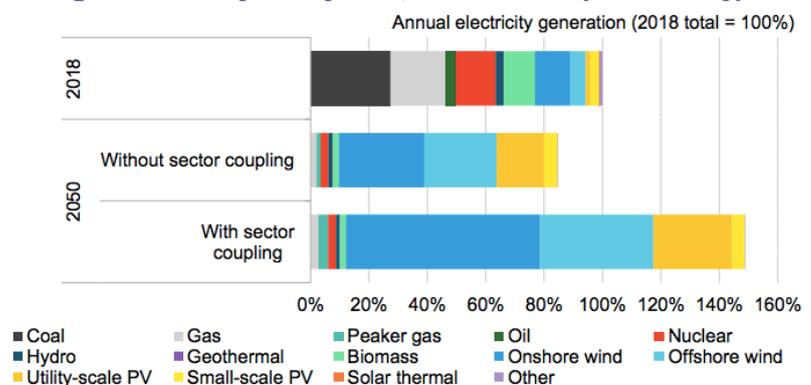


Abbildung 7: Modellierung der Entwicklung des Strommixes in Nordeuropa im Jahr 2050, Quelle: BloombergNEF

Antoine Vagneur-Jones präsentierte schließlich die vier Schlussfolgerungen der Autoren des Berichts:

- Die Elektrifizierung ist sehr vielversprechend und der Energiebedarf für 2050 scheint gedeckt werden zu können.
- Die Sektorenintegration wird einen erheblichen Beitrag zum Erreichen der Klimaziele (Reduzierung von Treibhausgasen, Klimaneutralität) leisten.
- Dies erfordert ein starkes Engagement der Entscheidungsträger, die Umsetzung einer ambitionierten Energiepolitik, sowie die für diesen Wandel erforderlichen Anreize und Subventionen. Auch wenn die Sektorenintegration eine starke Reduzierung der Treibhausgasemissionen bis 2050 um 50 bis 60 % ermöglicht, scheint dies für eine neutrale CO₂-Bilanz nicht auszureichen.



Die Sektorenintegration erscheint somit als unverzichtbar, um die Klimaziele bis 2050 zu erreichen, aber sie ist nur eine Lösung unter vielen und wird allein nicht ausreichen. Förderlich wäre eine Gestaltung der Sektorenintegration auf europäischer Ebene, wobei die Besonderheiten der einzelnen Länder berücksichtigt werden müssten.