

# Mit Gas-Innovationen in die Zukunft!

Intelligente Technologien für die Energiewende



**Unsere Projektpartner**



**[www.dvgw-innovation.de](http://www.dvgw-innovation.de)**

**avacon**

 BERGISCHE  
UNIVERSITÄT  
WUPPERTAL

 Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

 Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz,  
Bau und Reaktorsicherheit

 **DBI** GTI  
Gastechnologisches Institut

 **DBI** GUT  
Gas- und Umwelttechnik GmbH

 **DVGW**   
DVGW-Forschungsteil am Engler-Bunte-Institut  
des Karlsruher Instituts für Technologie

 **EnBW**

 **E.ON Energy Research Center**

**e-on** | Energie

**e-on** | Hanse

**ERDGAS**   
Natürlich effizient

**EWE**netz

 **Fraunhofer**  
IWES

 **Fraunhofer**  
UMSICHT

**GELSENWASSER**   
GAS. STROM. NATÜRLICH WASSER.

**gwi**  Gas- und Wärme-  
Institut Essen e.V.

 **JÜLICH**  
FORSCHUNGSZENTRUM



Unsere  
Projektpartner

# Gas – Schlüssel zum Erfolg der Energiewende!



**Mit der Energiewende hat sich Deutschland für einen grundlegenden Umbau seines Energiesystems entschieden. Damit stehen die Erzeugungs-, Transport- und Nachfragestrukturen vor einem umfassenden Wandel, der Auswirkungen auf alle Verbrauchssektoren hat. Bei der Transformation des Energiesystems ist Gas die Schlüsselressource zur Integration erneuerbarer Energien schlechthin – es ist sicher, flexibel einsetzbar, hocheffizient und besonders klimaschonend. Zudem verfügt Deutschland über eine überaus leistungsfähige und sichere Gasinfrastruktur.**

Der Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromversorgung Deutschlands soll schrittweise bis auf 80 Prozent im Jahr 2050 wachsen. Um die ambitionierten Klimaschutz- und CO<sub>2</sub>-Ziele Deutschlands und Europas zu erreichen, muss noch viel getan werden: Zum einen müssen die Stromnetze modernisiert und ausgebaut werden. Zum anderen werden zusätzliche Speicherkapazitäten und Systemdienstleistungen benötigt, um die schwankende Stromerzeugung aus Wind und Sonne ausgleichen zu können.

Denn eines ist klar: Unsere Volkswirtschaft kann nur mit verlässlich und konstant zur Verfügung stehender Energie reibungslos funktionieren. Von allen fossilen Energieträgern weist Erdgas die beste Klimabilanz auf. Zusätzlich liegt in der optimierten Anwendung von Erdgas noch viel ungenutztes Effizienzpotenzial. Schon heute sind Gas- und Dampfturbinen-Kraftwerke wegen ihrer hohen Wirkungsgrade und ihrer Flexibilität die ideale Ergänzung der volatilen, regenerativen Energien. Gaskraftwerke können schnell in ihrer Leistung verändert werden. Sie produzieren damit sehr flexibel Strom und erreichen eine konstant hohe Energieeffizienz.

Zudem eignet sich Gas sehr gut für die Kraft-Wärme-Kopplung, also die gleichzeitige, gekoppelte Nutzung von Strom und Wärme im Stromerzeugungsprozess. Im Wärmemarkt bietet die gute Kombinierbarkeit von Erdgas-Brennwerttechnik mit erneuerbaren Energien und der Kraft-Wärme-Kopplung weitere Vorteile. So lassen sich etwa in der Kombination von modernen Erdgas-Brennwertheizungen mit Solarthermie-Systemen im Vergleich zu älteren Systemen erhebliche Mengen klimaschädlicher

CO<sub>2</sub>-Emissionen einsparen. Gleichzeitig können Erdgas und Biomethan als Kraftstoff einen wichtigen Beitrag zu Klimaschutz und Energieeffizienz leisten.

Durch die neuen technologischen Herausforderungen der Energiewende werden zusätzliche Nutzungsmöglichkeiten für die Gasinfrastruktur hinzukommen – etwa die Speicherung und der Transport großer Energiemengen aus der Überschussproduktion regenerativen Stroms. Wird bei entsprechendem Überangebot von ökologisch erzeugter Wind- oder Sonnenenergie dieser Strom etwa über die Elektrolyse zur Herstellung von Wasserstoff und Sauerstoff genutzt, kann der dabei gewonnene Wasserstoff direkt ins Gasnetz eingespeist oder in einem zweiten Verfahrensschritt in Methan umgewandelt werden.

Durch die Umwandlung des Stroms in einen stofflichen Energieträger (Power-to-Gas) können die Stromnetze entlastet und damit der Stromnetzausbau gedämpft werden. Der Energietransport erfolgt über die Gasnetze und steht damit in Deutschland etwa 40 Millionen Menschen und einer Vielzahl von stationären und mobilen Anwendungen

zur Verfügung. Mit Power-to-Gas erreicht man das gesamte Spektrum effizienter Endanwendungstechnologien: vom klassischen Wärmemarkt über die Stromproduktion einschließlich Kraft-Wärme-Kopplung bis hin zur klimafreundlichen Mobilität und dem Einsatz des Gases als Feedstock in der chemischen Industrie. Über den Weg der Verflüssigung von Erdgas (LNG = Liquefied Natural Gas) werden derzeit weitere Pfade erschlossen. Mit LNG können zusätzlich der Schwerlastverkehr sowie der Schiffsverkehr einbezogen werden.

Gas kann im Rahmen des energiepolitischen Zieldreiecks von Klimaschutz, Versorgungssicherheit und Wirtschaftlichkeit eine Schlüsselrolle bei der Umgestaltung der Energieversorgung in Deutschland übernehmen. Die Nutzung der bestehenden Gasinfrastruktur bietet die große Chance einer ökologisch und volkswirtschaftlich sinnvollen Kombination aus planbarer,

sicherer Gasversorgung und volatiler, regenerativer Stromerzeugung. Das Gas der Zukunft besteht hierbei nicht mehr nur aus fossilem Erdgas, sondern aus Biogas und anderen regenerativen Gasen.

Diese Entwicklung kann aber nicht ohne technologische Innovationen im Gassystem erfolgen. Neben der technischen Sicherheit steht vor allem die Optimierung der Energieeffizienz von Einzelkomponenten wie auch der gesamten Bearbeitungs- und Nutzungskette von Gas im Fokus. Die erweiterte Rolle, in die der Energieträger Gas dabei hineinwachsen kann, muss aber frühzeitig technisch und wissenschaftlich vorbereitet werden. Darum hat sich der DVGW im Rahmen seiner Innovationsoffensive Gas seit 2009 sehr intensiv gekümmert. Gemeinsam mit zahlreichen Mitgliedsunternehmen hat der Verein seitdem fast zehn Millionen Euro für Forschungsarbeiten rund um die technologischen Potenziale von Gas

investiert. Über die zentralen Ergebnisse wollen wir Sie mit der vorliegenden Informationsbroschüre kompakt und übersichtlich informieren.

**Die Rolle von Gas neu definieren Seite 6**

**Die DVGW-Innovationsoffensive Seite 12**

**Forschungscluster**

**Gas im Systemverbund Seite 14**

**Smart Grids Seite 18**

**Power-to-Gas Seite 21**

**Gaserzeugung und -aufbereitung Seite 24**

**KWK/Anwendungstechnik Seite 28**

**Projektübersicht Seite 32**

**Impressum Seite 35**

# Inhalt

[www.dvgw-innovation.de](http://www.dvgw-innovation.de)

# Die Rolle von Gas neu definieren

## Hintergrund

### Die Rolle von Gas neu definieren

Die energiewirtschaftliche Diskussion der letzten drei Jahre wurde im Kern von den Herausforderungen der Energiewende beherrscht. Mit zunehmendem Verlauf dieses einzigartigen Infrastrukturprojekts ist allen verantwortlichen Akteuren eines klar geworden: Die Umsetzung der Energiewende wird noch mit zahlreichen technischen, wirtschaftlichen und gesellschaftspolitischen Herausforderungen verbunden sein.

Mit zunehmender Dominanz der erneuerbaren Energien in der Stromerzeugung sind vollständig neue Fragestellungen im energiewirtschaftlichen Zieldreieck aus Wirtschaftlichkeit, Nachhaltigkeit und Versorgungssicherheit zu lösen. Es bedarf neuer Konzepte, die eine ökonomisch sinnvolle und technisch sichere Integration von erneuerbaren Energien möglich macht. Für die Wärmeerzeugung sind innovative Technologien gefragt, die einen Beitrag zur Verbesserung der

»Die Energiewende ist ein langfristiges Projekt zur Dekarbonisierung unserer Energiewirtschaft mit Zielen, die teilweise weit in der Zukunft liegen. Dies bedeutet, dass die verschiedenen Optionen technologieoffen und vor allem systemübergreifend zu bewerten sind. Versorgungssicherheit und Wirtschaftlichkeit sind dabei elementare Zielgrößen. In diesem Sinne kommt dem Energieträger Gas mit den vorhandenen Infrastrukturen eine Schlüsselrolle bei der Energiewende zu.«

**Michael Riechel, Mitglied des Vorstandes Thüga Aktiengesellschaft, München,  
Vizepräsident des DVGW, Vorsitzender des DVGW-Forschungsbeirates Gas**

Energieeffizienz und damit zum Erreichen der Klimaschutzziele leisten können. Ebenfalls benötigt werden neue Fahrzeugkonzepte, mit denen die Umweltbelastung durch Kohlenstoffdioxid und Feinstaub reduziert wird. Und nicht zuletzt müssen Technologien entwickelt werden, mit denen die schwankende Stromproduktion aus erneuerbaren Energien auch über längere Zeiträume ausgeglichen werden kann. Im Gesamtgefüge der Energiewende wird immer deutlicher, dass die Optimierung einzelner Stufen der Energie-

wertschöpfungskette für sich allein nicht zielführend ist. Mit Blick auf das gesamte Energiesystem und das energiewirtschaftliche Zieldreieck ist daher systemisches Denken, über die jeweiligen Grenzen von Strom und Gas hinaus, gefragt. Auf technologischer Ebene nimmt sich der DVGW im Rahmen seiner Innovationsoffensive Gas bereits seit Mitte 2009 der offenen Fragen hinsichtlich Energiespeicherung, Energieeffizienz und Integration der erneuerbaren Energien an. Denn für viele Herausforderungen der



Energiewende kann der Energieträger Gas mit seiner bereits heute vorhandenen und bewährten Infrastruktur geeignete Lösungen bieten. Ja mehr noch: Forschungsergebnisse der DVGW-Innovationsoffensive Gas zeigen, dass Gas und die Gasinfrastruktur große und überzeugende Potenziale haben, um dauerhaft eine wichtige Rolle in einem regenerativ ausgerichteten Energiesystem zu spielen. Dafür müssen dieses System und die Rolle von Gas jedoch neu definiert werden.

## Vom Mono-Gas zum Multi-Gas

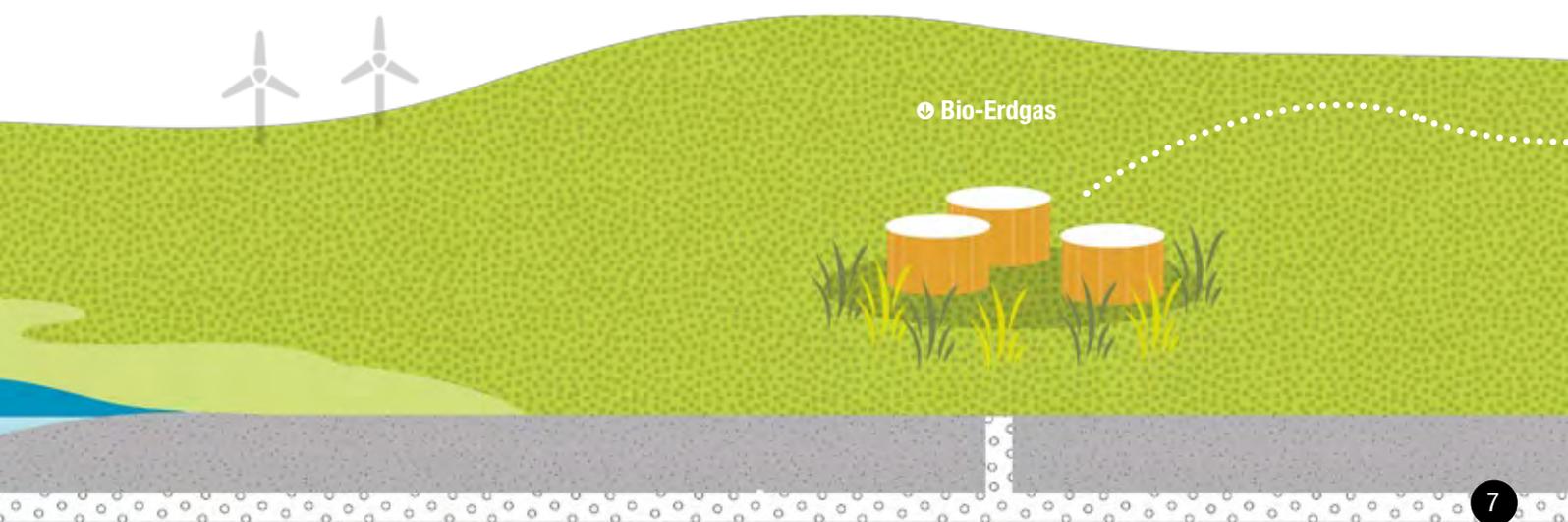
Die Zeiten sind längst vorbei, in denen man von (Erd)gas als einem rein fossilen Energieträger sprechen konnte. Bei der Einspeisung von aufbereitetem Biogas in das Erdgasnetz (oft auch als Biomethan oder Bio-Erdgas bezeichnet) ist Deutschland inzwischen weltweit führend. 140 Anlagen speisen mittlerweile Biogas in das deutsche Erdgasnetz ein, im Jahr 2006 waren es erst zwei. Auch die Produktion und Einspeisung von Wasserstoff

oder Methan aus erneuerbarem Strom (Power-to-Gas) hat im vergangenen Jahr einen deutlichen Sprung erlebt. Waren die ersten Projekte noch hauptsächlich von dem Thema Wasserstoffherzeugung für die Mobilität geprägt, so hat die Technologie im vergangenen Jahr Einzug in die Gasversorgung mit ihrer Transport- und Verteilnetzinfrastur gehalten. 2013 wurden die ersten Power-to-Gas-Anlagen an das Gasnetz angeschlossen. Mittlerweile befinden sich bundesweit insgesamt 18 Anlagen im Betrieb oder im Bau, weitere sechs Projekte sind konkret in Planung oder haben Förderzusagen für die Realisierung erhalten.

## Greening of Gas

Die Vorteile dieses „Greening of Gas“ liegen auf der Hand: Durch die Nutzung der vorhandenen Erdgasinfrastruktur wird eine örtliche und zeitliche Entkopplung der Erzeugung und Verwertung von Strom ermöglicht. Denn die Gewinnung von Strom aus regenerativen Quellen führt nicht nur zu einer Dezentra-

lisierung der Stromerzeugung – erneuerbare Energieträger wie Wind und Sonne sind außerdem nicht jederzeit verfügbar. Stromverbraucher, ob privat oder industriell, können sich bei ihrem Energiebedarf jedoch nicht nach aktueller Wetterlage oder Tageszeit orientieren. Sie benötigen rund um die Uhr zuverlässig und dauerhaft Energie und Wärme. Hinzu kommt: Nach den derzeitigen Ausbauplänen kann 2020 mit deutlich mehr als 100 Gigawatt installierter regenerativer Kraftwerksleistung, hauptsächlich aus Windkraft und Photovoltaik, gerechnet werden – zusätzlich zu dem bestehenden Kraftwerkspark. Da der mittlere Bedarf in Deutschland lediglich bei 40 bis 70 Gigawatt liegt, wird die Einspeisung von Strom aus Wind und Sonne noch häufiger als bisher die tatsächliche Nachfrage übersteigen. Als Folge werden konventionelle Kraftwerke heruntergefahren und Windräder und Solaranlagen vom Netz genommen, mit den bekannten Folgen für die Strompreise. Betriebswirtschaftlich ist dies alles andere als nachhaltig. Ein zukünftig auf Windkraft und Solarenergie basierendes Energiesystem wird ohne Systemdienstleis-



# Die Rolle von Gas neu definieren

## Hintergrund

tungen zur Stabilisierung der Stromnetze und entsprechende langfristige bzw. saisonale Speichermöglichkeiten deshalb nicht auskommen.

### Die Gasinfrastruktur als Energiespeicher

Dieses für den weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien so dringend benötigte Speicherpotenzial bietet die deutsche Gasinfrastruktur: Mit ihren 21 Poren- und 29 Kavernenspeichern, in denen 22,7 Milliarden Kubikmeter Gas beliebig lange gespeichert werden können, verfügt Deutschland über die weltweit viertgrößte Gas-Speicherinfrastruktur. Rechnet man dann noch das rund 500.000 Kilometer lange Leitungsnetz hinzu, so wird das Speicherpotenzial der Erdgasinfrastruktur

»Power-to-Gas kann helfen, zwei zentrale Herausforderungen der Energiewende zu bewältigen: die Integration von Wind- und Solarstrom und Klimaschutz im Wärme- und Transportsektor. Power-to-Gas ist damit eine Systemtechnologie, die langfristig bewertet werden sollte.«

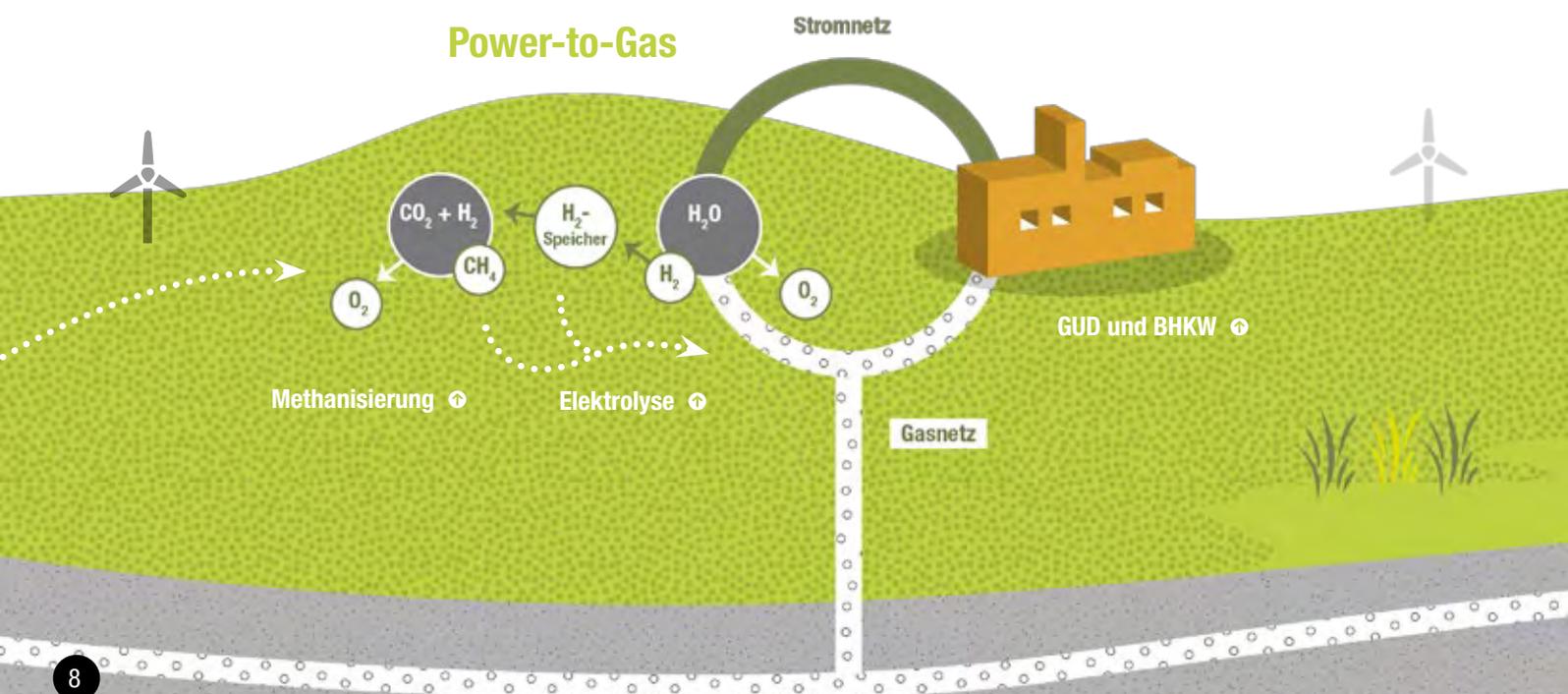
Prof. Dr. Ottmar Edenhofer, Stellvertretender Direktor des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK)

im Vergleich zu anderen Speichertechnologien mehr als deutlich. Wenn die beiden Sparten Gas und Strom systemübergreifend zusammenwachsen, mit Power-to-Gas als einem möglichen verbindenden Element, kann dies der Schlüssel zur Integration der erneuerbaren Energien sein. Und mehr noch: Eine Studie des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung kommt zum Ergebnis, dass Power-to-Gas bei einem funktionierenden CO<sub>2</sub>-Zertifikatemarketssystem wegen des systemüber-

greifenden Ansatzes insgesamt klimaschonend und kostendämpfend wirken kann.

### Energie speichern und transportieren

Das Gasnetz transportiert heute schon mit rund 1.000 Milliarden kWh/a annähernd die doppelte Energiemenge des Stromnetzes (ca. 540 Milliarden kWh/a). Zukünftig ist im Gasnetz außerdem mit frei werdenden



Kapazitäten zu rechnen. Diese können dafür genutzt werden, um das lokale, temporäre Überangebot an elektrischer Energie in Form eines gasförmigen Energieträgers zu speichern, zu transportieren und dieses Gas für die Wärmeproduktion, die Mobilität, die Stromerzeugung oder die stoffliche Nutzung bedarfsgerecht zur Verfügung zu stellen. Neuere Forschungsansätze ergeben sich aus der Bewertung des Gasnetzes im Zusammenhang mit dem Transport von Energie über lange Strecken. Unsere bestehenden Stromnetze sind nicht für die veränderten Aufgaben, die mit einer zunehmenden dezentralen Stromerzeugung einhergehen, ausgerichtet. Die Netze müssen deshalb sowohl auf der Übertragungsebene (Höchstspannung) als auch auf der Verteilnetzebene (Hoch-, Mittel- und

Niederspannung) aus- und umgebaut werden. Dieser Stromnetzausbau gestaltet sich nicht nur aus Akzeptanzgründen auf Seiten der Bevölkerung äußerst schwierig. Nach einer Studie der Deutschen Energie-Agentur (dena) bedarf es allein auf der Stromverteilnetzebene bis 2030 Investitionen in Höhe von bis zu 42,5 Milliarden Euro.

Die Diskussion um die Kosten der Energiewende bietet viel Konfliktstoff, gleichzeitig wird ein großer Forschungsbedarf deutlich. Hier zeigen Forschungsergebnisse der DVGW-Innovationsoffensive, dass der Einsatz von Power-to-Gas unter bestimmten Voraussetzungen sogar den Ausbaubedarf auf der Verteilnetzebene reduzieren und damit zu einer Gesamtkostenreduktion beitragen könnte.

»Unkonventionelle Lösungsansätze ergeben sich aus der interdisziplinären Betrachtung des Energiesystems und der daraus folgenden Kombinatorik des Systemverbundes. Perspektivisch sind dabei nur solche ökologischen Projekte realisierbar, die auch wirtschaftlich sind.«

Dr. Jürgen Lenz, Vizepräsident des DVGW, Bonn (2003 – 2013)

## Effiziente Strom- und Wärmeerzeugung mit Gas

Neben der Power-to-Gas-Technologie gibt es weitere wichtige verbindende Elemente zwischen Strom- und Gasnetz. Gasbetriebene Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, wie etwa Mini-Blockheizkraftwerke, sind flexibel steuerbar und können wesentlich zum Erhalt der Stromnetzstabilität beitragen. Durch die gleichzeitige Erzeugung von Strom und Wärme leisten sie außerdem einen Beitrag zur Primärenergieeinsparung und CO<sub>2</sub>-Reduktion.

Nach einer im Rahmen der DVGW-Innovationsoffensive durchgeführten Studie können durch den verstärkten Einsatz gasbasierter KWK-Technik im Gebäudesektor die ambitionierten Klimaschutzziele der Bundesregierung erreicht werden. Dies gilt insbesondere dann, wenn die Möglichkeit zur Nutzung emissionsarmer und erneuerbarer Brennstoffe wie Biogas, Bio-Erdgas, regenerativ gewonnenem Wasserstoff und Synthesegas aus Power-to-Gas-Anlagen wahrgenommen wird.

⬇️ **Untergrundgasspeicher**

⬆️ **Industrie und Gewerbe**



# Die Rolle von Gas neu definieren

## Hintergrund

Mit der Kraft-Wärme-Kopplung erschließen sich aber auch ganz neue Ansätze: Durch die Nutzung der Abwärme bei dieser Art der Stromproduktion können im Vergleich zur „reinen“ Stromproduktion Dämmmaßnahmen an den Gebäuden minimiert bzw. optimiert werden – bei gleichen CO<sub>2</sub>-Zielen und bei deutlich geringeren Kosten. Allerdings sind die Vorteile der Kraft-Wärme-Kopplung damit bei weitem noch nicht ausgeschöpft.

Hocheffiziente KWK-Technologien müssen in allen Leistungsgrößen weiterentwickelt werden. Intelligente Konzepte zur Nutzung der Wärme, nicht nur für die Heizung oder Trinkwassererwärmung, sondern beispielsweise auch für die Klimatisierung, können die Wirkungs- und Nutzungsgrade der Kraft-Wärme-Kopplung noch weiter erhöhen.

### Mobil mit Gas

Derzeit sind etwa 96.000 Erdgasfahrzeuge auf Deutschlands Straßen unterwegs, die an einer der bundesweit rund 900 Erdgastankstellen Erdgas tanken können. Dadurch werden jedes Jahr etwa 323.000

Tonnen an klimaschädlichem CO<sub>2</sub> eingespart. Durch eine zunehmende Beimischung von Bio-Erdgas wird die CO<sub>2</sub>-Bilanz der Erdgasfahrzeuge weiter verbessert. Neuen Schub gewinnt das Thema Gas-Mobilität durch das Audi-eGas-Projekt. Hier wird seit Anfang 2014 am Standort Werlte eine 6-MW-Power-to-Gas-Anlage, bestehend aus einer Elektrolyse und einer Methanisierung, betrieben.

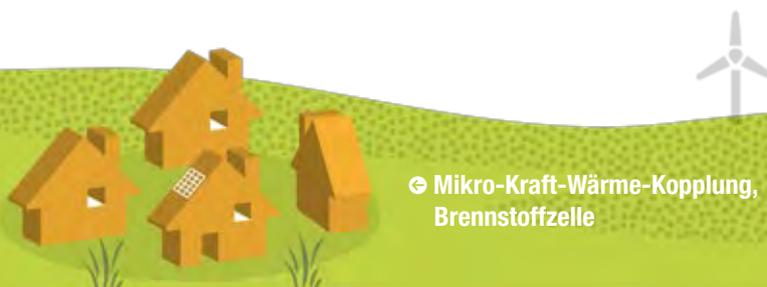
Der erzeugte Wasserstoff wird in einer Methanisierungsanlage gemeinsam mit Kohlenstoffdioxid aus einer nahegelegenen Biogasaufbereitungsanlage zu Methan umgewandelt und in das Gasnetz eingespeist. Power-to-Gas- und Biogasanlage speisen in das gleiche Netz ein und stellen das erzeugte

Gas so praktisch in ganz Deutschland zur Verfügung. Auch europaweit wird die Rolle von Gas im Mobilitätsbereich derzeit neu bewertet. Die EU-Kommission sieht in ihrer Strategie für die Entwicklung alternativer Kraftstoffe Gas als einen wichtigen Baustein.

So hat die EU-Kommission z. B. angekündigt, entlang wesentlicher europäischer Straßenverbindungen eine LNG-Infrastruktur aufzubauen. Und auch in der Schifffahrt soll LNG stärker eingesetzt werden. In Forschungs- und Entwicklungsprojekten wird der Einsatz von LNG in der küstennahen Schifffahrt wie auch in der Binnenschifffahrt untersucht. Die großen europäischen Binnenwasserstraßen wie etwa der Rhein stehen dabei im Mittelpunkt der Betrachtung.

»Im Wärmemarkt befinden wir uns noch in einer sehr frühen Phase der Energiewende. Im Mittelpunkt einer an effektivem Klimaschutz orientierten „Wärmewende“ müssen die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten stehen: Wie kann CO<sub>2</sub> zu möglichst geringen Kosten reduziert werden? Hier ist Erdgas der zentrale Player.«

Dr. Ludwig Möhring, Präsident der ASUE und Mitglied der Geschäftsführung der WINGAS GmbH



tungen, wobei sowohl die Schiffsantriebe als auch die Infrastruktur an Land bewertet werden.

## Keine Energiewende ohne Gas

Die Herausforderungen einer sicheren, preiswerten und stabilen Stromversorgung stehen im Mittelpunkt der politischen Diskussionen. Eine bezahlbare und systemstabile Energiewende wird jedoch nur im Zusammenwirken der Strom- und Gaswirtschaft gelingen.

Das hochflexible Gassystem und innovative Gastechnologien können Lösungen anbieten, die bei Einhaltung der CO<sub>2</sub>-Ziele die Gesamtkosten des Umbaus deutlich reduzieren und die Systemstabilität, insbesondere des Stroms, deutlich verbessern.

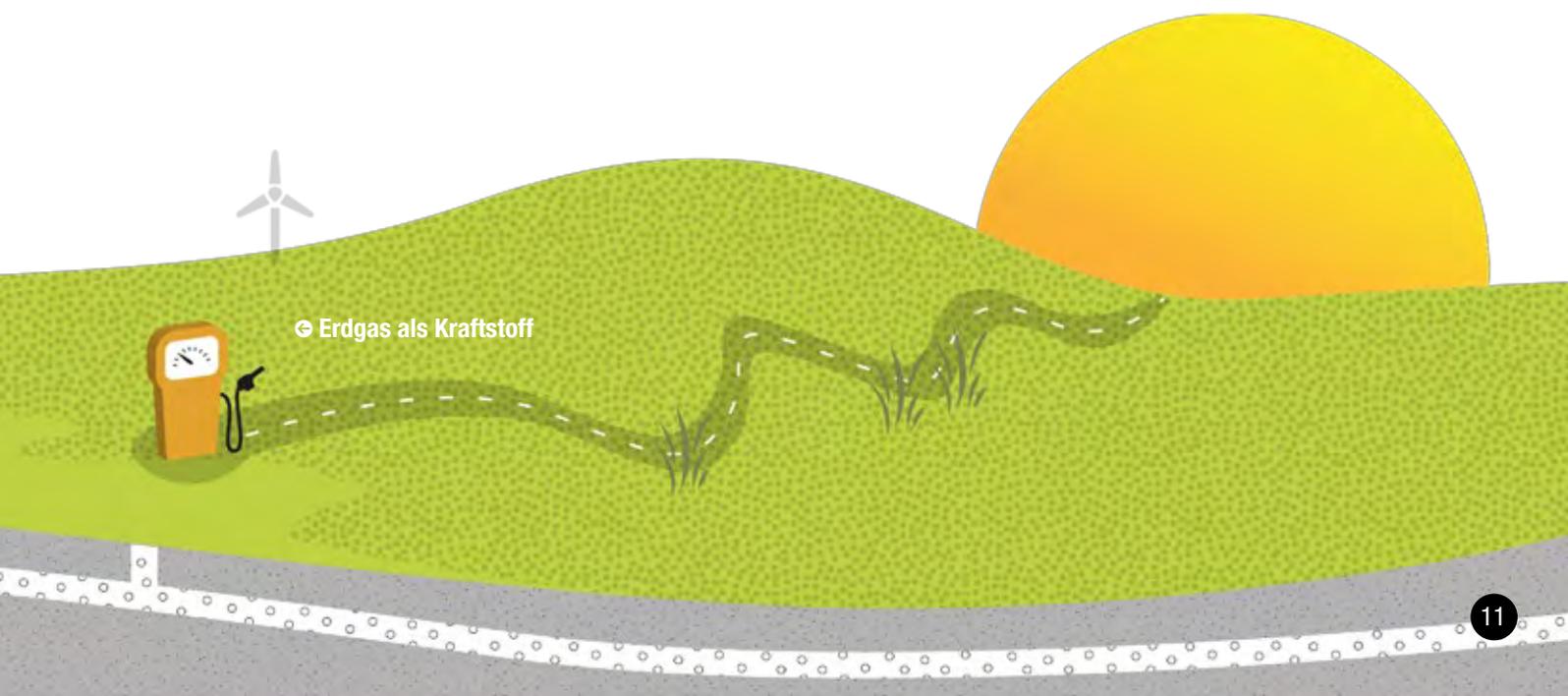
Der Energieträger Gas und die Gasinfrastruktur sollten deshalb in den politischen und fachlichen Diskussionen einen deutlich größeren Stellenwert einnehmen als dies derzeit der Fall ist.

»Die begonnene Transformation der Energieversorgung ist eine große Herausforderung an die Ingenieurskunst. Wir brauchen die gesamte Innovationskette von der Grundlagenforschung bis zur industriellen Technologie. Erdgas schafft dabei Lösungen, die die Energiewende zum Erfolg führen können.«

Prof. Dr. Robert Schlögl, Direktor am Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft, Berlin

»Wenn man allein die Kosten vergleicht, die im Strom- oder Gasnetz für den Transport von Energie anfallen, müsste jeder Energiewirtschaftler aufmerksam werden: Für gut 1 Million Euro Kosten pro Kilometer können über eine Ferngasleitung 20-30 Gigawatt Übertragungskapazitäten geschaffen werden; bei Strom erreicht man über eine 380 Kilovolt-Freileitung mit der gleichen Summe nur ungefähr 2x2 GVA, also ca. 4 GW.«

Prof. Dr. Albert Moser,  
Leiter des Instituts für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft der RWTH Aachen



## Die DVGW-Innovationsoffensive Gas

Im Rahmen seiner Innovationsoffensive Gas untersucht der DVGW seit 2009 gemeinsam mit Unternehmen der deutschen Gaswirtschaft sowie mit Forschungsinstituten und der Herstellerindustrie, welche Gastechnologien das zukünftige Energiesystem sicherer, effizienter und umweltschonender machen können. Die ca. 30 verschiedenen Projekte wurden in thematische Forschungscluster gebündelt:

### Gas im Energiesystem

Es wurden Systemanalysen zur Darstellung der Rolle des Gases mit seinen vielfältigen, innovativen Technologien in einem zukünftigen Energiesystem erstellt.

#### Kernthemen:

- ➔ Bewertung der Prozessketten der verschiedenen Energieträger unter energetischen, ökologischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten
- ➔ Einordnung des Energieträgers Gas im Vergleich zu den bestehenden energiepolitischen Rahmenbedingungen
- ➔ Erarbeitung eines gasbasiertes Szenarios zum Erreichen der Klimaschutzziele bei deutlichen wirtschaftlichen Vorteilen
- ➔ Potenziale der Kraft-Wärme-Kopplung in Verbindung mit intelligenter Abwärmennutzung

### Smart Grids

Die immer komplexer werdenden Anforderungen an das Design und den Betrieb zukünftiger Verteilnetze waren Schwerpunkte der Arbeiten zu diesem Themenfeld – z.B. der Ausbau dezentraler Einspeiseanlagen von Bio-Erdgas, gestiegene Anforderungen an das Dispatching, die Schaffung leistungsfähiger IT-Infrastrukturen für den Netzbetrieb und das Synergiepotenzial von Gas- und Strominfrastrukturen.

#### Kernthemen:

- ➔ Ausarbeitung eines Konzepts für ein intelligentes und vernetztes Gasverteilungssystem
- ➔ Erstellung eines Biogaspotenzialatlas, der nicht nur die unter Nachhaltigkeitskriterien und Gewässerschutz produzierbaren Biogasmengen ermittelt, sondern diese auch mit optimalen Standorten zum Gasnetz verknüpft
- ➔ Aufzeigen der Potenziale von Power-to-Gas auf der Verteilnetzebene anhand eines konkreten Fallbeispiels zur Minimierung des Ausbaus in einem realen Stromnetz

### Power-to-Gas

Über die Power-to-Gas-Technologie wird der Übergang zwischen den beiden Energieversorgungssystemen Strom und Gas erreicht. Die spezifischen Vorteile beider Systeme ergänzen sich im Sinne eines Gesamtenergiesystems komplementär.

#### Kernthemen:

- ➔ Untersuchung und Absicherung der Gasinfrastruktur auf die Wasserstoffverträglichkeit
- ➔ Mess- und abrechnungstechnische Untersuchungen in Bezug auf Wasserstoff/Erdgasgemische im Gasnetz
- ➔ Weiterentwicklung von Methanisierungsverfahren und Optimierung der Effizienz
- ➔ Untersuchung neuartiger Methanisierungsverfahren (Biologisch und Katalytisch)
- ➔ Standardisierung von Design und Auslegung von Power-to-Gas-Anlagen
- ➔ Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen von Power-to-Gas im Energiesystem

Die Elektrolyse stellt im Power-to-Gas-Konzept eine Schlüsseltechnologie dar. Sie konnte hinsichtlich Funktionalität und Effizienz entscheidend weiterentwickelt werden. Ziel ist es, den Transfer von ihrem seit vielen Jahrzehnten erfolgreichen Einsatz in der chemischen Industrie in die Energiewirtschaft zu fördern.

## Gaserzeugung und -aufbereitung

Mit der Implementierung von Biogas als einem Pfad regenerativer Energieerzeugung werden verschiedene Verfahren der Gaserzeugung und -aufbereitung entwickelt und in der Praxis eingesetzt. Mit der thermochemischen Biogaserzeugung steht eine weitere Option zur Nutzung von Biomasse für Biogas bereit, die derzeit erforscht wird.

### Kernthemen:

- ➔ Untersuchungen zur Optimierung verfahrenstechnischer Prozesse bei der Erzeugung gasförmiger Brennstoffe
- ➔ Erweiterung des Rohstoffspektrums, insbesondere in Richtung biogener Reststoffe
- ➔ Optimierung der Prozessketten bei der Gaserzeugung, Gasaufbereitung und Gaseinspeisung hinsichtlich Energieeffizienz sowie ökologischer und ökonomischer Faktoren

Die Arbeiten umfassten zunächst Biomasse als regenerative Quellen, später auch Wind oder Photovoltaik.

## Anwendungstechnologien und Kraft-Wärme-Kopplung

Ziel dieses Forschungsbereichs war es, die Effizienzpotenziale innovativer Gasanwendungstechnologien in Verbindung mit regenerativen Komponenten aufzuzeigen.

### Kernthemen:

- ➔ Untersuchung verschiedener Konzepte solarthermischer Einkopplung basierend auf der etablierten Brennwertechnologie in verschiedenen Bereichen des Gebäudesektors
- ➔ Effizienzpotenziale von Gas-Wärmepumpen
- ➔ Potenziale von Kraft-Wärme-Kopplung und Brennstoffzellen, die in Dauertests elektrische Wirkungsgrade von bis zu 60 Prozent erzielt haben
- ➔ Auswirkungen von Gasbeschafftheitsänderungen auf industrielle Thermoprozesse
- ➔ Verhalten von Gasgeräten im Bestand bei Betrieb mit Wasserstoff/Erdgas-Gemischen (Feldversuch)

An den verschiedenen Standorten der Forschungsinstitute stehen Demonstrationscenter zu diesen innovativen Gas-Technologien für Informations- und Weiterbildungsmaßnahmen zur Verfügung.

## Kommunikation und Kooperation

Im Rahmen der Innovationsoffensive wurde der Austausch mit Politik, Verbänden und anderen Organisationen der Energie- und Versorgungswirtschaft intensiviert. Zudem wurden neue interdisziplinäre Kooperationen etwa mit der Wasserstoff- und Chemieindustrie sowie mit wissenschaftlichen Instituten aus der Klimaforschung und der Systemanalyse etabliert.

Politische Gespräche haben die Bedeutung des Gases zunächst in der Forschung gestärkt, etwa durch die Etablierung von Forschungsschwerpunkten zur Energiespeicherung. Mittlerweile konnten die spezifischen Vorteile des Gases hinsichtlich Klimaschutz, Effizienz und Wirtschaftlichkeit bis hin zur Mobilität in vielen politischen Initiativen erfolgreich platziert werden.

In den Szenarien des Energiekonzepts aus dem Jahr 2010 sollte Gas mittelfristig aus dem Energiesystem herausgenommen werden. Diese energiepolitische Zielvorstellung konnte zukunftsweisend korrigiert werden.

## Forschungscluster Gas im Systemverbund

Das Forschungscluster Gas im Systemverbund bewertet die Rolle innovativer Gastechnologien im Spannungsfeld zwischen steigender Energieeffizienz, sinkenden Treibhausgas-Emissionen und prognostizierten Klimazielkosten. Ziel ist die Erarbeitung einer Gesamtanalyse von Energieversorgungsketten vor dem Hintergrund der Systemstabilität in einer zunehmend volatilen, regenerativen Stromversorgung.

Bereits zu Beginn der Untersuchungen wurde deutlich, dass für eine bezahlbare, sichere und CO<sub>2</sub>-arme Energieversorgung das systemübergreifende Zusammenwirken der bisher weitgehend getrennten Energiesysteme Gas und Strom notwendig sein wird.

Die Forschungsarbeiten finden vor dem Hintergrund einer stark auf die regenerative Stromerzeugung ausgerichteten Energiewende statt. So sind die komplexeren Eigenschaften des Gases im Sinne eines kostenoptimierten Gesamtenergiesystems analysiert worden, um nachhaltige Gesamtlösungen zu erarbeiten. Dabei stand die Systemanalyse von Energieversorgungsketten mit besonderem Fokus auf die leitungsgebundenen gasförmigen Brennstoffe im Mittelpunkt. Als Bewertungskriterien wurden vor allem die Faktoren Energieeffizienz, CO<sub>2</sub>-Emissionen, Versorgungssicherheit, Integration erneuerbarer Energien sowie ökonomische Aspekte betrachtet.



### Besondere Schwerpunkte lagen dabei auf:

- ➔ der Ermittlung des energetischen Potenzials zur Senkung der Treibhausgas-Emissionen durch den Einsatz innovativer, hocheffizienter Gastechnologien und die Integration erneuerbarer Energieträger
- ➔ der energetischen und makroökonomischen Bewertung der Energiepfade unter besonderer Berücksichtigung des Gases vom Primärenergieträger bis zur Endenergie im Haushalt
- ➔ den Konvergenzpotenzialen von strom- und gasbasierten Energiesystemen. Hier ist insbesondere der Ausgleich der Volatilität der Stromproduktion aus Wind und Sonne zu bewerten. Die Umwandlung

überschüssigen regenerativen Stroms in einen speicherbaren chemischen Energieträger (Power-to-Gas) sowie die effiziente Rückverstromung mit intelligenter Abwärmenutzung durch Kraft- Wärme-Kopplung (dezentrale Erzeugung) stehen dabei im Fokus

- ➔ der effizienten Steuerung zunehmend komplexer und dezentraler Strukturen mit intelligenten Kommunikationstechnologien
- ➔ der Bewertung gasbasierter Kraft-Wärme-Kopplung für den Einsatz bei Residuallasten (fehlende Bedarfsdeckung durch Wind und Sonne) in Verbindung mit dem Optimierungspotenzial des Gebäudesektors



Investitionskosten nicht annähernd kompensieren. Insgesamt errechnen sich für das Szenario „Innovationsoffensive Gas“ spezifische Vermeidungskosten von ca. 30 €/t CO<sub>2</sub> und für das Szenario „Energiekonzept“ spezifische Vermeidungskosten in Höhe von ca. 120 €/t CO<sub>2</sub>.

## Schlüsseltechnologie Power-to-Gas

Eine weitere Studie bestätigte, dass chemische Energiespeicher die einzigen Optionen sind, erneuerbare Energien in großen Mengen und Leistungen langfristig zu speichern sowie bedarfsgerecht bereit zu stellen. Der Power-to-Gas-Technologie kommt dabei eine Schlüsselrolle zu, weil sie Überschussstrom in den stofflichen Energieträger Wasserstoff wandelt. Für deren Wirtschaftlichkeit sind Größe, Standort und Konfiguration der erforderlichen Anlagen sowie deren Fahrweise und die spezifische Kosten der Elektrolyseure von maßgeblicher Bedeutung. In der Projektion eines Zukunftsszenarios wurden für große Anlagen mit guter Auslastung Gesteuerungskosten für die erneuerbaren Gase von deutlich unter 10 ct/kWh ermittelt. Dabei sind die vermiedenen Kosten durch reduzierten Netzausbau beim Strom noch nicht mit betrachtet. Die Studien des Forschungsclusters löst die Power-to-Gas-Technologie auch aus der Betrachtung als „reiner“ Stromspeicher. Sie beschreibt die systemischen Vorteile von Power-to-Gas als Bindeglied eines volatilen, regenerativen Stromsystems mit einer flexiblen Gasinfrastruktur (**Abbildung 2**).



Abbildung 3, Quelle: Wuppertal-Institut auf Basis der BMU-Leitstudie 2010

## Power-to-Gas kann Stromnetzausbau dämpfen

In Deutschland besteht ein dringender Bedarf für den Ausbau des Stromnetzes sowie mittel- bis langfristig auch für große saisonale Speicherkapazitäten für die feststehenden neuen Stromerzeugungsbedingungen in der Energiewende (**Abbildung 3**). Das Gasnetz inklusive Speicher ist hierfür eine vielversprechende Option zur Lösung dieser Probleme.

Dazu sind in einer Studie exemplarisch ausgewählte Regionen hinsichtlich der zu erwartenden Stromüberschüsse, des Netzausbaubedarfs sowie der Nutzung des Energietransports mittel Power-to-Gas über das Gasnetz untersucht worden. Dabei wurden windreiche Gegenden im Norden und Osten Deutschlands betrachtet. Das Fallbeispiel umfasste

konkret den Nord-Süd-Energietransport von durch Power-to-Gas hergestelltem Wasserstoff im bestehenden Gasnetz. Es konnte nachgewiesen werden, dass auf Grund der Kapazitäten von Gasnetz und Gasspeichern der im Norden anfallende Wasserstoff grundsätzlich aufgenommen werden kann.

Mit den angenommenen Speicher- und Leitungsgrößen ist auch der Abtransport des Wasserstoffs aus der Überschussregion im Jahr 2020 möglich. Die freien Ausspeisekapazitäten im Süden sind ausreichend, um elektrische Leistung in Höhe der nicht übertragbaren Leistung bereit zu stellen.

## Frühzeitiger Aufbau von Power-to-Gas-Kapazitäten sinnvoll



Abbildung 4, Quelle: Analyse des Klimaschutzpotentials der Nutzung von erneuerbarem Wasserstoff und Methan

### Wasserstoffbeimischung ins Erdgasnetz – Gegenstand weiterer Untersuchungen

Power-to-Gas beinhaltet neben der Methanisierung die Option, Wasserstoff direkt dem Erdgas beizumischen. Dazu sind umfangreiche Untersuchungen zur Verträglichkeit von Wasserstoff/Erdgas-Gemischen mit den heute im Gasnetz eingesetzten Komponenten durchgeführt worden. Demnach ist die bestehende Erdgasinfrastruktur für Wasserstoffbeimischungen im einstelligen Volumenprozentbereich geeignet. Es existiert aber noch Klärungs- und Forschungsbedarf hinsichtlich einiger zentraler Elemente wie etwa Erdgasspeicher, Gasturbinen und den Tanks von Erdgasfahrzeugen. Vertiefte Untersuchungen und wissenschaftliche Begleitforschungen zur Klärung der noch offenen Fragen sind derzeit Gegenstand von Folgeprojekten im

Rahmen der DVGW-Innovationsoffensive sowie in europäischen Netzwerken.

Das Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung hat auf makroökonomischer Ebene untersucht, ob und unter welchen Voraussetzungen sich die Power-to-Gas-Technologie im volkswirtschaftlichen Wettbewerb mit anderen CO<sub>2</sub>-Vermeidungstechnologien durchsetzen kann. Im volkswirtschaftlichen Gesamtmodell wird Power-to-Gas mit den zu erwartenden technischen und ökonomischen Parametern einem System von ca. 70 Energieumwandlungs- und Nutzungssystemen sowie CO<sub>2</sub>-Vermeidungstechnologien hinzugefügt. Das Rechenmodell optimiert aus volkswirtschaftlicher Sicht die minimalen Gesamtkosten, die nötig sind, um eine CO<sub>2</sub>-Reduzierung um 80 Prozent zu erreichen.

### Power-to-Gas versus CCS

Das Ergebnis ist dann positiv für Power-to-Gas, wenn CCS als CO<sub>2</sub>-Reduzierungsoption ausscheidet, was nach Lage der politischen Beschlüsse als wahrscheinlich anzunehmen ist. Etwa ab 2020 anwachsend werden je nach Szenario die derzeit diskutierten Beimischgrenzen von Wasserstoff mit einer Elektrolyseleistung von etwa 50 GW um das Jahr 2050 erreicht (**Abbildung 4**). Anschließend ist es in einem bestimmten Leistungsumfang sogar sinnvoll, Methanisierung des Wasserstoffs im Grundlastbetrieb aus Wasserstoffspeichern vorzunehmen.

Dies führt zu optimierten Anlagengrößen und -kosten bei der Methanisierung, so dass der zusätzliche Aufwand für die Methanisierung ab 2020 bei weniger als 2 ct / kWh liegt. Power-to-Gas senkt nach diesen Berechnungen den sich ohne Power-to-Gas einstellenden CO<sub>2</sub>-Zertifikatspreis um 15–20 Prozent. Als weiterer wichtiger Aspekt wird die Möglichkeit herausgestellt, mit Power-to-Gas regenerativen Brennstoff in die dafür schwer zugänglichen Sektoren Verkehr und Wärme einzuschleusen.

Es muss nicht besonders betont werden, dass eine auch 2050 noch existierende Gasversorgung auf signifikante Beimischungen von regenerativen Gasen angewiesen sein wird.

## Forschungscluster Smart Grids

Das Forschungscluster Smart Grids untersucht Optionen zur technisch und wirtschaftlich optimalen Verknüpfung der Gas- und Stromnetze als maßgeblichen Baustein einer effizienten, sicheren und nachhaltigen Energieinfrastruktur. Um die Energiewende erfolgreich umsetzen und flexibel auf die Einspeisung regenerativer Energie reagieren zu können, braucht Deutschland eine angepasste Netzinfrastruktur.

Neben der Verbindung der erneuerbaren Energiequellen mit den Energieinfrastrukturen (Gas-, Strom- und Tankstellennetz) ist die Lösung der Energiespeicherfrage für Strom der Schlüssel zur Energiewende. Durch die enge Verbindung der Gas- und Stromnetze kann die Versorgung der Kunden mit erneuerbaren Energien auf dem in Deutschland gewohnten Spitzenniveau gesichert werden. Gleichzeitig kann die Power-to-Gas-Technologie als Zugang zu einer Langfristspeicheroption dazu beitragen, den Stromnetzausbau zu dämpfen.

Die in Deutschland bestehenden 500.000 Kilometer hochwertiger Gasnetzinfrastruktur transportieren mit 1.000 Milliarden Kilowattstunden Gas etwa die doppelte Menge Energie wie das deutsche Stromnetz mit rund 540 Milliarden Kilowattstunden. Rechnet man noch die Speicherkapazität von ca. 230 Milliarden Kilowattstunden Erdgas hinzu, erschließt sich das enorme Potenzial, welches das Erdgas-Leitungsnetz als Speichermedium für erneuerbare Energie haben könnte.

Im Blickpunkt der Forschungsarbeiten des Clusters Smart Grids stehen daher



insbesondere die Einspeisepotenziale für erneuerbare Gase (Methan und Wasserstoff) als auch die Lastverschiebungsmöglichkeiten (z.B. durch bivalente Betriebsmittel auf der Gasnetzseite) zur Entlastung der Stromverteilnetze.

Neben der Bewertung von Smart Grids im Sinne der engeren Verbindung von Strom- und Gasnetz wurden auch die Integrationsmöglichkeiten von Biogas ermittelt. Hierzu wurde eine Studie erarbeitet, die unter Berücksichtigung von boden- und grundwasserseitigen Randbedingungen die Biogaspotenziale im Spannungsfeld der Nachhaltigkeit des Energiepflanzenanbaus und der Verwertung der Gärprodukte sowie

der Einspeisepotenziale in das Gasnetz bewertet.

### Road Map für Smart Gas Grids

Ein zentrales Forschungsvorhaben hat die Anforderungen an Smart (Gas) Grids formuliert und dabei mit Netzbetrieb, Lastverschiebung aus dem Strom- in das Gasnetz und Energiespeicherung drei Haupthandlungsfelder beschrieben. In diesen Bereichen wurden smarte Elemente (z.B. bivalente Antriebe und Vorwärmanlagen), welche die zukünftig benötigten Funktionalitäten bereitstellen, identifiziert und definiert. Die Auswahl von geeigneten smarten Elementen, die in der Praxis neben

technischen und wirtschaftlichen Aspekten auch von der jeweiligen Markttrolle des Betreibers abhängig sind, wird durch ein Bewertungswerkzeug – „Smart Bench“ – unterstützt, das ebenfalls im Rahmen der Projekte entwickelt wurde (**Abbildung 5**). Die empfohlene zeitliche Abfolge der nächsten Schritte zur Transformation der Energiesysteme wurde in den Handlungsempfehlungen dargelegt und in einer Road Map zusammengefasst.

Als eine wesentliche Aufgabe wurde die Errichtung von Pilotanlagen zur Energiespeicherung (Power-to-Gas) und Lastverschiebung identifiziert. Hierzu ist es erforderlich, den Beitrag, den diese Anlagen zur Integration der erneuerbaren Energien leisten können, bezogen auf konkrete Standorte zu verifizieren sowie geeignete Netzebenen für eine Verbindung der Energiesysteme zu ermitteln.

### Smarte Kopplungselemente können Netzausbau verringern

Die Umsetzung dieser Aufgaben erfolgt im Rahmen eines weiteren Forschungsvorhabens am Beispiel konkreter Strom- und Gasnetze der EWE-Netz GmbH. Die Standorte wurden so ausgewählt, dass sie einerseits Netzbereiche mit hoher Einspeisung erneuerbarer Energien darstellen und damit den Bedarf an Entlastung aufweisen und andererseits auch auf andere Gebiete in Deutschland übertragbar sind.

Erste Zwischenergebnisse zeigen, dass der Einsatz von smarten Kopplungselementen, die die Verbindung der Infrastrukturen Strom und Gas ermöglichen – insbesondere von Power-to-Gas – ländliche Stromnetze spürbar entlasten und so den erforderlichen Netzausbau signifikant verringern kann (**Abbildung 6**).

Für typische ländliche Niederspannungsnetze mit einer geringen Hausanschlussdichte und einem starken Zubau von Photovoltaik-Anlagen können durch den Einsatz von Power-to-Gas-Anlagen die Netzausbaukosten bis 2050 um bis zu 60 Prozent verringert werden. Voraussetzung hierfür ist der netzgeführte Einsatz der Kopplungselemente, bei dem das Smart-Grid-System abhängig von der lokalen Einspeise- und Lastsituation den zulässigen Leistungsbereich der Power-to-Gas-Anlage dynamisch vorgibt. Dadurch verringert sich auch der Netzausbaubedarf im überlagerten Mittelspannungsnetz. Diese Einsparung kann der Anlage bilanziell zugeschrieben werden. Ein marktgeführter Einsatz würde zwar einen höheren Deckungsbeitrag etwa über die Teilnahme am Regenergiemarkt erwirtschaften können. Dieser erfordert aber einen zusätzlichen Netzausbaubedarf.

Zudem sind die hohen Investitionskosten für die Power-to-Gas-Anlage derzeit noch die größte Herausforderung. Für Elektrolyseure im 100 kW Bereich müssen die spezifischen Investitionskosten für die Gesamtanlagen auf 1000 €/kW sinken. Indem Technologieentwicklungen und verbesserte Herstellungsverfahren eingesetzt werden, können im Zusammenhang mit einem wachsenden Absatz die erforderliche Kostenreduktionen erwartet werden.

Ein wissenschaftliches Folgeprojekt überführte die Erkenntnisse aus den Potenzialabschätzungen in die Praxis. Die Analysen an realen Netzen lieferten wertvolle Unterstützung bei der Auswahl geeigneter Kopplungspunkte zwischen dem Strom- und Gasnetz sowie bei der Ermittlung von Grenzkosten für die Kopplungselemente.



## Gasnetzplanung und Biogaspotenziale verschneiden

Mit Biogas steht der Gasinfrastruktur eine regenerative Komponente zur Verfügung. Derzeit wird ein Großteil des erzeugten Biogases direkt verstromt. Im Sinne einer verbesserten Nutzung von Biogas für die Einspeisung in die Gasnetze wurden in einem Forschungsvorhaben die unter Nachhaltigkeitsaspekten erzeugbaren Biogasmengen ermittelt und eine modellhafte Verschneidung mit der Gasinfrastruktur vorgenommen.

Unter Einbeziehung von Fachleuten und Institutionen aus Landwirtschaft, Biogaswirtschaft sowie der Energie- und Wasserwirtschaft wurden in einer weiteren Untersuchung die Biogaspotenziale in Deutschland erarbeitet. Mit dieser

spartenübergreifenden Potenzialstudie wurde aufgezeigt, inwieweit die politischen Ausbauziele auch unter den Aspekten des vorsorgenden Boden- und Gewässerschutzes und einer effizienten Gasversorgung zu erreichen sind. Um Aussagen über die zukünftige Entwicklung bei den Substratmengen treffen zu können, wurde eine substratspezifische Prognose für die Jahre 2015, 2020 und 2030 erstellt.

Neben der möglichen Entwicklung des Substrataufkommens wurden auch zusätzliche Faktoren, wie etwa der demografische Wandel und die voraussichtliche Entwicklung der Tierhaltung zu Grunde gelegt. Die Erzeugungspotenziale aus diesen verschiedenen Substraten wurden dann schrittweise abgestuft ermittelt, vom theoretischen Potenzial über das technische und nachhaltige Potenzial bis hin zum

wirtschaftlich erzeugbaren Potenzial. Diese Erzeugungspotenziale wurden mit den räumlich aufgelösten, ganzjährig verfügbaren Einspeisemöglichkeiten im Gasnetz abgeglichen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass unter Nachhaltigkeitsaspekten, d.h. auch unter Berücksichtigung der Anforderungen an den vorsorgenden Boden- und Gewässerschutz sowie der Energieeffizienz, im Jahr 2020 8,6 Milliarden Kubikmeter und im Jahr 2030 10,3 Milliarden Kubikmeter Biomethan pro Jahr erzeugt und in das deutsche Gasnetz eingespeist werden könnten und somit die politische Zielsetzung grundsätzlich zu erfüllen wäre (**Abbildung 7**). Um diese Ziele zu erreichen, müsste allerdings ein Großteil der bestehenden Biogasanlagen zu Einspeiseanlagen umgerüstet werden.



## Forschungscluster Power-to-Gas

**Unter Power-to-Gas wird allgemein die Energieumwandlung von zunehmend entstehendem Überschussstrom mittels Elektrolyse in Wasserstoff oder synthetisches Methan verstanden. Die Umwandlung erlaubt indirekt die Stromspeicherung in großen Mengen und stabilisiert damit das Stromsystem.**

Das Cluster begann seine Arbeit mit einer Bestandsaufnahme im Bau befindlicher oder bereits laufender Power-to-Gas-Demonstrationsanlagen sowie einer Darstellung ihrer Spezifika. Die Projektanzahl in diesem frühen Stadium der neuen Energieumwandlungstechnik und die breite Streuung der jeweiligen spezifischen Standortkonzepte zeigen, dass Power-to-Gas eine facettenreiche Technologie ist. Sie ist damit weit mehr als ein Zugang zu einer großtechnologischen Stromspeicherung. Die heute noch recht aufwendigen Einzelanlagen, die im Zuge von Demonstrationsvorhaben bundesweit projektiert sind, müssen für einen wirtschaftlichen Betrieb standardisiert und energetisch verbessert werden. Insbesondere das technologische Herzstück, die Elektrolyse, muss noch kostenoptimiert werden.

Das Forschungscluster Power-to-Gas untersuchte im Einzelnen die technologischen und gaswirtschaftlichen Bedingungen und Verbesserungspotenziale, die für einen effizienten Einsatz dieser Speichertechnologie notwendig sind. Darüber hinaus wurde erkannt, dass Power-to-Gas weitere vielfältige Optionen bietet, etwa die der Entlastung der Stromnetze durch die Verschiebung von Energieströmen in das Gasnetz. Grüner Strom als Gaserzeugungsquelle kann aber

auch der Herstellung eines alternativen Kraftstoffs für den Mobilitätssektor dienen oder zur Erhöhung der Produktionsraten von Biomethananlagen eingesetzt werden.

Neben den technischen und wirtschaftlichen Anforderungen an eine Power-to-Gas-Anlage arbeitete das Cluster aber auch an der Problematik der Einspeisung neuer Gase in das öffentliche Gasnetz – sei es in Form von Wasserstoff-Erdgasgemischen oder durch synthetisches Erdgas. Dabei wurden die Auswirkungen auf den Brennwert untersucht sowie Methoden und Messverfahren identifiziert, die für alle ab-

rechnungsrelevanten Prozesse eichamtlich anerkannt sind. Zudem sind weitere Untersuchungen zur Frage notwendig, welche Anwendungen und Infrastrukturkomponenten eine Beimischung des Wasserstoffs zum Erdgas begrenzen (**Abbildung 8+9**). Das technische Regelwerk lässt derzeit Beimischungen im einstelligen Prozentbereich zu, verlangt aber eine Einzelfallbetrachtung der Bewertung nachgelagerter Versorgungsstrukturen.



Abbildung 8, Quelle: Wasserstofftoleranz der Erdgasinfrastruktur inkl. aller assoziierten Anlagen



## Katalytische Methanisierung von Wasserstoff: Optimierte Systemintegration mit einer Biogasanlage

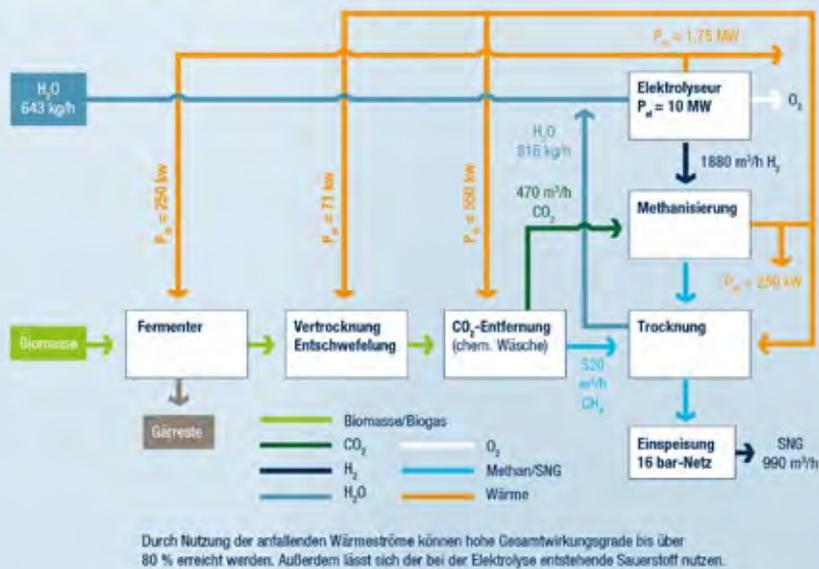


Abbildung 10, Quelle: Technoökonomische Studie von Power-to-Gas-Konzepten Teilprojekt Methanisierung – Eine Alternative zur direkten Wasserstoffeinspeisung

Alles in allem sind unter den gegenwärtigen regulatorischen Rahmenbedingungen derzeit alle Geschäftsansätze für sich separat betrachtet unrentabel. Die Herausforderung wird darin bestehen, durch die effektive Kombinationen verschiedener Ansätze einen Markteintritt von Power-to-Gas zu ermöglichen. Hierfür gibt es vielversprechenden Konzepte, die vom DVGW weiterverfolgt werden.

Datenströme und Informationsverarbeitung wie bei der Brennwertverfolgung wird aus dem Erdgasverteilssystem ein smart grid.

In einer technoökonomischen Studie zu Power-to-Gas wurden Planungsgrundlagen von ersten Power-to-Gas-Anlagen als Basis für die Definition von Mindestanforderungen herangezogen. Außerdem konnten Erfahrungen bei der Genehmigungsplanung des Gasnetzanschlusses erfasst und bewertet werden. Zudem sollte die Power-to-Gas-Option mit Methanisierung anhand folgender Leitfragen ganzheitlich bewertet werden: Welche Standorte sind aufgrund des Kohlendioxidbezugs für solche Anlagen prädestiniert? Wie sind die unterschiedlichen Synthesegase in Bezug auf ihren „carbon footprint“ zu bewerten? Ziel war die energetische sowie ökonomische Bewertung von verfahrens-

technischen Konzepten und die Ableitung eines optimierten Designs einer 10-MW-Methanisierungs-Musteranlage.

### Ökonomische Bewertung von Power-to-Gas-Optionen

In techno-ökonomischen Betrachtungen wurden verschiedene Power-to-Gas-Pfade miteinander verglichen. Zum einen wurde ermittelt, wie der Beitrag zur Stabilisierung des Stromsystems zu bewerten ist, wenn kein anderer Stromspeicher verfügbar ist und wie die Bereitstellung von Regelernergie zu bepreisen ist. Zum anderen ging es auch um eine Bewertung der Dekarbonisierung der Mobilität, d.h. der Bereitstellung eines quasi-emissionsfreien Kraftstoffes. Schließlich konnte auch der Beitrag von Power-to-Gas zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen monetär bewertet werden.

## Forschungscluster Gaserzeugung und -aufbereitung

Das Forschungscluster Gaserzeugung und -aufbereitung untersucht verfahrenstechnische Fragestellungen der Erzeugung gasförmiger Brennstoffe auf Basis regenerativer Quellen. Ziel ist die Erweiterung des Rohstoffspektrums, insbesondere in Richtung biogener Reststoffe. Außerdem steht die Optimierung der Prozesskette bei der Erzeugung, Aufbereitung und Einspeisung von Gas im Hinblick auf ökologische, ökonomische und energieeffizienzseitige Faktoren im Mittelpunkt des Forschungsinteresses.

Die Erzeugung und Einspeisung von Methan aus Biomasse bieten die Möglichkeit, die Gasversorgung klimafreundlicher zu gestalten. Außerdem könnte mit den verfügbaren technischen Potenzialen der Rückgang der deutschen Erdgasproduktion kompensiert werden. Die Ergebnisse dieses Forschungsclusters flossen direkt in die systemanalytischen Betrachtungen sowie in die Projekte zum Netzmanagement ein. Wasserwirtschaftliche Fragestellungen wurden in Zusammenarbeit mit den zuständigen DVGW-Fachgremien und den Experten des Technologiezentrums Wasser (TZW) bearbeitet.

### Folgende Leitfragen standen dabei besonders im Mittelpunkt:

- ➊ Wie kann der energetische Gesamtwirkungsgrad der Biomethanprozesskette bei gleichzeitiger Senkung der Gestehungskosten erhöht werden?
- ➋ Wie können die bei Erzeugung und Einspeisung anfallenden Methanemissionen am wirkungsvollsten gemessen werden?
- ➌ Sind beim Untersuchen innovativer Konversions- und Aufbereitungsverfahren verschiedene Verschaltungsmöglichkeiten zwischen den einzelnen Verfahrensstufen identifizierbar und systemanalytisch bewertbar?
- ➍ Wie sehen die Potenziale und die Verwendbarkeit von kommunalen und industriellen Rest- und Abfallstoffen als Substrate für die Biogasgewinnung, die Nutzung der Gärreste als Dünger und die besonderen Anforderungen bei der Aufbereitung zu Erdgassubstitut im Vergleich zueinander aus und wie halten sie einer Bewertung stand?

Ziel der Forschungsvorhaben war es, die Prozesskette von der Biogaserzeugung bis zur Biogaseinspeisung zu analysieren sowie ökologische Aspekte bei der Biogaseinspeisung sowie der Gärreistaufbereitung und -verwertung zu berücksichtigen. Zur Bewertung der energetischen Gesamtwirkungsgrade sind die Gesamtprozessketten der zentralen Verstromung in Großkraftwerken mit der dezentralen Nutzung von gasförmigen Brennstoffen mit Kraft-Wärme-Kopplung verglichen worden.

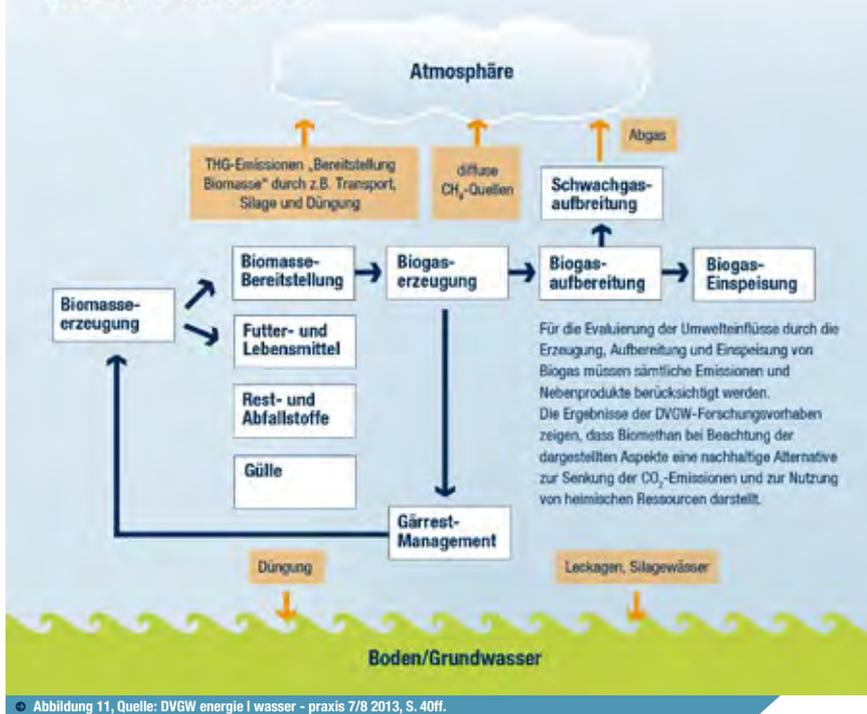
Neben der technisch-wissenschaftlichen Grundlagenarbeit zur thermochemischen Erzeugung von synthetischem Erdgas (SNG) aus Biomasse war das Monitoring verschiedener Biomethananlagen mit Fokus auf biogenen Reststoffen als Einsatzstoff und neuartigen Gasaufbereitungsverfahren ein weiteres wichtiges Forschungsfeld. Ein anderer Arbeitsschwerpunkt war die Bewertung von Emissionen entlang der Biomethanprozesskette. Hierzu wurden Emissionsmessungen an Nachbehandlungssystemen zur Eliminierung der bei der Gasaufbereitung im Schwachgas anfallenden Methanemissionen durchgeführt sowie ein hubschrauberbasiertes Verfahren zur quantitativen Methanferndetektion an Biogasanlagen getestet.

### Verfahrenstechnische Neuentwicklungen

Im assoziierten BMBF-Vorhaben „B2G – Innovative Erzeugung von gasförmigen Brennstoffen aus Biomasse“ wurde unter anderem ein neuartiges, für die Aufbereitung und Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz optimiertes Fermentationsverfahren entwickelt. Bei diesem wird bereits bei der Fermentation ein Produktgas mit im Vergleich zu herkömmlichen Verfahren deutlich erhöhtem Methangehalt erzeugt und zusätzlich bei erhöhtem Druck bereitgestellt.

Durch diese Vorteile kann der Aufwand für die Gasaufbereitung und -einspeisung deutlich verringert werden, da insbesondere die energieintensive Biogasverdichtung entfällt oder minimiert werden kann. Als weitere verfahrenstechnische Neuentwick-

## Wechselwirkungen der Biogaserzeugung mit der Umwelt



lung wurde ein auf ionischen Flüssigkeiten basiertes Waschverfahren entwickelt, das im Vergleich zum Stand der Technik deutliche Vorteile hinsichtlich Energieverbrauch und Prozessintensivierung aufweist.

### Monitoring Biogaseinspeisung II

Die Messungen an den neu untersuchten Verfahren zur Gasaufbereitung im Projekt „Monitoring Biogas II“ zeigten mit den anderen Aufbereitungsverfahren vergleichbare gute Ergebnisse. Die im Regelwerk geforderten Gasbeschaffenheitswerte wurden durchweg eingehalten. Die Unter-

suchungen zur Probenahme und Analyse von organischen Siliziumverbindungen zeigten unter realen Bedingungen große Unterschiede, insbesondere hinsichtlich Nachweisgrenzen, Messgenauigkeiten und Anwendbarkeit, während unter Laborbedingungen vergleichbare Ergebnisse erzielt wurden. Die untersuchten Verfahren sind grundsätzlich für die Probenahme an Biogasanlagen geeignet, wobei die Verfahren vor Einsatz auf die vor Ort anzutreffenden Randbedingungen angepasst werden müssen. Ebenfalls erfolgreich waren die Feldtests mit dem Ferndetektionssystem CHARM® an einer

Biomethananlage. Hierbei konnte nachgewiesen werden, dass Methanemissionen ausreichend genau quantifiziert werden können und eine moderne einspeisende Biogasanlage mit gasdichtem Gärrestlager diffuse Methanverluste von ca. 0,3 Prozent der Einspeisemenge aufweisen. Weiter wurde im Vorhaben nachgewiesen, dass der Methanschluß über das Schwachgas durch den Einsatz von Nachbehandlungssystemen sicher unter dem in der Gasnetzzugangsverordnung geforderten Wert von 0,2 Prozent gehalten werden kann.

### Energie- und Kosteneinsparungen bei Biogasaufbereitung

Ein weiteres, wichtiges Ergebnis ist, dass die neu entwickelten Verfahren der Druckfermentation und der Biogasaufbereitung mit ionischen Fluiden Primärenergieeinsparungen von 20 bis 25 Prozent bei Kosteneinsparungen von mehr als 20 Prozent erwarten lassen (**Abbildung 12**). Zudem konnten gasförmige Emissionen entlang der Biomethanprozesskette und das Gefährdungspotenzial bei der Ausbringung von Gärresten detailliert evaluiert werden. Während die gasförmigen Emissionen bei Auslegung nach Stand der Technik unproblematisch sind, können Gärreste je nach Ursprung der Einsatzstoffe mit organischen Schadstoffen, Medikamenten oder Schwermetallen und problematischen Mikroorganismen belastet sein.

### Ergebnisse mit hoher Praxisrelevanz

Die Ergebnisse haben einerseits eine hohe Praxisrelevanz für die derzeit verfügbare Biomethantechnologie und für die in

## Energieeinsparpotenziale bei der Biogasaufbereitung mit ionischen Flüssigkeiten

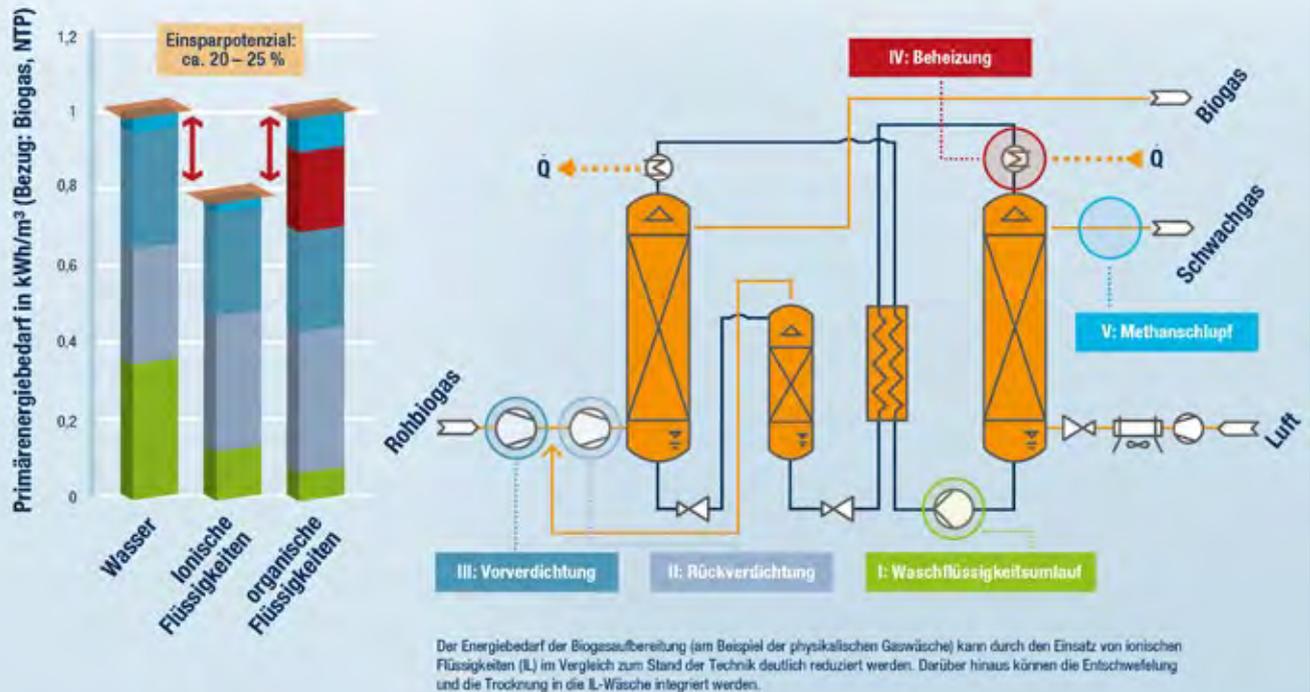


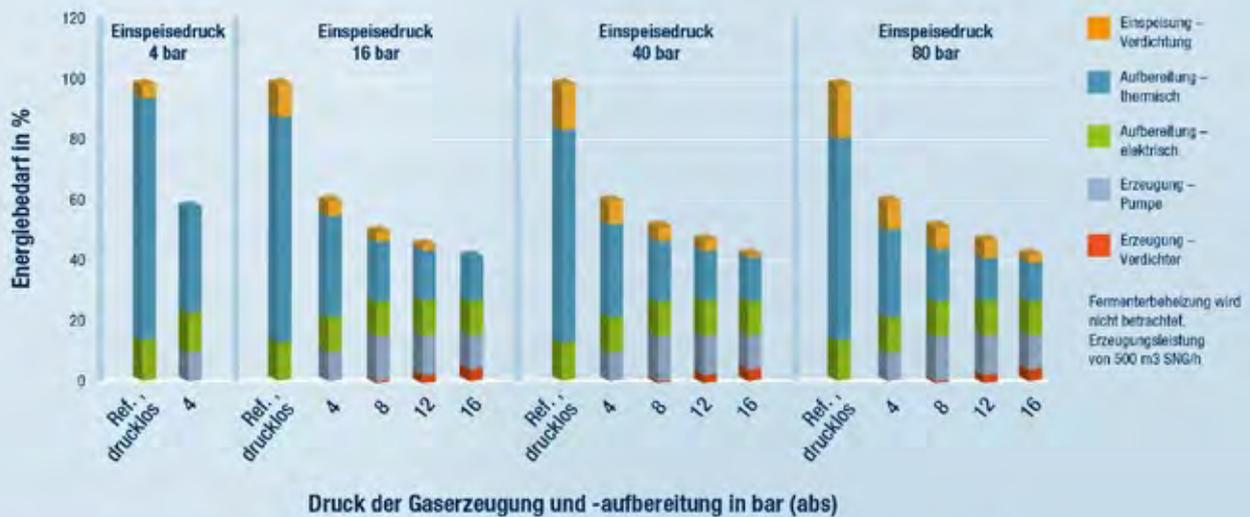
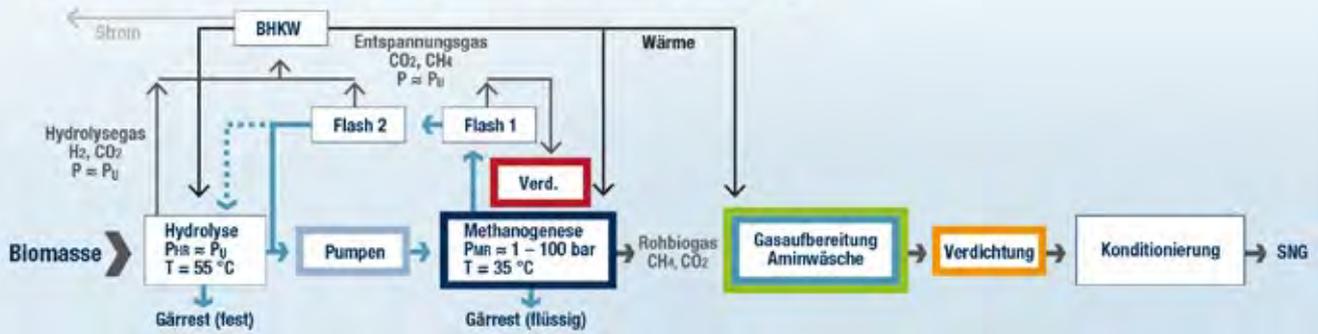
Abbildung 12, Quelle: BMBF-Vorhaben „B2G - Innovative Erzeugung von gasförmigen Brennstoffen aus Biomasse“ (www.b-2-g.de)

Deutschland bereits vorhandenen Biogaseinspeiseanlagen. Insbesondere die verfahrenstechnischen Neuentwicklungen zeigen Entwicklungspotenzial hinsichtlich der Steigerung von Energie- und Kosteneffizienz auf und können damit die gesellschaftliche und politische Diskussion über die zukünftige Nutzung von Bioenergie in Deutschland positiv beeinflussen. Außerdem können die Erkenntnisse für die Kopplung von biogenen Prozessen mit Power-to-Gas-Konzepten von Nutzen sein. Die Erkenntnisse sollten insbesondere für die Gestaltung von Pilot- und Demonstrationsvorhaben Verwendung finden, um eine zeitnahe Überführung der innovativen Konzepte in die Praxis zu ermöglichen.

Außerdem sollte die Kopplung mit Power-to-Gas-Konzepten (z.B. biologische Methanisierung) noch stärker untersucht werden.

Durch die Vernetzung mit öffentlich geförderten Forschungsvorhaben im Bereich der regenerativen Energien konnten zusätzliche Projektmittel in Höhe von etwa fünf Millionen Euro mit Bezug zu den Themen dieses Clusters sowie des Clusters Power-to-Gas eingeworben werden.

## Zweistufige Druckfermentation bietet Effizienzvorteile bei der Biomethanerzeugung



Energiebedarf der Biogasprozesskette mit zweistufiger Druckfermentation im Vergleich zum Stand der Technik für unterschiedliche Einspeise- bzw. Netzdrücke. Durch die Gaserzeugung unter Druck steigt der Energiebedarf für das Pumpen der Prozessflüssigkeit, jedoch weniger stark als der Energieaufwand für die Gasaufbereitung und -verdichtung absinkt. Dadurch kann eine deutliche Effizienzsteigerung erreicht werden.

Abbildung 13, Quelle: BMBF-Vorhaben „B2G - Innovative Erzeugung von gasförmigen Brennstoffen aus Biomasse“ (www.b-2-g.de)

## Forschungscluster KWK/Anwendungstechnik

**Das Forschungscluster KWK/Anwendungstechnik beschäftigt sich mit Fragestellungen rund um innovative Gas-Plus-Technologien – ausgehend von den Einzeltechnologien bis hin zu umfassenden Gesamtsystemanalysen. Es werden Nutzungskonzepte definiert und effiziente Speichertechnologien sowie die Rolle der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) in dezentralen Versorgungsstrukturen untersucht, damit ein hocheffizienter Anlagenbetrieb unter Gesamtsystemaspekten gesichert werden kann.**

Mit den Ergebnissen der DVGW-Innovationsoffensive zu den KWK-Technologien stellten sich nun die Fragen nach Nutzungskonzepten und Optimierungen für Gebäude. Unterschieden wurden dabei verschiedene Objekttypen: Nichtwohngebäude und Wohngebäude, unterteilt in Ein- und Mehrfamilienhäuser.

### Folgende Aspekte standen dabei im Mittelpunkt der Untersuchungen:

- Energetische/exergetische Betriebsoptimierung und Optimierung des Gesamtsystems „Gebäude“ unter Einbeziehung der gesamten Energieversorgungsstruktur „Strom, Gas und Wärme“
- Analysen zur Einbindung von regenerativen Energien
- Analysen zum Potenzial der Energiespeicherung; Nutzungskonzepte unter Berücksichtigung neuer Speichertechnologien (Entkopplung des KWK-Systems vom Gebäude als notwendigen Schritt zum stromgeführten Betrieb: Smart Home, Virtuelles Kraftwerk)
- Kälte-/Klimatisierungskonzepte als sinnvolle Erweiterung der dezentralen Abwärmenutzung

- Analysen der Auswirkungen und Einflüsse auf Betriebsverhalten und Effizienz

Die grundsätzliche Vorgehensweise berücksichtigte dabei unter anderem Analysen von Lastgängen und Nutzerprofilen, die Weiterentwicklung der Kompetenzen für Simulationen mit dem Simulationstool Modelica sowie die Initiierung und Begleitung von Demonstrationsprojekten, insbesondere mit einer Anknüpfung zu Smart Home/Smart Grids, sowie den Nachweis einer nachhaltigen CO<sub>2</sub>-Reduktion.

Hinsichtlich der Gas-Plus-Technologien (Gasbrennwert plus Solarthermie, Gaswärmepumpe und KWK) waren weitere Aspekte in der Fragestellung zu bearbeiten

- Ausarbeitung und Validierung von Betriebsstrategien (Heizen und Klimatisieren) mit optimierter Energiespeicherung in Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden
- Berücksichtigung unterschiedlicher Sanierungszustände von Gebäuden beim Umbau auf einen möglichst effizienten Betrieb
- Einfluss von Gasbeschaffensänderungen, insbesondere der Einfluss von Wasserstoff auf das Betriebsverhalten und die Effizienz von Gas-Plus-Technologien sowie Einfluss der Methanzahländerung auf Otto-Motorische KWK

### Wirkungsgrade und Primärenergieeinsparung typischer KWK-Technologien bis 5 kWel

| Kwk-Technologie | Thermischer Wirkungsgrad | Elektrischer Wirkungsgrad | Gesamtwirkungsgrad | Primärenergieeinsparung* |
|-----------------|--------------------------|---------------------------|--------------------|--------------------------|
| Stirling        | 85 % – 90 %              | 12 % – 16 %               | 98 % – 102 %       | bis 21 %                 |
| Otto            | 60 % – 70 %              | 22 % – 26 %               | 87 % – 94 %        | bis 24 %                 |
| Brennstoffzelle | 25 % – 62 %              | 30 % – 60 %               | 83 % – 95 %        | bis 35 %                 |

\* Primärenergieeinsparung gegenüber getrennter Erzeugung mit GuD (52,5%) und BW (90%) nach Richtlinie 2004/8/EWG (Jahresmittelltemperatur 8° C und vollständige Stromeinspeisung in das Niederspannungsnetz)

➤ Tabelle 1, Quelle: Kraft-Wärme-Kopplung im System Gebäude/Anlagentechnik

### Solarthermie, Wärmepumpen, Mikro-KWK-Anlagen

Die Solarthermie eignet sich insbesondere im Neubaubereich zur Erfüllung

gesetzlicher Vorgaben, die die Nutzung von erneuerbaren Energien fordern. Die Brennwerttechnologie, als etablierte Standardtechnologie, besitzt Optimierungsmöglichkeiten in Kombination mit Solarthermie sowohl für die Einbindung solarer Brauchwassererwärmung als auch insbesondere zur Heizungsunterstützung.

Gaswärmepumpen stellen eine hocheffiziente Alternative für die Gebäudebeheizung dar. Relativ neu ist der Einsatz von Solarkollektoren als Umweltwärmequelle. Durch die potenziell höheren Temperaturen gegenüber anderen Umweltwärmequellen ist eine größere Effizienz zu erwarten. Eine optimale Integration in das System „Anlagentechnik mit Umweltwärmeeinkopplung und Gebäude“ ist gerade bei Wärmepumpen besonders wichtig für den effizienten Betrieb. Dabei ist auch das Nutzerverhalten zu beachten. Mikro-KWK-Anlagen zur Bereitstellung von Strom und Wärme sind zunehmend am Markt verfügbar und gelten als hocheffiziente Alternative zu konventionellen Heizungsanlagen insbesondere im Wohnungsbau. Mikro-KWK-Systeme können zur Erfüllung der Klimaschutzziele und zur Erhöhung des Anteils von KWK-Strom an der Gesamtstromerzeugung beitragen.

### Gas-Plus-Technologien auf dem Prüfstand

Auf Basis von Gebäudepotenzialermittlungen und Geräte- bzw. Anlagentechnik- und -anordnungen sowie unter Einarbeitung der gesetzlichen Vorgaben und Auflistung der Fördermöglichkeiten wurden Sanierungsmodelle für definierte Referenzobjekte gebildet.

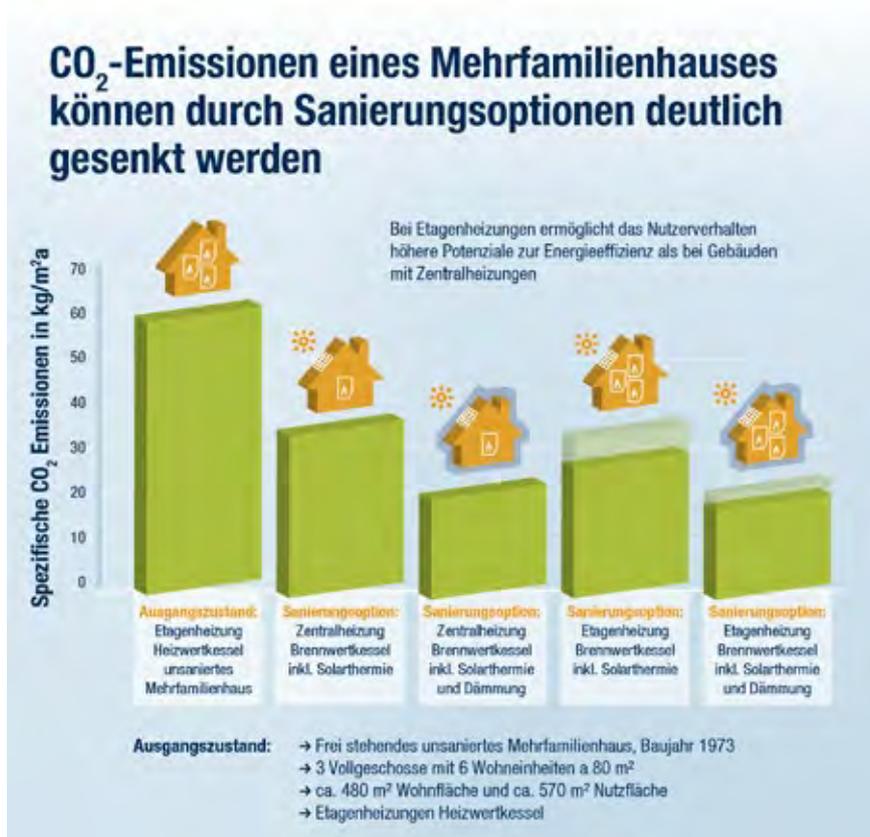


Abbildung 14, Quelle: Sanierungskonzepte für Mehrfamilienhäuser

Auslegungsrechnungen zur energetischen Sanierung mit Hilfe von vereinfachten Planungshilfen unterschiedlicher Hersteller und Fachverbände führten nur in Einzelfällen zu ökologisch und ökonomisch ausgewogenen Ergebnissen. Grund hierfür ist die Komplexität der Systeme. Nach Recherchen zu bestehenden Anlagenkonzepten und deren Auslegungskriterien wurden daher eigene Anlagenbeispiele berechnet. Umfangreiche Parameteranalysen an Systemtechnologien wurden durchgeführt, um die die Effizienz beeinflussenden Einflussgrößen isolieren zu können. Simulationsmodelle mit dem Programmsystem „Modelica“ zur Gesamtsystemanalyse

erlauben außerdem die Abbildung dynamischer Vorgänge.

In den Projekten wurden sowohl klassische Brennwertkessel als auch die Gas-Plus-Technologien (Gaswärmepumpen und Mikro-KWK-Anlagen) untersucht. Des Weiteren wurde die Umweltwärmeeinkopplung insbesondere durch Solarthermie sowie durch Erdsonden und Flächenkollektoren ausführlich behandelt. Neben Marktübersichten zu den einzelnen Gas-Plus-Technologien wurden Eignungsvergleiche auf Basis theoretischer und experimenteller Untersuchungen durchgeführt. Dazu wurden neueste Prüfmethode angewandt und verifiziert,

die eine dynamische Betriebsweise unter Berücksichtigung eines reproduzierbaren Nutzerprofils ermöglichten. Damit konnten praxisnähere Prüfungen von Gesamtsystemen etabliert werden (Tabelle 1).

Des Weiteren wurden Abwärmepotenziale, mögliche Kombinationen von Anlagentechnik und der synergetische Einsatz in Verbindung mit Dämmmaßnahmen betrachtet. Es wurden ferner Feldtestdaten zu den einzelnen Anlagen ausgewertet, um einen Vergleich zwischen Labordaten und Daten aus der praktischen Anwendung zu ermöglichen sowie Einflussparameter durch Nutzerverhalten und gebäudespezifische Parameter zu studieren. Das Nutzerverhalten zum grundsätzlichen Umgang mit Primärenergie und Energieeffizienz wurde im Rahmen einer Online-Umfrage mit 1.000 Teilnehmern erfasst. Die Ergebnisse fließen in den Bewertungsteil mit ein, welcher die Sanierungsalternativen nach den Kriterien Primär- und Endenergiebedarf, Emissionen und ökonomischen Gesichtspunkten beleuchtet (Abbildung 14).

## Ergebnisse und Empfehlungen für Systeme in Neubau und Bestand

Aus Sensitivitätsanalysen über die wichtigsten Dimensionierungskriterien lassen sich Ableitungen und Empfehlungen für geeignete Systeme in Neubau und Bestand geben. Kombinierte Systeme aus Brennwert und Solarthermie eignen sich besonders im Neubaubereich zur Erfüllung der gesetzlichen Anforderungen an die Nutzung von regenerativen Energien.

Die Potenziale dieser Systeme können jedoch nur dann optimal ausgeschöpft werden, wenn der Betrieb einer Solarthermieanlage bereits im frühen Planungsstadium des Bauobjektes berücksichtigt



Abbildung 15, Quelle: Chancen für die Kraft-Wärme-Kopplung im Wohnungsbau, RWTH Aachen EONERC EBC

wird. Für den Bestand ist die Formulierung von allgemeingültigen Empfehlungen erschwert, da hier die wesentlichen Randbedingungen bereits vorgegeben sind. Für den effizienten Betrieb einer Solaranlage ist die Bedeutung einer adäquaten Regelung hervorzuheben.

Die Auswahl einer geeigneten Umweltwärmequelle ist generell abhängig von den Randbedingungen des Gebäudes zu treffen. Grundwasser als Wärmequelle verspricht die beste Effizienz über das gesamte Jahr. Allerdings ist die Realisierung kostenintensiv und die Genehmigungslage kompliziert. Beim Einsatz einer Gaswärmepumpe wird weniger Umweltwärme benötigt als bei einer vergleichbaren

Elektrowärmepumpe. Es hat sich für die Gaswärmepumpe gezeigt, dass bei guter Auslegung auf die Rahmenbedingungen des Objektes die Anforderungen des Wärmegesetzes (EEWärmeG) zum regenerativen Anteil erfüllt werden können.

Es kann weiter gezeigt werden, dass alle am Markt verfügbaren KWK-Systeme bei Auslegung auf den jeweiligen Gebäudewärmebedarf energetisch hocheffizient eingesetzt werden können. Aus dem weiterführenden Vergleich von Mikro-KWK-Systemen mit einem Brennwertsystem, einer Elektro- oder Gaswärmepumpe als Zusatzheizgerät wird abgeleitet, dass Kombinationen von hocheffizienten Technologien unter ökologischen Aspekten sinnvoll

sein können. Die Untersuchungen zur Substitution der elektrischen Warmwasserbereitung in Wasch- und Spülmaschinen identifizieren eine weitere Steigerung der Laufzeit eines KWK-Systems. Dies kann zum Beispiel zum Glätten von Lastspitzen genutzt werden.

### Kombination von Dämmung und KWK-Systemen

Ein weiterer Untersuchungsansatz befasst sich mit der synergetischen Kombination von Dämmung und KWK-Systemen. Das primärenergetische und ökologische Optimum kann bei der kombinierten Umsetzung erreicht werden.

In Bezug auf den Einsatz von Mikro-KWK-Systemen lässt sich zeigen, dass hohe Stromkennzahlen mit einer vergleichsweise hohen Effizienz und Laufzeit direkt zusammenhängen. Aus der Analyse kann weiterhin hergeleitet werden, dass die Maximierung der Stromeigennutzung zu einer Verbesserung der Wirtschaftlichkeit führt. Folglich stellen die KWK-Laufzeit und der Stromeigennutzungsanteil die zentralen Einflussgrößen für die optimale Dimensionierung von KWK-Systemen aus wirtschaftlicher Sicht dar.

Die Ergebnisse führen zu Handlungsempfehlungen für eine kurzfristig umsetzbare Sanierung im Gebäudebestand nach ökologischen und ökonomischen Kriterien. Die Informationen aus den Sanierungsmodellen sind sowohl für wohnungspolitische Entscheidungsträger als auch für Investoren ein Instrument für deren strategische Planung. Dezentrale Versorgungsstrukturen sollten vor allem im Mehrfamilienhausbereich beibehalten werden. Als zentrales Ergebnis kann festgehalten werden, dass das Potenzial der Gas-Plus-Technologien im



Abbildung 16, Quelle: DVGW

Kontext der Energiewende beträchtlich ist, da ein deutlicher Mehrwert in der energetischen Sanierung von Gebäuden erreichbar ist. Damit können umfangreiche Dämmmaßnahmen auf ein energetisch sinnvolles Minimum reduziert werden, bei gleichem CO<sub>2</sub> Reduktionspotenzial.

Die Ausweitung der Öffentlichkeitsarbeit ist durch die projektbezogene Errichtung von Demonstrationszentren an den beteiligten Instituten vorangetrieben worden. Eine Sensibilisierung von Nutzern, Anlagenbe-

treibern und Installateuren mit der komplexen Technologie wird durch praxisnahe Schulungen und Weiterbildungsmaßnahmen vorgenommen (**Abbildung 16**).

# Projektübersicht der DVGW-Innovationsoffensive Gas

## ➔ Cluster | Gas im Systemverbund

| Projekt-Titel   | Beteiligte   | 1. Halbjahr |      | 2. Halbjahr |      |      |      |   |   |   |
|---|--|-------------|------|-------------|------|------|------|---|---|---|
|   |  | 2010        | 2011 | 2012        | 2013 | 2014 | 2015 |   |   |   |
| Bewertung der Energieversorgung mit leitungsgebundenen gasförmigen Brennstoffen im Vergleich zu anderen Energieträgern Teil I<br>Systemanalyse Teil I   | DBI · DVGW-EBI · GWI   | ●           | ●    |             |      |      |      |   |   |   |
| Bewertung der Energieversorgung mit leitungsgebundenen gasförmigen Brennstoffen im Vergleich zu anderen Energieträgern Teil II - Einfluss moderner Gastechologien in der häuslichen Energieversorgung auf Effizienz und Umwelt<br>Systemanalyse Teil II | DBI · DVGW-EBI · GWI ·<br>Forschungszentrum Jülich<br>IEK-STE  |             | ●    | ●           |      |      |      |   |   |   |
| Entwicklung von modularen Konzepten zur Erzeugung, Speicherung und Einspeisung von Wasserstoff und Methan ins Erdgasnetz  | DBI · DVGW-EBI · E.ON ·<br>Fraunhofer IWES · OGE ·<br>VNG Gasspeicher  |             | ●    | ●           |      |      |      |   |   |   |
| Modelica-Simulation des Systems Nutzer/Gebäude/Anlagentechnik   | GW I · RWTH Aachen EONERC<br>EBC · XRG   |             | ●    | ●           | ●    |      |      |   |   |   |
| Synergieeffekte Gas- und Stromnetze – Nutzung von Gasnetzen und -speichern für die Integration von Strom aus erneuerbaren Energien und zur Entlastung der Stromnetze  | DBI · Wuppertal Institut   |             |      | ●           | ●    | ●    |      |   |   |   |
| Analyse des Klimaschutzpotentials der Nutzung von erneuerbarem Wasserstoff und Methan   | PIK  |             |      |             | ●    | ●    |      |   |   |   |
| Untersuchung des Beitrags der dezentralen Kraftwärmekopplung zur Deckung der Residuallast aus erneuerbaren Stromerzeugern und Stromverbrauch  | DBI · DVGW-EBI ·<br>Forschungszentrum Jülich<br>IEK-STE · Fraunhofer IWES ·<br>GW I · RWTH Aachen EONERC<br>EBC  |             |      |             |      |      | ●    | ● |   |   |
| Integration fluktuierender erneuerbarer Energien durch konvergente Nutzung von Strom und Gasnetzen KonStGas (BMU gefördert)   | DBI · DVGW-EBI · Forschungs-<br>zentrum Jülich IEK-STE ·<br>Fraunhofer IWES · GW I · KIT-<br>IIP · RWTH Aachen IAEW · TU<br>Clausthal ITE · TU Dresden |             |      |             |      |      |      | ● | ● | ● |

## ➔ Cluster | Smart Grids

| Projekt-Titel  | Beteiligte  | 1. Halbjahr |      | 2. Halbjahr |      |      |      |   |   |   |
|--|---|-------------|------|-------------|------|------|------|---|---|---|
|  |   | 2010        | 2011 | 2012        | 2013 | 2014 | 2015 |   |   |   |
| Smart Gas Grids I - Grundsätze für die Entwicklung von intelligenten Gas-Netzen  | DBI · DVGW-EBI  | ●           | ●    | ●           | ●    | ●    | ●    |   |   |   |
| Smart Gas Grids II - Entwicklung von Planungsgrundsätzen für die Einspeisung und den Transport regenerativer Energieträger                       | DBI · DVGW-EBI  | ●           | ●    | ●           | ●    | ●    | ●    |   |   |   |
| Potenzialstudie zur Einspeisung von nachhaltigen Erzeugung und Einspeisung gasförmiger, regenerativer Energieträger in Deutschland (Biogasatlas) | DBI · DVGW-EBI · DVGW-TZW ·<br>Fraunhofer UMSICHT                               |             |      | ●           | ●    | ●    | ●    | ● |   |   |
| Nutzen von Smart-Grid-Konzepten unter Berücksichtigung der Power-to-Gas-Technologie in Verteilnetzen   | DBI · DVGW-EBI · EWE ·<br>RWTH Aachen IAEW ·<br>Uni Wuppertal EVT               |             |      |             |      | ●    | ●    | ● |   |   |
| Studie über den Nutzen der PtG-Technologie zur Entlastung der 110-kV-Stromverteilungsnetze   | DBI · DVGW-EBI · E.ON<br>Avacon · EWE · RWTH Aachen<br>IAEW · Uni Wuppertal EVT |             |      |             |      |      |      | ● | ● | ● |

## ➔ Cluster | Gaserzeugung und -aufbereitung

1. Halbjahr  
2. Halbjahr

| Projekt-Titel   | Beteiligte   | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
|---|--|------|------|------|------|------|------|
| Energetische Betrachtung der thermochemischen Erzeugung von gasförmigen Brennstoffen und anschließender dezentraler Nutzung mit innovativen Verwendungstechnologien | DVGW-EBI   | ●    |      |      |      |      |      |
| Monitoring Biogaseinspeisung II   | DBI · DVGW-EBI   | ●    | ●    | ●    | ●    |      |      |
| Einsatz von industriellen und kommunalen Abfallstoffen für die Biogaseinspeisung  | DBI · DVGW-EBI · DVGW-TZW · GWI  |      |      | ●    | ●    | ●    | ●    |
| B2G (Biomass to Gas) – gasförmige Brennstoffe aus Biomasse (BMBF-gefördert)   | DVGW-EBI · EnBW · KIT-IIP · MIRO · TBM · Uni Hohenheim LAB · Uni Stuttgart IFK · ZSW | ●    | ●    | ●    | ●    | ●    | ●    |
| Speicherung elektrischer Energie aus regenerativen Quellen im Erdgasnetz – Wasser-Elektrolyse und Synthese von Gaskomponenten (BMBF-gefördert)                      | DVGW-EBI · EnBW · Fraunhofer ISE · h-tec · IOLITEC · Outotec                         |      | ●    | ●    | ●    | ●    | ●    |

## ➔ Cluster | Power-to-Gas

1. Halbjahr  
2. Halbjahr

| Projekt-Titel  | Beteiligte                          | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
|--|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Technoökonomische Studie von Power-to-Gas-Konzepten<br>→ Anlagenkonzepte und Betriebsoptimierung<br>→ Methanisierung - Eine Alternative zur direkten Wasserstoffeinspeisung<br>→ Wirtschaftlichkeit und Systemanalyse von Power-to-Gas-Konzepten | DBI · DVGW-EBI · Outotec · Uni Linz |      |      |      | ●    | ●    | ●    |
| Techno-ökonomische Studie zur biologischen Methanisierung bei Power-to-Gas-Konzepten   | DVGW-EBI · Krajete · MicrobEnergy   |      |      |      | ●    | ●    |      |
| Wasserstofftoleranz der Erdgasinfrastruktur inkl. aller assoziierten Anlagen   | DBI                                 |      |      |      | ●    | ●    | ●    |
| Einfluss von Wasserstoff auf die Energiemessung und Abrechnung   | DBI · E.ON · Uni Bochum             |      |      |      | ●    | ●    | ●    |
| Erweiterte Untersuchung und Strukturierung der Wasserstofftoleranz der Erdgasinfrastruktur   | DBI                                 |      |      |      |      | ●    | ●    |
| Untersuchungen zur Erhöhung der regulatorisch festgelegten Wasserstoffgrenze (2 Vol.-%) von CNG-Tanks für Erdgasneufahrzeuge   | DBI                                 |      |      |      |      | ●    | ●    |
| Chemische Speicherung erneuerbarer Energie durch Wasserstoffbeimengung in Porenspeichern - Grundlagen und in-situ Feldversuch  | RAG                                 |      |      |      |      | ●    | ●    |

# Projektübersicht der DVGW-Innovationsoffensive Gas

## Cluster | KWK/Anwendungstechnik

1. Halbjahr  
2. Halbjahr

| Projekt-Titel  | Beteiligte  | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
|--|---|------|------|------|------|------|------|
| „Smart Heating“: Brennwert plus Solarthermie im System Gebäude-/Anlagentechnik   | GWI   |      | ●    | ●    | ●    | ●    | ●    |
| Sanierungskonzepte für Mehrfamilienhäuser  | GWI   |      | ●    | ●    | ●    | ●    |      |
| Kontinuierliche Abgasabführung von Gaswärmepumpen mit Brennwertgeräten   | GWI   | ●    | ●    |      |      |      |      |
| Anwendungspotenziale von Gaswärmepumpen – Gaswärmepumpe mit Solarthermie im System Gebäude-/Anlagentechnik/Nutzer  | GWI   | ●    | ●    | ●    | ●    | ●    | ●    |
| Anwendungspotenziale von Gaswärmepumpen – Optimierung der Umweltwärmeinkopplung über Erdwärmesonden/Erdkollektoren/Außenluft   | DBI · DVGW-EBI · GWI · IGWP                               |      | ●    | ●    | ●    | ●    |      |
| Kraft-Wärme-Kopplung im System Gebäude-/Anlagentechnik   | GWI   | ●    | ●    | ●    | ●    | ●    | ●    |
| Anwendungspotenziale innovativer Gasanwendungstechniken – Brennstoffzellen im System Gebäude-/Anlagentechnik   | GWI   | ●    | ●    | ●    | ●    | ●    | ●    |
| Untersuchung der Auswirkungen von Gasbeschaffenheitsänderungen auf industrielle Anwendungen  | DBI · DVGW-EBI · GWI                                      |      | ●    | ●    | ●    | ●    | ●    |
| Untersuchungen zur Einspeisung von Wasserstoff in ein Erdgasverteilnetz – Auswirkungen auf den Betrieb von Gasanwendungstechnologien im Bestand, auf Gas-Plus-Technologien und auf Verbrennungsregelungsstrategien | DVGW-EBI · E.ON-Hanse · E.ON-Technologies · GWI · sh-netz |      |      |      | ●    | ●    | ●    |
| InnovationCity – Vom Labor in die Demonstration: KWK-Modellversuch zur CO <sub>2</sub> -Reduktion in der InnovationCity  | GWI   |      |      |      |      | ●    | ●    |

|   |   |
|---|---|
| <b>DBI-Gruppe</b>                       | DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH, Leipzig, und DBI-Gastechnologisches Institut gGmbH, Freiberg                   |
| <b>DVGW-EBI</b>                         | DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT), Karlsruhe        |
| <b>DVGW-TZW</b>                         | DVGW-Technologiezentrum Wasser, Karlsruhe   |
| <b>E.ON</b>                             | E.ON Energie Deutschland GmbH, München  |
| <b>E.ON Avacon</b>                      | E.ON Avacon AG, Helmstedt   |
| <b>E.ON Hanse</b>                       | E.ON-Hanse AG, Quickborn  |
| <b>E.ON Technologies</b>                | E.ON Technologies GmbH, Essen   |
| <b>EnBW</b>                             | EnBW Energie Baden-Württemberg AG, Karlsruhe  |
| <b>EWE</b>                              | EWE Aktiengesellschaft, Oldenburg   |
| <b>Forschungszentrum Jülich IEK-STE</b> | Forschungszentrum Jülich, Institut für Systemforschung und technologische Entwicklung (IEK-STE)                 |
| <b>Fraunhofer ISE</b>                   | Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE), Freiburg   |
| <b>Fraunhofer IWES</b>                  | Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES), Kassel                                     |
| <b>Fraunhofer UMSICHT</b>               | Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, Oberhausen                            |
| <b>GWI</b>                              | Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Essen   |
| <b>h-tec</b>                            | h-tec Wasserstoff-Energie-Systeme GmbH, Lübeck  |
| <b>IGWP</b>                             | Initiative Gaswärmepumpe (bis 2012, jetzt Zukunft ERDGAS e.V., Berlin)  |
| <b>IOLITEC</b>                          | IOLITEC Ionic Liquids Technologies GmbH, Heilbronn  |
| <b>KIT-IIP</b>                          | Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion, Karlsruhe |

|                           |  |
|---------------------------|--|
| <b>Krajete</b>            | Krajete GmbH, Linz, Österreich   |
| <b>MicrobEnergy</b>       | MicrobEnergy GmbH, Schwandorf  |
| <b>MIRO</b>               | MIRO Mineraloelraffinerie Oberrhein GmbH & Co. KG, Karlsruhe   |
| <b>OGE</b>                | Open Grid Europe GmbH, Essen   |
| <b>Outotec</b>            | Outotec GmbH, Frankfurt  |
| <b>PIK</b>                | PIK Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e. V., Potsdam   |
| <b>RAG</b>                | RAG Rohöl-Aufsuchungs Aktiengesellschaft, Wien, Österreich   |
| <b>RWTH Aachen IAEW</b>   | RWTH Aachen, Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft (IAEW), Aachen                           |
| <b>RWTH Aachen EONERC</b> | RWTH Aachen E.On Energy Research Center, Institute for Energy Efficient Buildings and Indoor Climate, Aachen |
| <b>EBC</b>                |  |
| <b>sh-netz</b>            | Schleswig-Holstein Netz AG, Quickborn  |
| <b>TBM</b>                | TBM Technologieplattform Bioenergie und Methan GmbH & Co. KG, Geislingen                                     |
| <b>TU Clausthal ITE</b>   | Technische Universität Clausthal, Institut für Erdöl- und Erdgastechnik                                      |
| <b>TU Dresden</b>         | Technische Universität Dresden   |
| <b>Uni Bochum</b>         | Ruhr-Universität Bochum (RUB), Lehrstuhl für Thermodynamik   |
| <b>Uni Hohenheim LAB</b>  | Universität Hohenheim, Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie (LAB)                                   |
| <b>Uni Stuttgart IFK</b>  | Universität Stuttgart, Institut für Feuerungs- und Kraftwerktechnik, Stuttgart                               |
| <b>Uni Wuppertal EVT</b>  | Bergische Universität Wuppertal, Lehrstuhl für Elektrische Energieversorgungstechnik                         |
| <b>VNG Gasspeicher</b>    | VNG Gasspeicher GmbH, Leipzig  |
| <b>Wuppertal Institut</b> | Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, Wuppertal  |
| <b>XRG</b>                | XRG Simulation GmbH, Hamburg   |
| <b>ZSW</b>                | Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW), Stuttgart                      |

# Impressum

## Herausgeber

DVGW Deutscher Verein des  
Gas- und Wasserfaches e. V.  
Technisch-wissenschaftlicher Verein  
Josef-Wirmer-Straße 1-3  
53123 Bonn

Tel.: +49 228 9188-5  
Fax: +49 228 9188-990  
E-Mail: [info@dvgw.de](mailto:info@dvgw.de)  
Internet: [www.dvgw.de](http://www.dvgw.de)

## Kontakt

Frank Gröschl  
Tel.: +49 228 9188-819  
Fax: +49 228 9188-945  
E-Mail: [groeschl@dvgw.de](mailto:groeschl@dvgw.de)

## Bildnachweis

Titelbilder:  
DVGW (Roland Horn, Berlin)  
Fotolia.com (Simon Kraus)  
Fotolia.com (artjazz)  
shutterstock.com (Nadezhda Shoshina)  
shutterstock.com (Juergen Faelchle)  
shutterstock.com (PeJo)

**1. Auflage 2014**

## Gestaltung

mehrwert intermediale kommunikation  
[www.mehrwert.de](http://www.mehrwert.de)

## Medienpartner

  
**DVGW**  
energie | wasser-praxis

**greenfacts**  
DAS MAGAZIN FÜR DIE ENERGIEWENDE!



Alle Abschlussarbeiten, Management-Summaries, Fachartikel sowie weitere Informationen finden Sie unter:

[www.dvgw-innovation.de](http://www.dvgw-innovation.de)