



Virtuelles Institut: Strom zu Gas und Wärme

Flexibilitätsoptionen im integrierten
Strom-, Gas- und Wärmesystem

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Landesregierung Nordrhein-Westfalen herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerbern und -werberinnen oder Wahlhelfern und -helferinnen während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt auch für Landtags-, Bundestags- und Kommunalwahlen sowie auch für die Wahl der Mitglieder des Europäischen Parlaments. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbe-

mittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung. Eine Verwendung dieser Druckschrift durch Parteien oder sie unterstützende Organisationen ausschließlich zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder bleibt davon unberührt. Unabhängig davon, wann, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Schrift der Empfängerin oder dem Empfänger zugegangen ist, darf sie auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Liebe Leserin, lieber Leser,

die Energiewende stellt Wirtschaft und Gesellschaft in Deutschland für die nächsten 30 bis 40 Jahre vor große Herausforderungen. Dies gilt besonders für Nordrhein-Westfalen als starkem Industriestandort und Energieland Nr. 1 in Deutschland. Mit dem im Februar 2013 vom Landtag beschlossenen Klimaschutzgesetz hat die Landesregierung diese Herausforderungen angenommen und sich das ehrgeizige Ziel gesetzt, unser Land zur führenden Energie- und Klimaschutzregion in Europa zu entwickeln.

Wissenschaft und Wirtschaft kommen hierbei Schlüsselrollen zu. Sie müssen Technologien entwickeln, die auch unter den Bedingungen der Energiewende den drei Säulen der Energieversorgung gleichermaßen gerecht werden. Dies sind neben der Umweltfreundlichkeit auch die Versorgungssicherheit und die Bezahlbarkeit. Die Sicherstellung dieser Grundbedingungen zu jedem Zeitpunkt der Energiewende stellt alle Beteiligten vor komplexe technologische Herausforderungen, denn es muss eine über die letzten 150 Jahre gewachsene Energieversorgungsstruktur zielgerichtet und in ihren Einzelentscheidungen ggf. auch umkehrbar umgebaut werden.

Nordrhein-Westfalen kann als Energieforschungsland Nr. 1 in Deutschland mit 120 Instituten an 30 Hochschulstandorten sowie 20 außeruniversitären Forschungseinrichtungen wesentliche Beiträge zu diesem Umbau leisten. Aber die Komplexität der Aufgabe macht es notwendig, die vorhandenen Kompetenzen zu bündeln. Das Instrument des Virtuellen Instituts erlaubt es, das Know-how führender nordrhein-westfälischer Forschungseinrichtungen aus den Bereichen Energiewirtschaft, Energieforschung oder auch Gesellschaftswissenschaft zusammenzuführen. So sollen wesentliche Fragestellungen der Energiewende auf inter- und transdisziplinärer Basis beantwortet werden. Dabei werden auch die jeweils betroffenen Akteure im



Sinne der Forschungsstrategie des Landes, Fortschritt NRW, einbezogen.

Das Virtuelle Institut „Strom zu Gas und Wärme“ untersucht die notwendigen Flexibilitätsoptionen im Energieversorgungssystem. Diese Optionen sind eine wichtige Bedingung für die Integration von hohen volatilen Anteilen an erneuerbaren Energien im Stromnetz. Eine denkbare Flexibilitätsoption sind zum Beispiel so genannte „Power-to-Gas“-Verfahren, die es erlauben, „überschüssigen“ Strom in speicherbare, gasförmige Energieträger wie Wasserstoff oder Methan umzuwandeln. Hierzu müssen die Sekundärenergieträgernetze sehr viel stärker als bisher untereinander verbunden und die Umwandlungsprozesse wie beispielsweise Brennstoffzelle und Elektrolyse weiterentwickelt werden. Dabei spielen auch Sicherheitsaspekte eine wichtige Rolle.

Die vorliegende Broschüre stellt Ihnen die beteiligten Forschungsinstitute vor und gibt einen Überblick über die verschiedenen Flexibilitätspfade.

Ich wünsche Ihnen eine anregende Lektüre.


Svenja Schulze

Ministerin für Innovation, Wissenschaft und Forschung
des Landes Nordrhein-Westfalen

Einleitende Worte von Prof. Dr. Klaus Görner und PD Dr. Dietmar Lindenberger

Mit der Energiewende soll eine drastische Reduzierung der CO₂-Emissionen erzielt werden, um so eine Temperaturerhöhung der Erdatmosphäre auf maximal 2 °C zu begrenzen. Ein wichtiger Beitrag hierzu ist die Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energiequellen wie Wind und Sonne an der Stromerzeugung. Diese Erzeugung ist jedoch mit einer großen Volatilität verbunden, d.h. entweder es wird weniger Strom erzeugt als benötigt oder eben mehr. Vor allem den Überschussstrom sinnvoll zu „verwerten“ ist eine der großen Herausforderungen der Zukunft, denn eine direkte Speicherung der elektrischen Energie (des Stroms) in Batterien ist aus heutiger Sicht weder wirtschaftlich, noch stehen große Speicherkapazitäten zur Verfügung.

„Strom zu Gas und Wärme“ ist hierfür eine mögliche Antwort. Strom kann entweder direkt zur Wärmeerzeugung verwendet werden oder es wird mit Strom Gas produziert. Es gibt hierzu verschiedene Prozesspfade. Der Überschussstrom kann durch Power-to-Heat-(PtH-) Technologien wie den klassischen Heizstab oder die elektrische Wärmepumpe zur Erzeugung von Heiz- oder Prozesswärme genutzt werden. Die Wärme steht dann direkt zur Verfügung oder kann gespeichert werden. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, diesen Strom über einen Elektrolyseprozess zu Wasserstoff umzuwandeln. Dieser Wasserstoff (H₂) steht dann für eine direkte energetische Nutzung (Verbrennung zur Strom- und Wärmeerzeugung oder für die mobilen Anwendungen, z. B. Brennstoffzellen-Fahrzeuge) zur Verfügung oder er kann gespeichert, über größere Distanzen transportiert und später an einem anderen Ort genutzt werden. Hierzu würde H₂ in geringen Anteilen dem Erdgas zugemischt und über das existente Erdgasnetz verteilt werden. Dieser technologische Prozess wird als Power-to-Gas (PtG) bezeichnet. Der Wasserstoff kann aber auch zu Methan umgewandelt werden und als dem Erdgas gleichwertiger Energieträger Einsatz finden. Wenn der Wasserstoff oder

das Methan zu Kraftstoffen (Power-to-Fuels, PtF) oder Chemikalien (Power-to-Chemicals, PtC) umgewandelt wird, entsteht dadurch eine sehr tiefe Wertschöpfungskette und es kann ein großes wirtschaftliches Potenzial erschlossen werden.

Um die Energiespeicher-Technologien technisch und wirtschaftlich weiterzuentwickeln, muss also eine große Anzahl an Nutzungspfaden analysiert und bewertet werden. Hierzu ist es notwendig, eine Vielzahl von Fachgebieten für eine interdisziplinäre Zusammenarbeit von der Grundlagenforschung bis zur Anwendungstechnik zusammenzubringen.

Das Virtuelle Institut „Strom zu Gas und Wärme“ soll hierzu die in NRW vorhandenen Kompetenzen identifizieren, zusammenbringen und bündeln. Mit dem Begriff „virtuell“ ist verbunden, dass keine Strukturen – personeller oder materieller Natur – aufgebaut werden, sondern dass die in NRW vorhandenen themenspezifisch effizient zusammenarbeiten.

Für den Ausbau und die Stabilisierung unserer Energienetze – Strom, Gas, Wärme – könnte der PtG-Technologie in den nächsten Dekaden eine systemrelevante Bedeutung zukommen. Die Potenziale einzuschätzen und weiterzuentwickeln setzt aber noch erhebliche Anstrengungen und Arbeit voraus, die im Virtuellen Institut geleistet werden soll.



Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus Görner



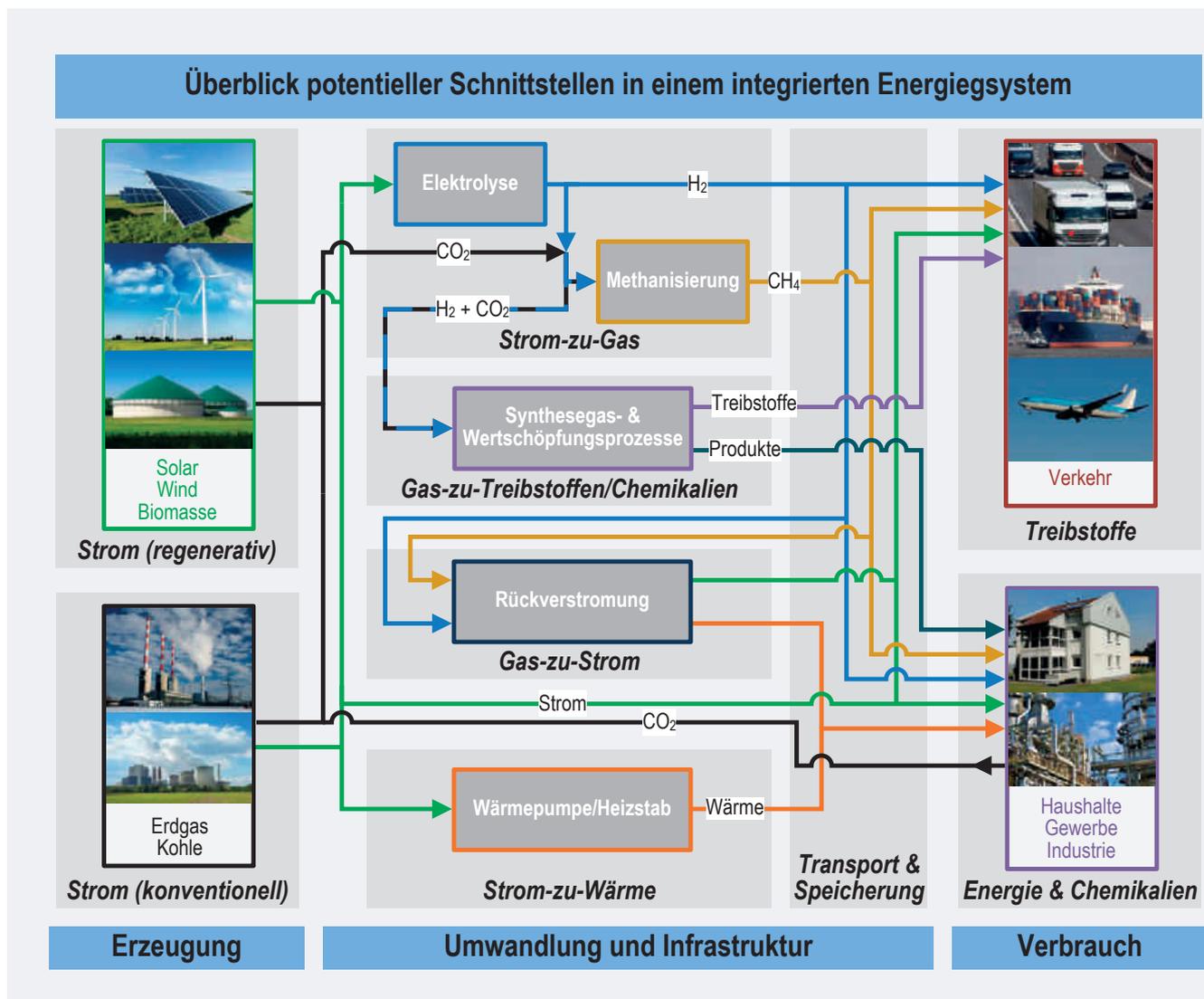
PD Dr. Dietmar Lindenberger

I. Flexibilitätsoptionen im Strom-, Gas- und Wärmesystem

Eine der großen gesellschaftlichen Herausforderungen ist die Transformation des bestehenden fossil dominierten Energieversorgungssystems hin zu einer klimafreundlichen, zugleich sicheren und bezahlbaren Energieversorgung. Die sogenannte Energiewende und der daraus folgende Ausbau der fluktuierenden erneuerbaren Energien gemäß den Zielen von Bund und Land NRW werden mittelfristig dazu führen, dass das zeitliche und örtliche Stromangebot nicht zur Nachfrage passt. Dementsprechend muss das zukünftige Energieversorgungssystem deutlich flexibler ausgestaltet werden.

Die Hauptziele liegen dabei in der Aufnahme der erzeugten Strommengen, der bedarfsgerechten Abgabe an Verbraucher und der möglichst technologieoffenen Bereitstellung der Energie.

Neben dem Netzausbau auf allen Ebenen des Stromnetzes muss es parallele Speichermöglichkeiten geben, da der realistische Ausbau nicht allein die Aufnahme des zukünftig anfallenden Überschussstroms gewährleisten kann. Darüber hinaus werden weitere Maßnahmen wie z. B. die Flexibilisierung des bestehenden Kraftwerksparks, Lastverschiebung durch Energiemanagementoptionen (DSM = Demand-Side-Management) und ein intelligenter Ausbau der Energienetze, so genannte Smart Grids, die Energiewende in der Zukunft flankieren. Je nach Wirtschaftlichkeit und technischer Anforderung bzw. Notwendigkeit werden diese Maßnahmen zeitlich aufeinander folgen oder parallel ablaufen. Dies hängt von der Art und Menge der Stromerzeugung, dem Standort bzw. der lokalen Infrastruktur und der Marktverfügbarkeit der einzelnen Technologien ab.



Die Energienetze der Zukunft müssen dabei immer smarter, schneller und vernetzter reagieren, um die komplexen Anforderungen an die Aufnahme regenerativer Energien zu erfüllen. Dafür werden zukünftig Konvergenzen mit sinnvollen Schnittstellen zwischen Strom-, Gas- und Wärmenetzen entstehen, um eine Optimierung zwischen Stromangebot und -nachfrage zu erreichen.

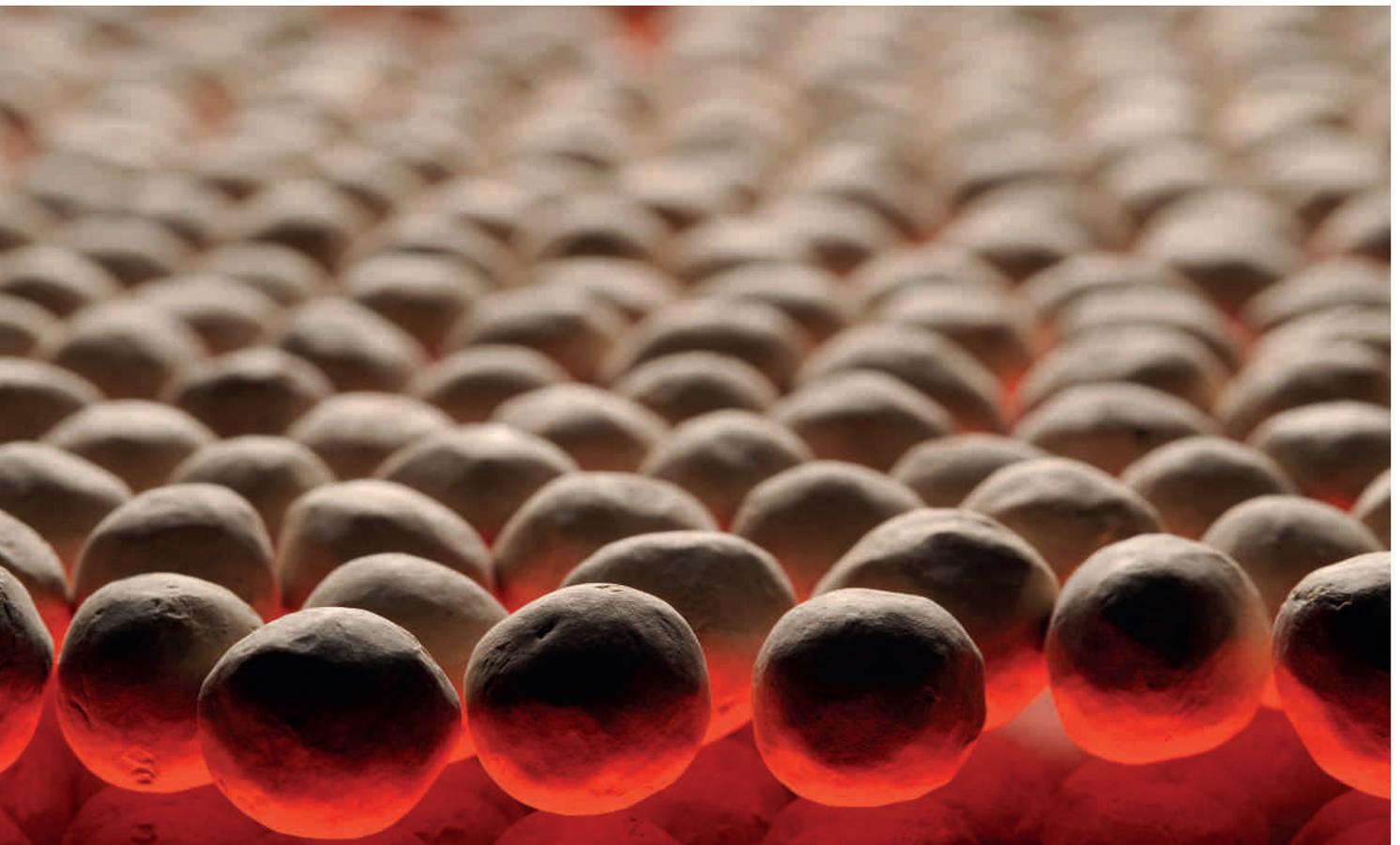
Eine Technologie zur Erreichung einer solchen Schnittstelle und gleichzeitiger Speichermöglichkeit von Strom, ist die Erzeugung des chemischen Energieträgers Wasserstoff aus Strom (Power-to-Gas, (PtG)). Durch die anschließende Einspeisung in ein Gasnetz – entweder als Wasserstoff oder durch Methanisierung weiterverarbeitetes SNG (Substitut Natural Gas) – bietet dies technologieübergreifend die Möglichkeit, Netze zu verbinden und etablierte Systeme zu koppeln. So können Flexibilität und optimales Energiemanagement gewährleisten, dass der Ausbau der Stromnetze reduziert werden kann.

Dieser Prozess ist eine der wenigen Optionen, die eine mittel- bis langfristige Speicherung von Strom in großen Mengen erlauben und wird als ein möglicher Grundpfeiler des künftigen Energiesystems eingeschätzt. Nicht minder bedeutsam sind die Optionen „Strom zu Treibstoff bzw.

Chemikalien“ (Power-to-Fuel (PtF)) mit Anknüpfung an den vergleichsweise hochpreisigen Treibstoff- und Industriesektor, sowie – eingeschränkt – die Erzeugung und Nutzung von Wärmeenergie aus Stromüberschüssen („Strom zu Wärme“, Power-to-Heat, (PtH)).

Für NRW mit seinem hohen Anteil industrieller Wertschöpfung ist dieses Thema sehr wichtig. Die bereits vorhandene Infrastruktur (z. B. eine Wasserstoff-Pipeline, große Industrieparks) erlaubt eine vielfältige Nutzung des aus überschüssigem Strom erzeugten Gases nicht nur für die Rückverstromung sondern auch für stoffliche Anwendungen (z. B. Mobilitätsanwendungen, Nutzung in der chem. Industrie oder der Stahlindustrie). Die intelligente Flexibilisierung des Energieversorgungssystems mit all seinen Facetten kann deshalb helfen, den Industriestandort NRW zu sichern und gleichzeitig klimafreundlicher und ressourceneffizienter zu gestalten. Es ist jedoch noch unklar, welche der möglichen Pfade technologisch und wirtschaftlich erfolgversprechend sind. Hier besteht dringender Forschungsbedarf.

Die Abbildung gibt einen Überblick möglicher Prozesspfade und zeigt die Schnittstellen des technologischen Gesamtsystems.



II. Bündelung von Kompetenzen – „Virtuelles Institut – Strom zu Gas und Wärme“

Die Regierung des Landes Nordrhein-Westfalen unterstützt mit der Etablierung neuer Forschungskoooperationen den Fortschritt bei den Themen der Energiewende. Für verschiedene Themencluster sollen „Virtuelle Institute“ gegründet werden, die schon vorhandene Kompetenzen bündeln, die gute Infrastruktur in NRW nutzen und wichtige Aufbau- bzw. Vorbereitungsarbeiten mit einem erkennbaren Mehrwert für größere strategische Forschungsvorhaben leisten.

Zu diesem Zweck wurde das „Virtuelle Institut – Strom zu Gas und Wärme“ in Kooperation zwischen dem Ministerium für Innovation, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen und dem Cluster EnergieForschung.NRW initiiert. Als Basis der strategischen Ausrichtung der Forschungsaktivitäten des Virtuellen Instituts sollen in einem ersten Schritt die vorhandene Struktur der Branche, Netzwerke und Forschungslandschaft recherchiert und die Defizite hinsichtlich der zukünftigen Herausforderungen aufgezeigt werden.

Entwicklung einer Forschungsagenda vor dem Hintergrund der spezifischen Rahmenbedingungen und Herausforderungen für NRW

Angesichts der vielfältigen Möglichkeiten der Wasserstofftechnologien ist es nun die Aufgabe der Energiewissenschaften zu identifizieren, welche Systempfade (direkte Nutzung der überschüssigen Elektrizität als Wärme, Umwandlung zu Wasserstoff und dessen direkte Nutzung, weitere Umwandlung zu SNG, stoffliche Nutzung, Rückverstromung, DSM etc.) technologisch und wirtschaftlich erfolgversprechend sind.

Um die breit gefächerten Themen der einzelnen Forschungszweige im Virtuellen Institut wissenschaftlich abzudecken, haben sich verschiedene Institute aus NRW

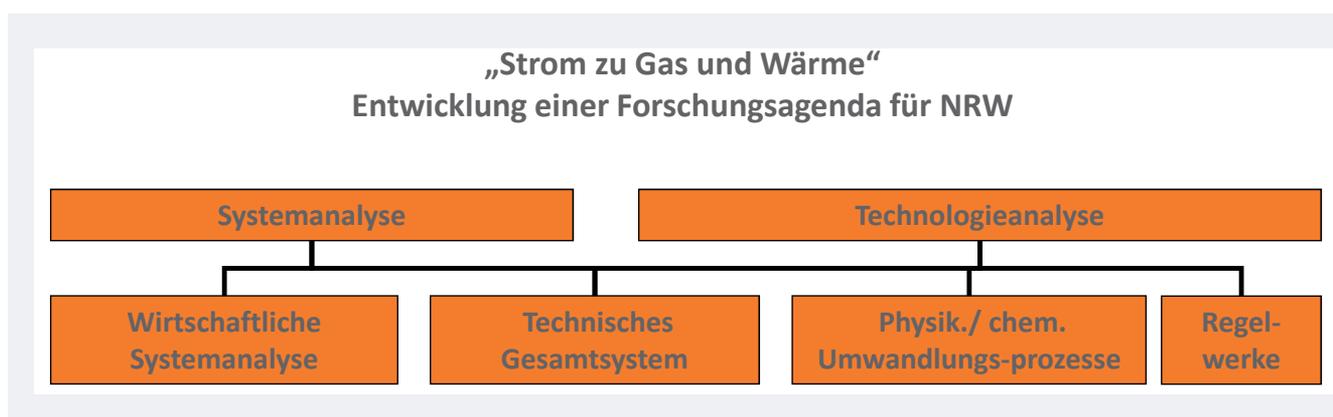
zusammen gefunden. Die Koordination übernehmen dabei das Gas- und Wärme-Institut Essen e.V. (GWI) und das Energiewirtschaftliche Institut an der Universität zu Köln (ewi). Weitere Partner sind das Forschungszentrum Jülich (FZJ) mit den Arbeitsgruppen IEK-3 und IEK-STE, das Wuppertal Institut (WI), das Zentrum für Brennstoffzellentechnik (ZBT), Fraunhofer UMSICHT und der Lehrstuhl „Technische Chemie“ der Ruhr-Universität Bochum (RUB).

Übergeordnetes Ziel der interdisziplinären Zusammenarbeit ist die Entwicklung einer Forschungsagenda für das Virtuelle Institut vor dem Hintergrund der spezifischen Rahmenbedingungen und Herausforderungen für Nordrhein-Westfalen. Die Forschungsarbeiten des Virtuellen Instituts „Strom zu Gas und Wärme“ werden mit Mitteln des Ministeriums für Innovation, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen gefördert und durch den Projektträger ETN betreut.

Potenzielle Pfade der Energieflexibilität in NRW

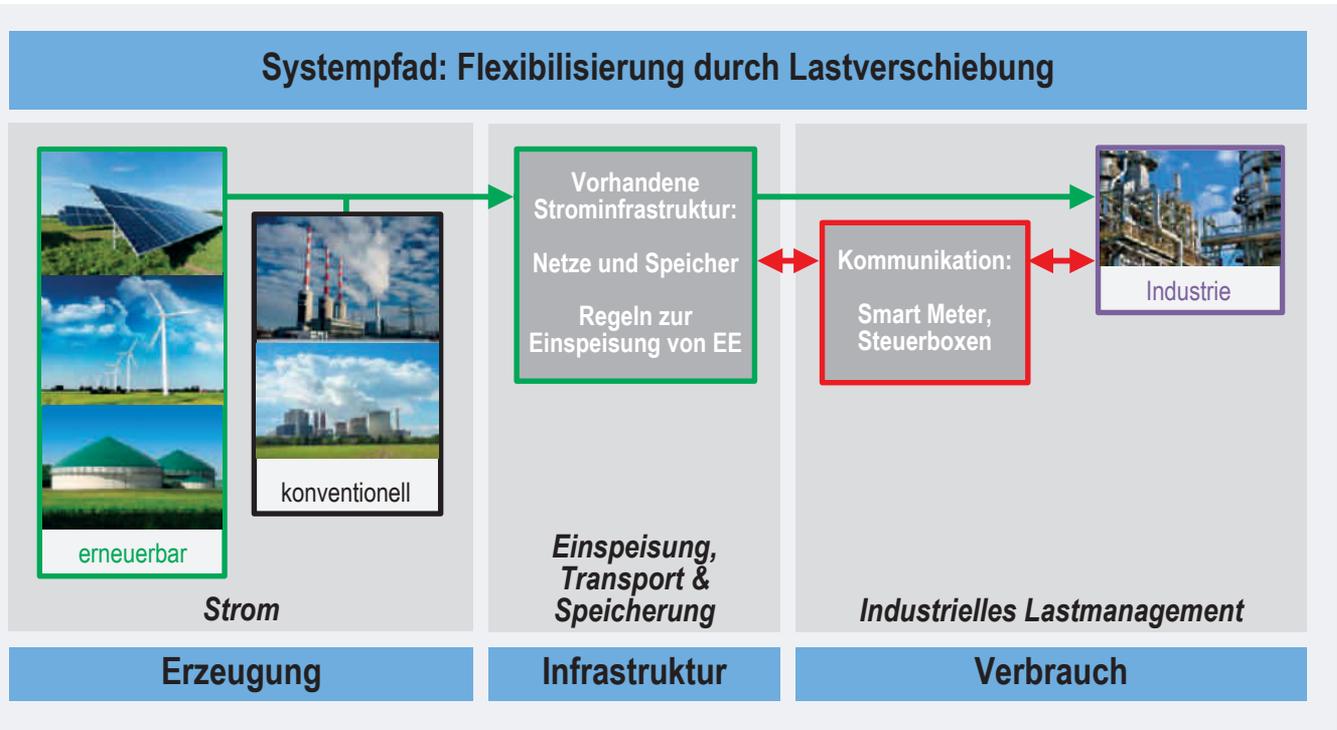
Der steigende Anteil an fluktuierender, erneuerbarer Stromerzeugung, der bis hin zur temporären Überproduktion führt, wird in zunehmendem Maße eine Flexibilisierung des konditionierungs- und verbraucherseitigen Strommarktes erfordern. Dies kann durch eine Flexibilisierung der bestehenden Verbraucher, durch Einrichtung großtechnischer Speichersysteme oder durch Kopplung mit den anderen Energiesektoren – z. B. Wärme, Verkehr oder chemische Industrie – erfolgen.

Die Broschüre dokumentiert ausgewählte Einzeltechnologien und beleuchtet mögliche Systempfade, die unterschiedliche Schnittstellen in der Energieinfrastruktur nutzen. Nachfolgend sind einige dieser Systempfade beispielhaft dargestellt.



III. Systempfade

Flexibilisierung durch Lastverschiebung in NRW



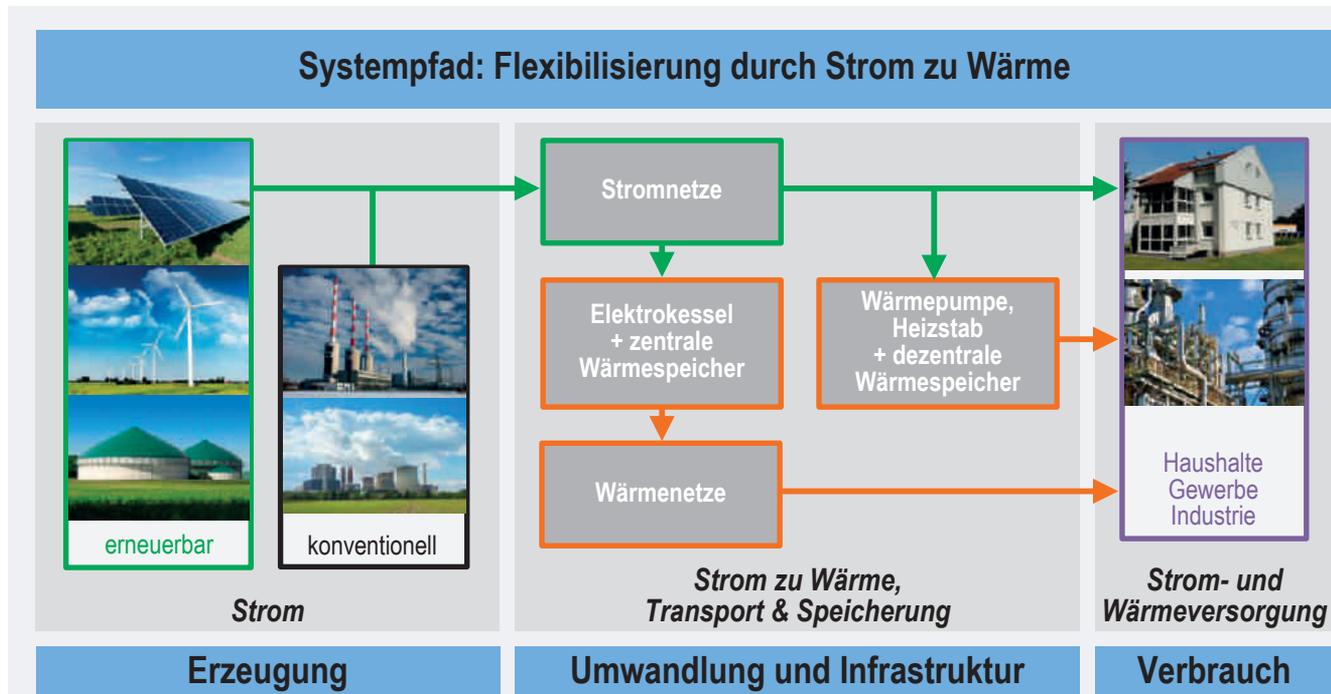
Lastmanagement (DSM - Demand-Side-Management) wird verstanden als aktive Steuerung des zeitlichen Verlaufs des elektrischen Energieverbrauchs und stellt eine effiziente Option dar, um Flexibilität bereitzustellen. Durch zeitliche Verschiebung kann dabei die Nachfrage in Zeiten mit hohen Strompreisen reduziert und bei niedrigen Strompreisen erhöht werden. DSM hat als Flexibilitätsoption dieselben positiven Effekte wie die Energiespeicher und kann deshalb als funktionales Äquivalent zu Speichern betrachtet werden. Da aber bei der Verschiebung der Nachfrage keine Energieumwandlung stattfindet, wie z. B. bei Pumpspeicherkraftwerken die Umwandlung in mechanische bzw. potenzielle Energie, und somit keine oder nur geringe Energieverluste auftreten, ist diese Flexibilitätsoption deutlich effizienter. Für den Industriesektor spielt das Lastmanagement aufgrund der vielen elektrizitätsintensiven Abläufe und den entsprechend hohen Energiekosten eine bedeutende Rolle. Da viele Industrieprozesse heute automatisiert sind, ist ein aktives Demand-Side-Management technisch mit vergleichsweise einfachen Mitteln möglich.

Der Stromverbrauch Nordrhein-Westfalens ist mit ca. 27 % des bundesweiten Stromverbrauchs im Vergleich zu anderen Bundesländern hoch. Etwa die Hälfte dieses Stroms wird von der nordrhein-westfälischen Industrie

verbraucht. Dabei stellen einige der stromintensiven Industrieprozesse, wie die Aluminium-Elektrolyse, die Chlor-Elektrolyse, die Holzstoffherstellung und die Metallerzeugung (Lichtbogenöfen) relevante Faktoren für den Wirtschaftsraum dar. In diesen Industriesektoren wird Lastmanagement bereits seit Langem betrieben, da aufgrund des hohen simultanen Leistungsänderungspotenzials Lastmanagement häufig rentabel ist. Potenzial bieten hier vor allem Anwendungen mit großer Leistungsaufnahme und unterbrech- oder verschiebbarem Leistungseinsatz.

Lastmanagement stellt eine effiziente Flexibilitätsoption dar, deren Wirtschaftlichkeit von Perioden mit niedrigen Strompreisen abhängt und in Konkurrenz zu den Strom-zu-Wärme/Gas/Treibstoff/Chemikalien Prozessen steht.

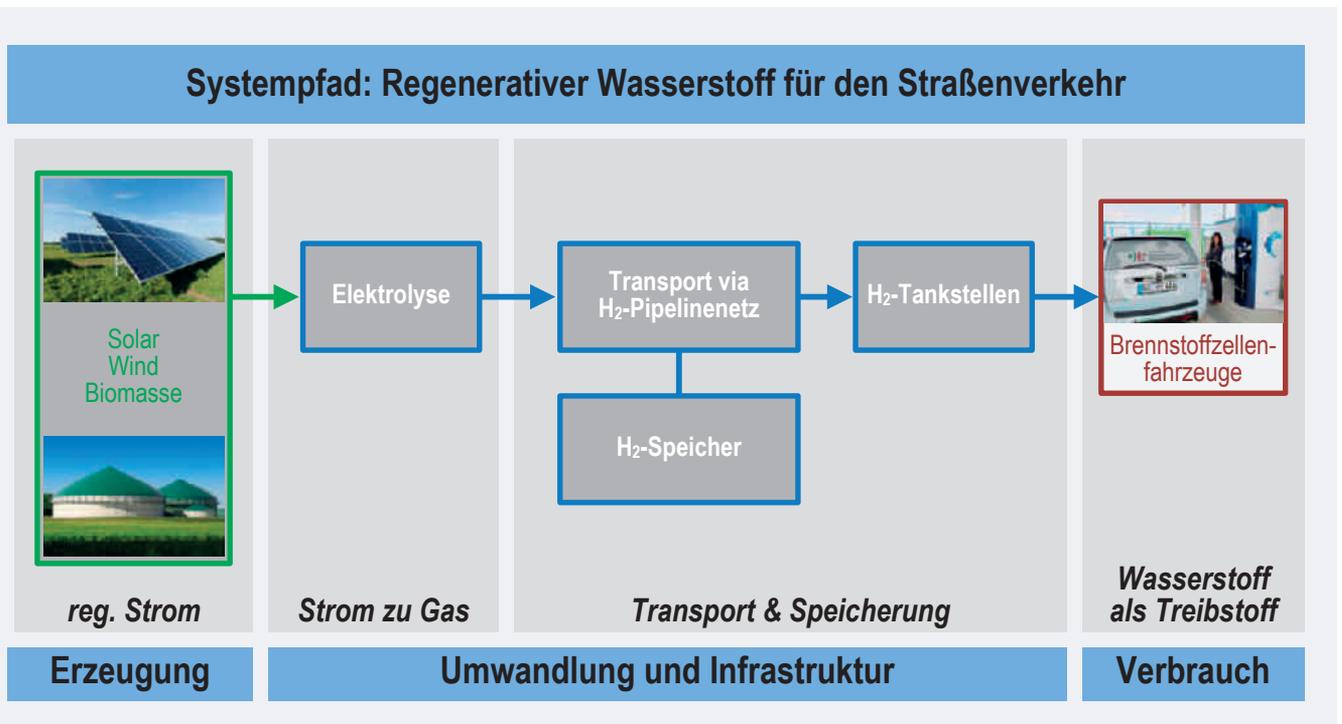
Flexibilität durch Strom zu Wärme



Die Umwandlung von Strom zu Wärme ist vor dem Hintergrund unterschiedlicher Versorgungsaufgaben zu sehen. Die zunehmende Stromproduktion auf der Basis fluktuierender Energien stellt thermische Kraftwerke vor steigende Flexibilitätsanforderungen. Dies stellt insbesondere für große KWK-Anlagen eine besondere Herausforderung dar, dass sie in einem bestimmten Verhältnis Wärme und Strom produzieren. Die Einbindung von Wärmespeichern in Fern- und Nahwärmesystemen ermöglicht eine zeitliche Entkopplung von der Wärmenachfrage und erhöht somit eine flexiblere Fahrweise von KWK Anlagen. So besteht zum Beispiel die Möglichkeit in Zeiten hoher Strompreise die KWK Stromerzeugung durch eine Reduktion der Wärmeauskopplung zu erhöhen oder im Fall niedriger Strompreise die KWK Anlage in Teillast zu fahren oder auch abzuschalten. Aufgrund des stärker ansteigenden Anteils volatiler Stromerzeugung ist davon auszugehen, dass die Häufigkeit der Situationen, in denen die Stromerzeugung die Nachfrage übersteigt, deutlich zunehmen wird. Als Alternative zur Abregelung werden derzeit technische Möglichkeiten analysiert, überschüssige Strommengen zu nutzen bzw. sogenannte negative Residuallast anzubieten. Eine Möglichkeit besteht darin, die Stromüberschüsse in Wärme umzuwandeln und für die Wärmeversorgung zu nutzen (Power-to-Heat). Hierdurch könnte zusätzlich ein Beitrag zur Netzstabilität erbracht und zudem fossil er-

zeugte Heizwärme substituiert werden. Insbesondere für die Nah- und Fernwärmeversorgung werden erhebliche Potenziale gesehen. Unter den heutigen Randbedingungen und den damit korrelierenden Versorgungsaufgaben wird dieses Konzept als eine der kostengünstigsten Optionen eingeschätzt. Technische Voraussetzung für größere Fern- und Nahwärmeversorgungssysteme sind Elektrokessel, mit denen der Strom direkt in Wärme umgewandelt wird sowie Wärmespeicher, mit denen eine Pufferung bzw. Speicherung der erzeugten Wärme möglich ist. Erste Anlagen befinden sich derzeit im Probetrieb. Auf längere Sicht wird auch eine dezentrale Nutzungsmöglichkeit diskutiert, indem innovative Heizungssysteme wie Mikro-KWK Anlagen oder Wärmepumpen um Heizstäbe ergänzt werden, mit denen auch in Privathaushalten überschüssiger Strom in Wärme umgewandelt werden kann.

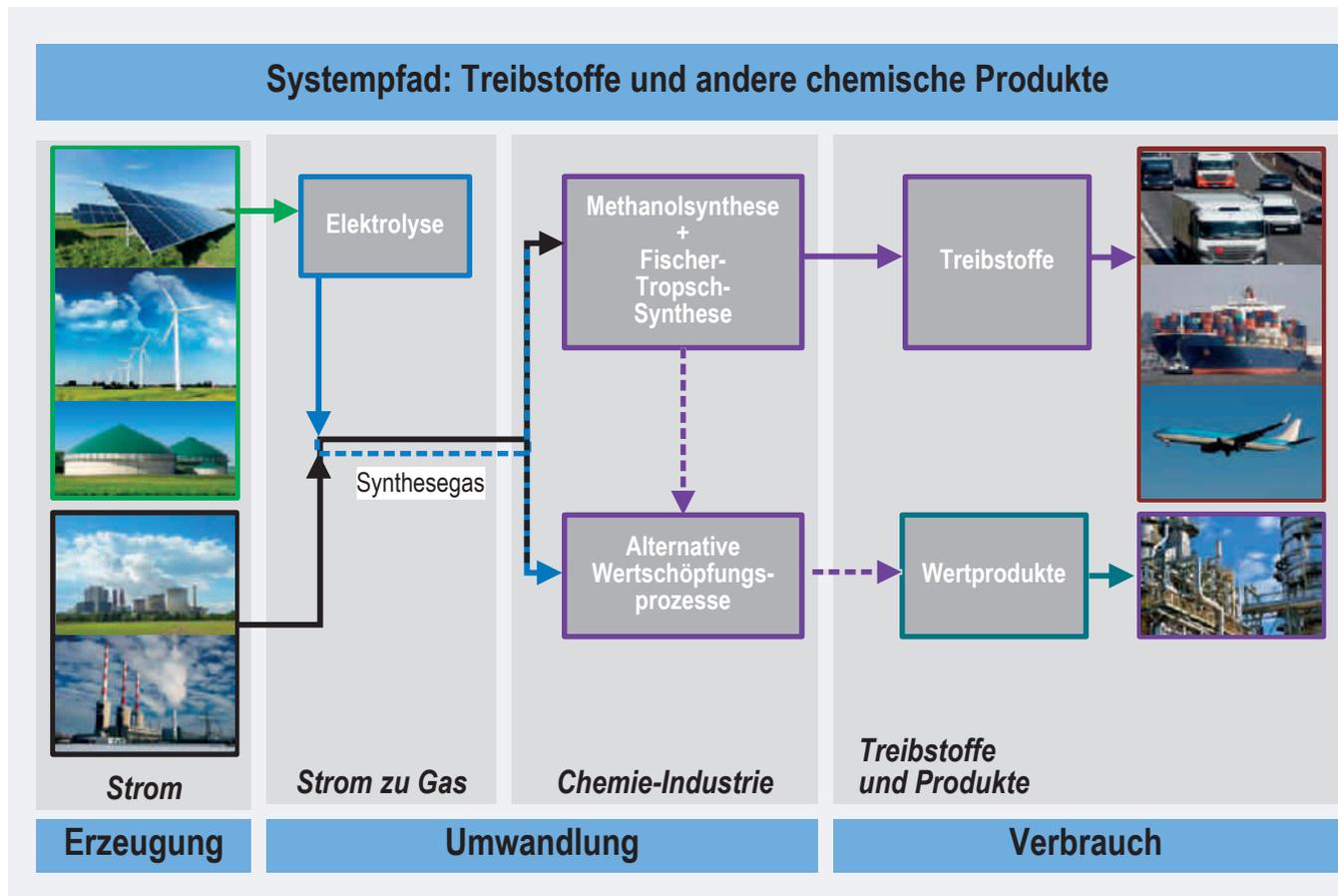
Regenerativer Wasserstoff für den Straßenverkehr



Die Ziele der Bundesregierung zur Reduzierung von Treibhausgasen (THG) bei der Energiebereitstellung erfordern neben der Umstellung auf erneuerbare Stromproduktion auch eine Effizienzsteigerung und CO₂-Reduktion in den anderen Energiesektoren. Letztere werden im Rahmen der fortschreitenden Entwicklung der Elektromobilität angesprochen, jedoch bleiben batteriebetriebene Fahrzeuge aufgrund der beschränkten Reichweite und langen Ladedauer kein gleichwertiger Ersatz zu konventionellen, diesel- und benzinbetriebenen Autos. Genau an diesem Punkt bieten die kurz vor der Markteinführung stehenden Brennstoffzellenfahrzeuge vorteilhafte Synergieeffekte: Zum einen sind sie mit Reichweiten über 400 km und Betankungsdauern von rund drei Minuten eine echte Alternative, zum anderen kann der dadurch benötigte Treibstoff Wasserstoff über erneuerbare Energien nahezu THG-frei hergestellt werden und konventionelle Mineralölbasierte Kraftstoffe substituieren. Die gute großtechnische Speicherbarkeit des Wasserstoffs ermöglicht dabei zusätzlich eine Pufferung der fluktuierend einspeisenden, volatilen, erneuerbaren Stromquellen. Außerdem erlaubt der im Vergleich zu konventionellen Verbrennungsmotoren hohe Wirkungsgrad der Brennstoffzellen einen spezifischen Erlös, der weitgehend die Kosten der H₂-Bereitstellung decken könnte.

Die H₂-Erzeugung erfolgt dazu mittels der Elektrolyse, welche Strom aus fluktuierenden erneuerbaren Energien, wie Photovoltaik und Windenergieanlagen, einsetzt, um Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff zu spalten. Der Wasserstoff wird anschließend in ein flächendeckendes eigenständiges Wasserstoff-Pipelinennetz eingespeist, um so möglichst kostengünstig verteilt werden zu können. Ebenfalls an das Pipelinennetz angeschlossen sind unterirdische Salzkavernen, die eine kostengünstige und sichere Möglichkeit bieten, große Mengen an komprimiertem Wasserstoff über lange Zeiten zu speichern, so wie es mit Erdgas bereits langjährig praktiziert wird. Dadurch können etwaige Schwankungen sowohl in der Produktion durch erneuerbare Energien als auch im Verbrauch ausgeglichen werden. Der Wasserstoff wird über das Pipelinennetz an die daran angeschlossenen Tankstellen geliefert, so dass dort Brennstoffzellenfahrzeuge analog zum bisherigen System betankt werden können. Obwohl die noch zu errichtende H₂-Infrastruktur auf dem Wege zu einem THG-freien, effizienten wasserstoffbasierten Verkehr die größte Hürde darstellt, sind die Einzelelemente bereits technisch etabliert, wie die bestehende H₂-Pipeline im Rhein-Ruhr-Gebiet und die H₂-Tankstelle von Air Liquide in Düsseldorf zeigen.

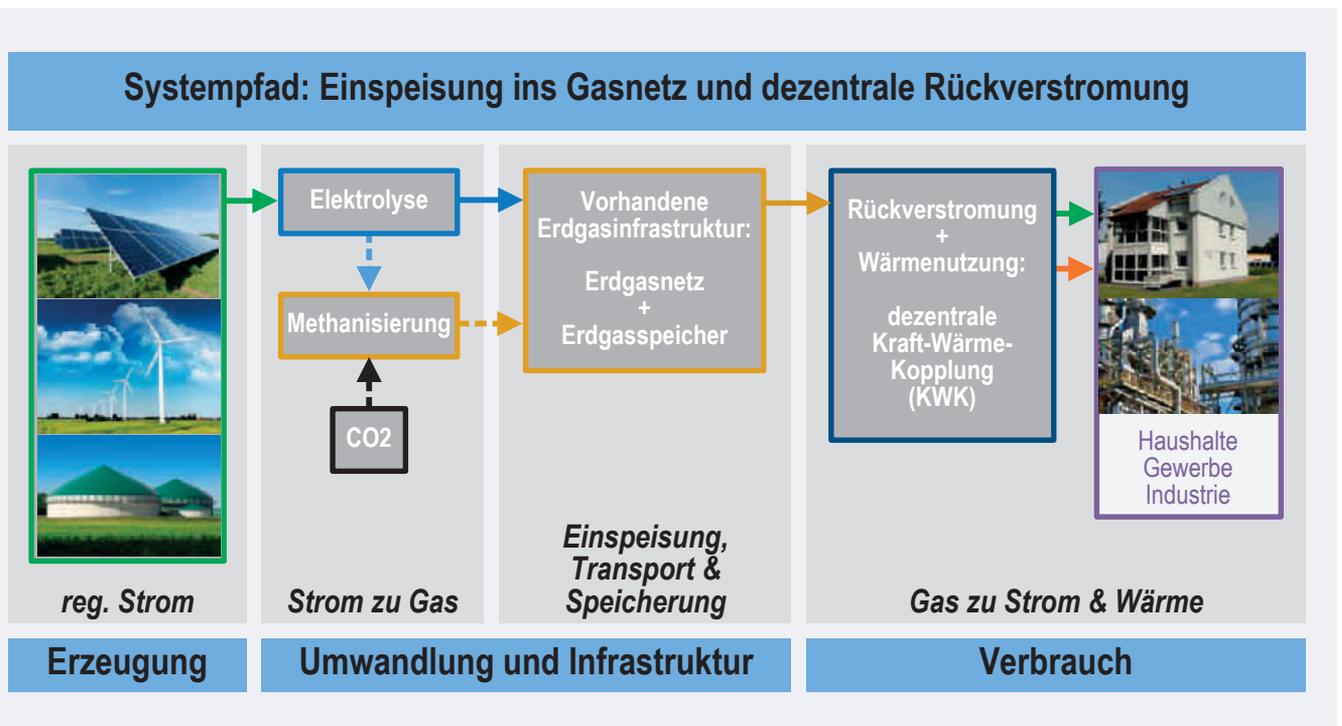
Treibstoffe und andere chemische Produkte für die Industrie



Ein wichtiges Kriterium für eine erfolgreiche Energiewende ist die Möglichkeit, den erzeugten Strom aus erneuerbaren Energien, welcher nicht von Verbrauchern abgenommen wird, effizient zu speichern bzw. in anderen Sektoren nutzbar zu machen. Im Allgemeinen wird hier die elektrolytische Erzeugung von Wasserstoff und gegebenenfalls dessen anschließende Umsetzung mit CO₂ zu Methan als synthetisches Erdgas diskutiert. Neben dieser Power-to-Gas-Prozesskette könnte aber auch der Umsetzung des elektrolytisch erzeugten Wasserstoffs mit Kohlendioxid zu Treibstoffen eine entscheidende Rolle zukommen. Hierzu kann auf bekannte großtechnische Verfahren wie der Methanolsynthese kombiniert mit dem Methanol-to-Gasoline-Prozess oder der Fischer-Tropsch-Synthese zurück gegriffen werden. Über diesen Weg können fossile Rohstoffe teilweise substituiert und regenerative Energiequellen auch für den Verkehrs- und Industriesektor erschlossen werden. Durch die Verwendung von CO₂ als Rohstoff für die Syntheseprozesse kann – je nach der Langlebigkeit des Endproduktes und den substituierten Ausgangsprodukten und ihren Herstellungspfaden – der Kohlenstoffkreislauf geschlossen und

ein wichtiger Beitrag zum Klimaschutz geleistet werden. Aufgrund der begrenzten direkten Einsatzmöglichkeiten regenerativer Energien in der Industrie spielt für eine erfolgreiche Energiewende die Einbindung von derzeit nahezu ausschließlich aus fossilen Rohstoffen erzeugten Wertprodukten wie z. B. Kunststoffen eine wichtige Rolle. Gerade für NRW mit der regional stark vertretenen Kunststoffindustrie bietet sich die Gelegenheit, klimaneutrale Wertschöpfungsprozesse in die vorhandene Infrastruktur zu integrieren, indem z. B. regenerativ erzeugter Wasserstoff mit CO₂ zu Ausgangsprodukten (Monomeren) für die Kunststoffproduktion umgesetzt wird. Für die Klimagesamtbilanz ist die energetische Auslegung solcher Prozesse unter Berücksichtigung der geringen Reaktionsfähigkeit des CO₂ von besonderer Bedeutung. Hierdurch ergeben sich spezielle Anforderungen an die Identifikation geeigneter Synthesepfade. Ferner ist hierfür die Entwicklung robuster Katalysatoren für die Verwendung von verunreinigtem CO₂ (z. B. aus Rauchgasen von Kraftwerken) erforderlich.

Einspeisung ins Gasnetz und dezentrale Rückverstromung



Eine seit dem Ursprung des Power-to-Gas-Gedankens diskutierte Option der Wasserstoffnutzung ist die Einspeisung in das vorhandene Erdgasnetz zur dezentralen Strom- und Wärmeerzeugung. Dieser Systempfad verzichtet auf den Aufbau oder Ausbau einer reinen Wasserstoffinfrastruktur und erschließt stattdessen das weitreichende und flächendeckende Erdgasnetz für sich. Die bestehenden Leitungen und technischen Einrichtungen vertragen eine gewisse Menge Wasserstoff als Zusatzgas gut, und auch die geltenden Normen und Regeln entwickeln sich zurzeit in Richtung etwas höherer Konzentrations-Obergrenzen. Diese liegen im Bereich weniger Volumen-Prozent. Zusätzlich muss Rücksicht auf lokale Besonderheiten wie z. B. Erdgastankstellen oder sensible Industrieprozesse genommen werden. Angesichts der großen Kapazität des Erdgasnetzes bietet es dennoch Speicherplatz für eine erhebliche Marktdurchdringung von Elektrolyseanlagen. Letztere können erneuerbarem Strom zu einer besseren Integration in das Energiesystem verhelfen, da sie bei geeigneter Auslegung auch in Überlast betrieben werden können, wenn z. B. für einige Stunden starker Wind aufkommt.

Die Rückverstromung kann dezentral in den privaten Haushalten, dem Gewerbe oder der Industrie geschehen. Idealerweise erfolgt dies unter gleichzeitiger Nutzung der dabei erzeugten Wärme, z. B. mit Kraft-Wärme-Kopplungs-Technologien. Sie erlauben die Eigenversorgung mit Strom und Wärme zugleich und vermeiden dabei die hohen Wirkungsgradverluste, die in konventionellen Kraftwerken und beim Transport durch die Stromnetze anfallen würden – ein erheblicher Gewinn für die Umwelt.

IV. Forschungscluster, Netzwerke und Partner

Cluster EnergieForschung.NRW

Der Cluster EnergieForschung.NRW (CEF.NRW) arbeitet im Auftrag des Ministeriums für Innovation, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen an der Umsetzung der energiewirtschaftlichen und klimapolitischen Zielvorgaben der Landesregierung im Bereich der Energieforschung. CEF.NRW stellt das komplexe Energieversorgungssystem als Ganzes in den Fokus seiner inter- und transdisziplinären Aktivitäten. Aufbauend auf den für die Energiewende relevanten Prozessen der Primärenergiekonversion im erneuerbaren und fossilen Bereich werden die Flexibilitätsoptionen im Strom-, Gas- und Wärmenetz sowie die entsprechenden Speichertechnologien als Tätigkeitsfeld gesehen.

Vor diesem Hintergrund wird CEF.NRW die Forschungsarbeiten des Virtuellen Instituts „Strom zu Gas und Wärme“ in den nächsten Jahren mit großem Engagement unterstützen und auf diese Weise einen Beitrag zur erfolgreichen Umsetzung der Energiewende in Nordrhein-Westfalen leisten. Somit möchte der Cluster dazu beitragen, entsprechende Impulse für die nationale wie internationale Transformation in Richtung eines nachhaltigen Energieversorgungssystems beizusteuern.

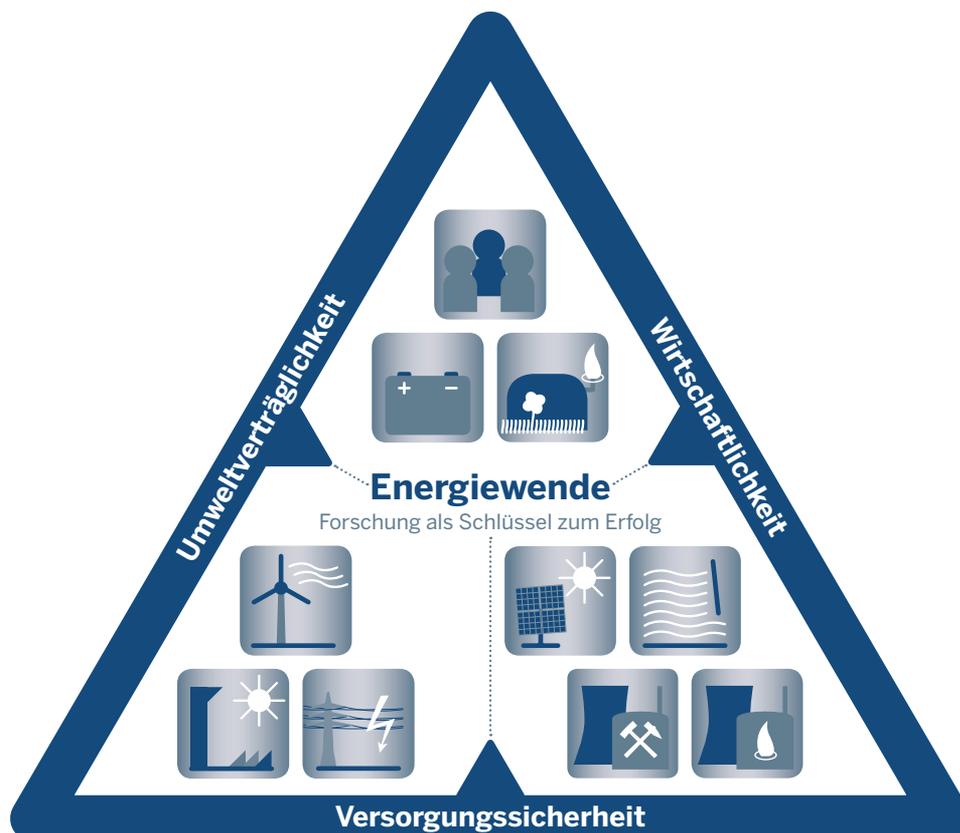
Neben der rein technologischen Transformation stellt die Energiewende eine neuartige Herausforderung für die Gestaltung von Partizipationsprozessen der Öffentlichkeit dar. Ihn gilt es wissenschaftlich zu begleiten und spezifische Lösungsstrategien zu entwickeln. Auch hier sieht der Cluster Handlungsbedarf und zielt darauf ab, dass technologische und sozioökonomische Erkenntnisfortschritte schneller als bisher ihren Weg in die Anwendung finden.

www.cef.nrw.de



„Die Konvergenz von Strom-, Gas- und Wärmeversorgung ist ein wesentlicher Baustein für eine erfolgreiche Energiewende.“

Dr. Frank-Michael Baumann
Clustermanager CEF.NRW





Netzwerk Brennstoffzelle und Wasserstoff NRW

Das Netzwerk Brennstoffzelle und Wasserstoff Nordrhein-Westfalen mit Sitz in der Landeshauptstadt Düsseldorf wurde im Jahre 2000 gegründet. Das Netzwerk arbeitet im Auftrag der Landesregierung von Nordrhein-Westfalen und ist Bestandteil des „Clusters EnergieRegion.NRW“ im Management der EnergieAgentur.NRW. In den insgesamt neun Netzwerken dieses Clusters werden die Themen Brennstoffzelle und Wasserstoff, Kraftwerkstechnik, Speicher und Netze, Biomasse, energieeffizientes und solares Bauen, Geothermie, Kraftstoffe und Antriebe der Zukunft, Photovoltaik sowie Windenergie behandelt. Die Ziele des Netzwerks Brennstoffzelle und Wasserstoff NRW sind unter anderem:

- Weiterentwicklung der Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologie
- Markteinführung von Brennstoffzellen-Anwendungen
- Nutzung von nachhaltig erzeugtem Wasserstoff in Energie und Verkehr
- Festigung Nordrhein-Westfalens als international anerkannter Standort für Brennstoffzellen und Wasserstoff.

Über 400 Mitglieder aus Wirtschaft und Wissenschaft nutzen die Dienstleistungen des Netzwerks. Rund 70 % der Mitglieder sind Industriepartner (meist kleinere und mittlere Unternehmen), 20 % Forschungsinstitute und 10 % stammen aus anderen Bereichen. Die Akteure haben ihren Sitz vornehmlich in NRW, aber auch in anderen Bundesländern und im Ausland. Das Netzwerk ist das größte zum Themenfeld Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnik in Europa.

www.brennstoffzelle-nrw.de

Netzwerk Speicher und Netze NRW

Das Netzwerk Speicher und Netze wurde im Auftrag der Landesregierung mit dem Ziel gegründet, die Vielzahl der bereits heute in den bestehenden Strukturen der EnergieAgentur.NRW beteiligten Partner und Akteure noch effizienter zu vernetzen. Aufbauend auf den Aktivitäten des Netzwerks Kraftwerkstechnik sowie des Netzwerks Brennstoffzelle und Wasserstoff gilt es, die Stärken und anstehenden Herausforderungen im Bereich der Speicher- und Netztechnologien sowie des Netzmanagements in Nordrhein-Westfalen zu analysieren sowie wichtige Schwerpunktthemen zu identifizieren. Das Netzwerk stellt sich die Aufgabe, den Aus- und Umbaubedarf der elektrischen Netz- und Strommarktstruktur in Nordrhein-Westfalen zu identifizieren. Entlang der daraus resultierenden Ergebnisse werden die Handlungsfelder des Netzwerks definiert. Des Weiteren sind die Initiierung von Netzwerkprojekten, die Bereitstellung der vorliegenden Internetplattform, sowie die Organisation zielgruppenorientierter Veranstaltungen Bestandteile der Netzwerk-Aktivitäten. Die Begleitung von Akteuren und Entscheidungsträgern auf der Grundlage fachlich fundierter und neutraler Informationen rundet das Portfolio ab.

www.speicher-netze.nrw.de



Akteure beim Virtuellen Institut

Gas- und Wärme-Institut Essen (GWI)

Das Gas- und Wärme-Institut Essen e.V. (GWI) ist ein anerkanntes und weit über die Region NRW hinaus etabliertes Forschungsinstitut des deutschen Gasfachs und wurde 1937 unter dem Dach der Vereinigten Institute für Wärmetechnik gegründet. Als Brancheninstitut für das Gasfach werden praxisorientierte Forschungsarbeiten durchgeführt, um im Wettbewerb mit anderen Energiearten bestehen zu können. In zwei Abteilungen – der Brennstoff- und Gerätetechnik sowie der Industrie- und Feuerungstechnik – widmet sich das GWI heute dem Bereich der Forschung und Entwicklung. Das akkreditierte Prüflaboratorium zählt zu den größten und wichtigsten im Gasfach in Deutschland und mit dem Bildungswerk werden weite Kreise der Fachöffentlichkeit erreicht. Einige der Forschungsschwerpunkte des GWI sind die Themen Gasbeschaffenheit, Versorgungssicherheit und innovative Gasanwendungstechnologie, die vom Maßstab der Haushaltsebene bis hin zu groß-industriellen Anwendungen reichen. Durch die Entwicklungen der letzten Jahre sind besonders Forschungsthemen wie die systemübergreifende Energieeffizienzbetrachtung und die Entwicklung hochflexibler Energie-Technologien in den Fokus des Interesses gerückt.

www.gwi-essen.de

„Für eine erfolgreiche Energiewende müssen die Energieversorgungssysteme Strom, Gas und Wärme weiter zusammenwachsen und die gesamte Energieversorgung stärker flexibilisiert werden. Hierzu sind Technologien wie PtG, PtF, PtC, PtH und DSM bestens geeignet, müssen aber noch weiterentwickelt und aufeinander abgestimmt werden.“

Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus Görner



Energiewirtschaftliches Institut der Universität zu Köln (EWI)

Das EWI widmet sich der energieökonomischen Forschung und Lehre sowie der Erstellung wissenschaftlich basierter Studien für die energiewirtschaftliche und energiepolitische Praxis. Das Institut nutzt und entwickelt hierfür moderne empirische Methoden der angewandten Industrieökonomik, insbesondere detaillierte, computer-gestützte Simulations- und Optimierungsmodelle für die

europäischen Strom- und Erdgasmärkte. Im Zentrum der energieökonomischen Analysen des EWI steht die Fragestellung, wie sich politische und wirtschaftliche Entscheidungen sowie technologische Entwicklungen auf die Energiemärkte und deren Marktergebnisse auswirken. Aktuelle Schwerpunktthemen sind beispielsweise die Entwicklung des europäischen Energiemix in der Stromerzeugung, die Integration der erneuerbaren Energien, die Versorgungssicherheit in der europäischen Strom- und Gaswirtschaft sowie die Bewertung von großen Infrastrukturprojekten. Außerdem beschäftigt sich das EWI mit deutscher und europäischer Regulierungspolitik und der Gestaltung eines effizienten Marktdesigns.

www.ewi.uni-koeln.de



„Alle Optionen zur Flexibilisierung des Energiesystems sind zu erforschen und weiter zu entwickeln. Die Rolle, die ihnen im zukünftigen Energiemarkt zukommt, hängt davon ab, inwieweit die einzelnen Techniken in Konkurrenz zueinander stehen oder sich sinnvoll ergänzen können. Dies ist noch grundsätzlich zu analysieren. Das virtuelle Institut soll hier wichtige Beiträge liefern.“

PD Dr. Dietmar Lindenberger

Ruhr-Universität Bochum (RUB), Technische Chemie (TC)

Die Kompetenzen am Lehrstuhl für Technische Chemie der Ruhr-Universität Bochum reichen von der Grundlagenforschung im Bereich der heterogenen Katalyse und der wissensbasierten Entwicklung von heterogenen Katalysatoren bis hin zur industriellen chemisch-technischen



„Die Energiewende ist ohne die heterogene Katalyse nicht möglich.“

Prof. Dr. Martin Muhler

Verfahrenstechnik. Katalytische Prozesse werden in vielen chemischen Prozessen eingesetzt, spielen zunehmend aber auch in der Energietechnik eine wichtige Rolle. Neben der Katalysatorforschung beschäftigt sich der Lehrstuhl auch mit photochemischen Prozessen zur Erzeugung von Wasserstoff oder dem Abbau von Schadstoffen. Auch die Umsetzung von Kohlendioxid mit Hilfe von Lichtenergie in chemische Produkte wie z. B. Methanol oder Methan wird untersucht. Der Lehrstuhl verfügt über eine umfangreiche technische Ausstattung. Zurzeit forschen und arbeiten hier etwa 50 MitarbeiterInnen.

www.techem.ruhr-uni-bochum.de

„Die Integration von PtG wird als ein wichtiger Baustein für das Gelingen der Energiewende gesehen. Eine umfassende Bewertung hinsichtlich Machbarkeit, Wirtschaftlichkeit und gesellschaftlicher Akzeptanz steht jedoch noch aus.“

Prof. Jürgen-Friedrich Hake



Forschungszentrum Jülich (FZJ)

Das Forschungszentrum Jülich, Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft, ist mit mehr als 5.600 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern eines der größten interdisziplinären Forschungszentren Europas. Es betreibt Spitzenforschung zur Lösung großer wissenschaftlicher Herausforderungen in den Bereichen Gesundheit, Energie und Umwelt sowie Information. Kombiniert mit den beiden Schlüsselkompetenzen Physik und Supercomputing werden in Jülich sowohl langfristige, grundlagenorientierte und fächerübergreifende Beiträge zu Naturwissenschaften und Technik erarbeitet als auch konkrete technologische Anwendungen. Das Institut für Energie- und Klimaforschung (IEK) des Forschungszentrums entwickelt und untersucht moderne Energieumwandlungstechnologien. Die Themenpalette reicht u.a. von der Photovoltaik über Brennstoffzellen und Elektrolyseure bis hin zu Batterien. Mit Hilfe entwicklungsbegleitender Systemanalysen, werden die im F&E Portfolio befindlichen Technologien im systemischen Kontext hinsichtlich ihrer technischen Machbarkeit, Wirtschaftlichkeit und gesellschaftlichen Relevanz untersucht und bewertet.

www.fz-juelich.de



„Wasserstoff ist ein geeigneter Langzeitspeicher, der bereits mit heutiger Technik im Verkehr bei großen Stückzahlen kosteneffizient wäre.“

Prof. Dr. Detlef Stolten

Wuppertal-Institut (WI)

Das Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH wurde 1991 gegründet. Ziel des Institutes ist es, Leitbilder, Strategien und Instrumente für Übergänge („Transitions“) zu einer nachhaltigen Entwicklung auf regionaler, nationaler und internationaler Ebene zu entwickeln. Im Zentrum stehen dabei die Herausforderungen für nachhaltigen Klima- und Ressourcenschutz sowie für die Umsetzung der Energiewende und ihre Wechselwirkungen mit der Wirtschaft und Gesellschaft. Die Analyse und das Induzieren von Innovationen zur Entkopplung von Naturverbrauch und Wohlstandsentwicklung bilden einen Schwerpunkt seiner Forschung. Dabei stehen Systeminnovationen im Mittelpunkt, die technische Innovationen mit sozialen Innovationen verbinden. Die Forschung des Wuppertal Instituts ist transdisziplinär und am System- und Transformationsverständnis orientiert und wird aktuell von gut 200 Mitarbeitern/innen in vier Forschungsgruppen geleistet. Die Forschungsgruppe „Zukünftige Energie- und Mobilitätsstrukturen“ befasst sich aus systemanalytischer Sicht mit Technologie- und Infrastrukturfragen. Hierzu gehört unter anderem die Identifikation und multi-kriterielle Bewertung von (neuen) Flexibilitätsoptionen wie z. B. Lastmanagement und Energiespeicher.

www.wupperinst.org



„Die künftige Strom- und Energieversorgung wird zunehmend durch die fluktuierende Stromeinspeisung aus erneuerbaren Energien geprägt. Dies bedingt einen Systemwandel, flexiblere Kraftwerke und eine intelligente Steuerung der Lasten, eine Erweiterung der Netze und effiziente (große) Energiespeicher.“

Prof. Dr.-Ing. Manfred Fishedick

ZBT Duisburg (ZBT)

Das Zentrum für Brennstoffzellen Technik (ZBT GmbH) in Duisburg ist ein anerkannter Forschungsstandort für Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnik. In einem interdisziplinären Team arbeiten ca. 100 qualifizierte Mitarbeiter an der Entwicklung und Optimierung von Lösungen zur Erzeugung von Wasserstoff, dessen Rückverstromung, dem Einsatz in der Elektromobilität und der Nutzung im Bereich der Kraftwärmekopplung. Projekte und Dienstleistungen des ZBT umfassen dabei einen weiten Bereich ausgehend von der Entwicklung von zum Beispiel Reformier- und Elektrolysetechnologien, Brennstoffzellenstacks und kompletten funktionstüchtigen Systemen über die Erprobung von Produktions- und Fertigungstechnologien für Bipolarplatten, Brennstoffzellen und -stacks bis hin zur Prüfung marktnaher Entwicklungen hinsichtlich Zulassungsfragen. Ergänzend sind auch Batterietechnologien Teil der Forschungsarbeiten. Als unabhängige Forschungseinrichtung orientiert sich ZBT bei seiner Arbeit konsequent an den Anforderungen der anwendungsnahen Entwicklung.

www.zbt-duisburg.de

„Der Energieträger Wasserstoff kann auf vielfältige Arten genutzt werden – z. B. als Kraftstoff in der Elektromobilität oder als Synthesebaustein bei der Herstellung chemischer Produkte – und bietet gleichzeitig das Potenzial der Speicherung größerer Energiemengen.“

Prof. Dr. Angelika Heinzl

**Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT**

Fraunhofer UMSICHT gestaltet die Energie- und Rohstoffwende aktiv mit. Klassische Energiethemen wie regenerative Energien, nachwachsende Rohstoffe und Energieeffizienz gehören ebenso zu den Forschungsgebieten wie die Entwicklung innovativer Werkstoffe, Wasser- und Abwassertechnik sowie Wissens- und Ressourcenmanagement. Die Entwicklungen von Technologien und Konzepten zum Einsatz von Energiespeichern, Katalyse-Verfahren, Power-to-Gas Prozessen, Nachhaltigkeitsstrategien, sowie die ökologische Bewertung von Produkten und Prozessen stellen Schwerpunkte dar. Das Institut fördert nachhaltiges Wirtschaften, umweltschonende Technologien, um originäre Forschungs- und Innovationschübe für die Wirtschaft zu leisten. Von der Projektidee über die Antragsbearbeitung bis zur Entwicklung und

Markteinführung bietet Fraunhofer UMSICHT Entwicklungskompetenz und generiert Standort- und Wettbewerbsvorteile. Als Institut der Fraunhofer-Gesellschaft steht das Forschungsinstitut in der Tradition angewandter Forschung. Weltweit vernetzt, fördert es die internationale Zusammenarbeit und macht aus Ideen marktnahe Anwendungen.

www.umsicht.fraunhofer.de



„Eine effiziente Versorgung mit Strom, Wärme und Rohstoffen bedarf einer geeigneten Technologiemischung über Industrien hinweg. Mit einer cross-industriellen Vernetzung kann gesamtwirtschaftlicher Vorteil erreicht werden. Ansätze wie Power2Heat, Power2Gas und Power2Products können bei umsichtiger Nutzung zur Stabilisierung der Versorgung auf Basis regenerativer Energien beitragen.“

Prof. Dr.-Ing. Gorge Deerberg

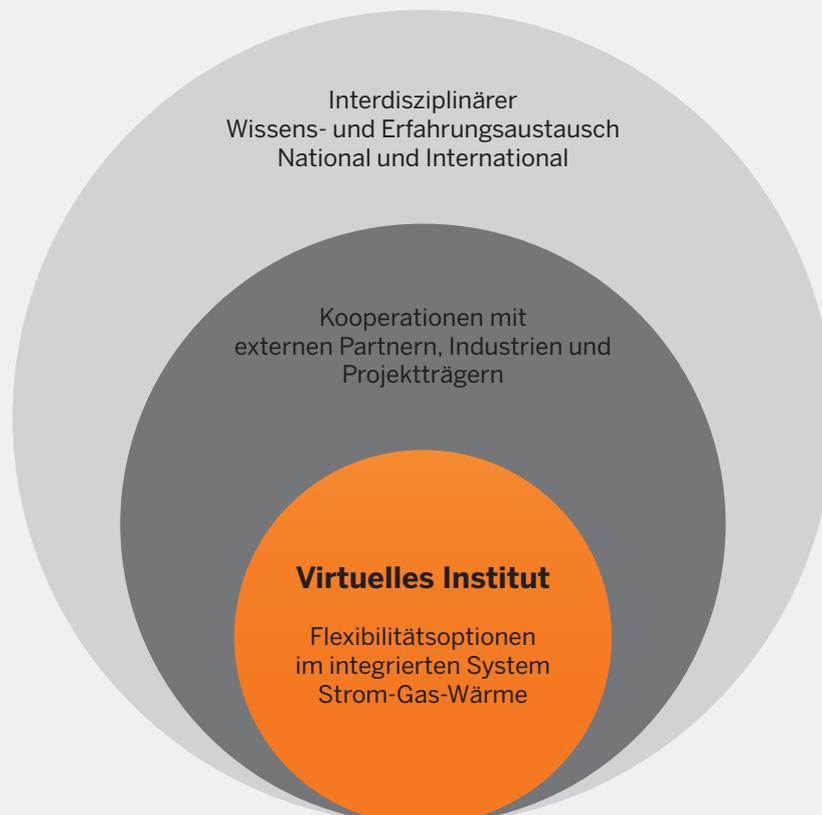
IV. Ausblick und Forschungsbedarf

Die zukünftige Flexibilisierung des Energieversorgungssystems aufgrund des zunehmenden Ausbaus der erneuerbaren Energien stellt die Gesellschaft, die Politik, die Wissenschaft und die Wirtschaft vor große Herausforderungen. Die interdisziplinären Forschungsarbeiten im Virtuellen Institut zeigen einen Aufriss der Technologie- und Systemlösungen, die zur Speicherbarkeit und Umwandlung von Strom zukünftig notwendig werden und bewerten diese qualitativ sowohl aus dem ökonomischen, ökologischen als auch aus dem technischen Blickwinkel. Darüber hinaus werden regionale Rahmenbedingungen einfließen, die sowohl die technologisch-, infrastrukturell- und ressourcenbedingte Situation in Nordrhein-Westfalen berücksichtigen.

Ziel der Zusammenarbeit ist die Entwicklung einer Forschungsagenda für NRW zur nachhaltigen Nutzung überschüssiger elektrischer Energie, die regionale Stärken und die daraus resultierenden Handlungsempfehlungen aufzeigt sowie weiteren Forschungs- und Entwicklungsbedarf in den unterschiedlichen Technologiesektoren identifiziert. Diese soll in den nächsten Jahren kontinuierlich an den dynamischen Transformationsprozess des Energieversorgungssystems angepasst werden.

Durch die strukturierte Vorgehensweise der Forschungsaktivitäten in NRW durch interdisziplinäre Zusammenarbeit verschiedener Institute können Einzeltechnologien sinnvoll in ein Gesamtsystem integriert werden und optimieren auf diese Weise bereits vor einer Markteinführung die Energiebezugs-, -umwandlungs- und -nutzungsprozesse. Auf diese Weise bietet die Zusammenarbeit im Virtuellen Institut die Chance, einen positiven Beitrag zur erfolgreichen Umsetzung der Energiewende zu leisten.

Die Gründung des Virtuellen Institutes, gefördert mit Mitteln des Ministeriums für Innovation, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen, soll als Motivation für eine weitergehende Kooperation mit vielen Akteuren und Institutionen aus dem Bereich Energie und Forschung dienen. Ziel ist eine weitreichende vernetzte Forschungslandschaft, in der weitere Partner, Unternehmen und Projektträger zusammenfinden und unter einem gemeinsamen Deckmantel weitere Forschungsgebiete erschließen und ergänzen.



ewi

 **Fraunhofer**
UMSICHT

 **gwi**

 **JÜLICH**
FORSCHUNGSZENTRUM

 **RUB**

 **Wuppertal Institut**
für Klima, Umwelt, Energie
GmbH

**Z
B
T** 

Cluster EnergieForschung.NRW

Völklinger Straße 4 (rwi4)
40219 Düsseldorf
www.cef.nrw.de

Ministerium für Innovation, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen

Völklinger Straße 49, 40221 Düsseldorf
www.wissenschaft.nrw.de

Gestaltung:

Wiedemeier Kommunikation GmbH

Bildnachweis:

DLR (Titel, S. 6), Fotolia (S. 8, 9, 10, 11, 12), privat (S. 4, 13, 15, 16, 17), Regionalverkehr Köln GmbH (S. 14)

Exzellenz NRW

Exzellenz NRW steht für die Clusterstrategie am Wirtschafts- und Innovationsstandort Nordrhein-Westfalen. Die Landesregierung will Stärken stärken und die Exzellenzen in Nordrhein-Westfalen systematisch ausbauen. Ziel der Clusterpolitik ist es, ein günstiges Umfeld für Innovationen zu schaffen, das die Wettbewerbsfähigkeit der Wirtschaft stärkt und Wachstum und Beschäftigung stimuliert. Mehr zur Clusterstrategie des Landes und den 16 Clustern in Nordrhein Westfalen finden Sie unter www.exzellenz.nrw.de.

©EnergieAgentur.NRW/EA308



EUROPÄISCHE UNION
Investition in unsere Zukunft
Europäischer Fonds
für regionale Entwicklung

Gefördert durch:

Ministerium für Innovation,
Wissenschaft und Forschung
des Landes Nordrhein-Westfalen

