

Jetzt  
kaufen auf  
[shop.wvgw.de](http://shop.wvgw.de)

Als Print oder  
PDF-Download

Deutscher Verein des  
Gas- und Wasserfaches e.V.



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

# Roadmap Gas 2050 Energiesystemmodellierung zur quantitativen Bewertung der Rolle von Gas im zukünftigen Energiesystem - Ergebnisse der Leitplankenszenarien

## Deliverable D 4.2

**Prof. Dr. Martin Wietschel, Dr. Till Gnann, Dr. Tobias Fleiter, Benjamin Lux,  
Pia Manz, Dr. Benjamin Pfluger, Matthias Rehfeldt, Daniel Speth, Dr. Jan  
Steinbach**

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe

**Wolfgang Köppel**

DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut des KIT, Karlsruhe



**Herausgeber**

DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V.

Technisch-wissenschaftlicher Verein

Josef-Wirmer-Straße 1–3

53123 Bonn

T +49 228 91885

F +49 228 9188990

info@dvwg.de

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

**Roadmap Gas 2050  
Energiesystemmodellierung zur  
quantitativen Bewertung Rolle von Gas im  
zukünftigen Energiesystem - Ergebnisse  
der Leitplankenszenarien**

**Deliverable D 4.2**

September 2021

DVGW-Förderkennzeichen G 201824



## Zusammenfassung

Ziel des DVGW-Projekts Roadmap Gas 2050 ist die Entwicklung eines ganzheitlichen, zahlenbasierten Konzeptes zur Bereitstellung von klimaneutralen Gasen, zur Nutzung der Gasinfrastruktur für die Integration von regenerativen Gasen und zur Anpassung von Gasverwendungstechnologien. Anzumerken ist, dass die Studie vor der Novellierung des Klimaschutzgesetzes durchgeführt wurde. Dennoch ist davon auszugehen, dass die Tendenzen der Ergebnisse auch bei Beachtung der Novellierung gültig sind.

In diesem Bericht steht die Frage im Mittelpunkt, wie sich der künftige Energiebedarf und dabei insbesondere der Gasbedarf im Rahmen von zwei Leitplankenszenarien (Strom und Gas) in Deutschland bis 2050 bei einer Treibhausgasreduzierung von 95 % gegenüber 1990 entwickeln könnte, und wie das dafür notwendige Energiesystem zur Versorgung der Nachfrage gestaltet sein kann.

Die quantitativen Analysen in diesem Bericht werden modellgestützt mit simulierenden Nachfragemodellen und einem optimierenden Energiesystemmodell für Deutschland unter Berücksichtigung des europäischen Auslands vorgenommen. Detailanalysen zu Verteilnetzen von Strom, Gas und Wärme sind kein Untersuchungsgegenstand dieses Deliverables. Eine ausführliche Beschreibung der Modelle, der Vorgehensweise und der verwendeten Daten findet sich bereits fertiggestellten Deliverable 4.1 „Datengrundlagen und Rahmenbedingungen von gasbasierten Szenarien für die Energieversorgung in Deutschland“. Die Studie hat eine stark techno-ökonomische Energieperspektive. Aspekte eines Transformationspfades, wie heimische Arbeitsplätze oder den Einfluss von Politikmaßnahmen werden nicht betrachtet und mitbewertet. Es geht bewusst zunächst darum, technisch machbare und plausible Pfade aufzuzeigen. Weiterhin wurden für die Studie zwei Leitplankenszenarien verwendet, die bewusst "extrem" ausgestaltet sind und sehr klare, sich deutlich abgrenzende Strategien zur Defossilisierung des Energiesystems abbilden. Für die weitere Beschreibung ist wichtig anzumerken, dass Szenarien keine Vorhersage der Zukunft sind: Sie bilden mögliche Entwicklungen und techno-ökonomische Pfade unter verschiedenen Annahmen ab.

Die beiden Szenarien laufen unter der Zielsetzung der Treibhausgasneutralität bis 2050 und sind folgendermaßen ausgestaltet:

- **Strom-Leitplankenszenario:** In diesem Szenario wird die Defossilisierung maßgeblich durch eine starke direkte Elektrifizierung zum Ersatz fossiler Brenn- und Kraftstoffe vorangetrieben. Der Einsatz von PtX-Technologien wird auf die Bereiche beschränkt, in denen eine direkte Elektrifizierung nicht möglich oder sehr teuer ist.
- **EE-Gas+H<sub>2</sub>-Leitplankenszenario:** In diesem Szenario spielen synthetische Kohlenwasserstoffe, insbesondere synthetisches Methan, in allen Sektoren eine große Rolle. Aber auch Wasserstoff wird in das Methan bis 20 Vol.-% eingemischt und die stahl- und ammoniakherstellende Industrie wird über ein Back-Bone-Netz mit Wasserstoff versorgt.

Ein wesentlicher Unterschied der beiden Szenarien stellt die **Wärmenachfrage** in Gebäuden dar. Um die Auswirkung unterschiedlicher Sanierungsraten auf die beiden Szenarien zu untersuchen, wurde die Bandbreite von heutiger Sanierungsrate bis hin zu deutlich höheren Sanierungsraten durch die drei Varianten 0,8 %/a (im Folgenden als Sz08 bezeichnet), 1,4 %/a (Sz1,4) und 2 %/a (Sz20) definiert. So ergeben sich insgesamt 2 zu untersuchende

Leitplankenszenarien, die sich bei der Gebäudewärme noch einmal in jeweils drei Subsznarien unterteilen.

Ein Ergebnis ist, dass sich die Gasnachfrage (Summe aus Erdgas, erneuerbaren strombasierten Gas, Wasserstoff und Biogas) in beiden Szenarien deutlich unterschiedlich entwickelt. In 2050 liegt der Gasbedarf in den Nachfragesektoren Gebäude, Industrie, Verkehr und anderen Anwendungen im Haushalts- und Tertiärsektor (Gewerbe, Handel und Dienstleistungen) zwischen 350 TWh im Leitplankenszenario Strom-Sz20 und 940 TWh im Leitplankenszenario Gas-Sz08.

Die generelle Endenergiebedarfsentwicklung im Bereich der **Gebäudewärme** bis zum Jahr 2050 zeigt für das ambitionierteste Sanierungsszenario Sz20 durch höhere Sanierungsaktivität und Sanierungstiefe eine Reduzierung um 42 % gegenüber dem Basisjahr 2018/2019. Im Szenario mit geringeren Sanierungsraten Sz08 reduziert sich der Bedarf immerhin noch um 21%. Eine stark steigende Sanierungsrate führt erwartungsgemäß auch zu einem geringeren Gasbedarf. Von heute rund 330 TWh im Leitplankenszenario Gas-Sz08 sinkt sie bis 2050 um knapp 20% auf 272 TWh. Im Gas-Sz20 ist der Abfall deutlich mit einer Reduzierung auf 188 TWh. Im Leitplankenszenario EE-Gas+H<sub>2</sub> dominieren die Gasbrennwertkessel bis 2050. Ein klimaneutraler Gebäudebestand ist in diesem Szenario nur über den Einsatz von erneuerbarem Gas erreichbar. In dem Leitplankenszenarien Strom hingegen dominieren zur Gebäudewärmeversorgung die elektrischen Wärmepumpen. U.a. wird der Gaseinsatz hierdurch verdrängt. Er geht auf 89 TWh im Strom-Sz08 und 60 TWh im Strom-Sz20 in 2050 zurück. In den Stromszenarien ist zu vermuten, dass Gasverteilnetze in vielen heute versorgten Gebieten wirtschaftlich evtl. nicht mehr darstellbar sein könnten, was aber kein Untersuchungsgegenstand des Projekts darstellt.

Einen wesentlichen Einfluss auf die Entwicklung der Gasnachfrage haben auch die Szenarien für den Gaseinsatz in der **Industrie**. Im EE-Gas+H<sub>2</sub>-Szenario wird bis 2050 im breiten Einsatz synthetisches Methan (372 TWh) in allen Technologiebereichen der Industrie gesehen. Weiterhin hat sich gezeigt, dass auch in einer stark auf synthetischem Methan basierenden Industrie ein relevanter Bedarf nach Wasserstoff (96 TWh) besteht. Zur Versorgung der Industriestandorte mit dem im EE-Gas+H<sub>2</sub>-Szenario wichtigsten Energieträger Methan wird somit das Gasnetz in 2050 eine wichtige Rolle spielen, wobei die großen Industriestandorte der energieintensiven Sektoren die hauptsächlichen Treiber der regionalen Gas- und Wasserstoffnachfrage sind. Künftige Standortentscheidungen haben somit einen großen Einfluss auf die regionale Gasnachfrage und den Gastransport. Das Strom-Szenario ist 2050 durch den breiten Einsatz von Strom (307 TWh) in allen Technologiebereichen der Industrie gekennzeichnet. Gegenüber heute geht der Erdgaseinsatz stark zurück, während der Wasserstoff- und Biomasseinsatz deutlich steigt.

Im Vergleich zum Industriesektor und dem Gebäudesektor ist der Einfluss des **Verkehrssektors** auf die Gasnachfrage nicht so hoch. Im Leitplankenszenario EE-Gas+H<sub>2</sub> steigt er bis 2050 auf 80 TWh an, während er im Stromszenario auf sehr niedrigem Niveau verbleibt. Die eingeschränkte mögliche Rolle des Gases hier liegt u.a. darin begründet, dass in beiden Szenarien Batteriefahrzeuge (bei PKW und leichten LKW) eine dominante Rolle spielen.

In beiden Leitplankenszenarien steigt die Stromnachfrage deutlich an. Sie fällt im Leitplankenszenario Strom mit 1.025 TWh bei hohen Sanierungsraten und 1.120 TWh bei niedrigen Sanierungsraten deutlich höher aus als im EE-Gas+H<sub>2</sub>-Szenario mit 768 TWh bzw.

778 TWh. Da Strom bis 2050 weit überwiegend über Erneuerbare hergestellt wird, müssen in Deutschland und Europa hierfür die bestehende Potenziale sehr stark ausgebaut werden, was Fragen der Akzeptanz nach sich zieht - im Stromszenario noch mehr als im EE-Gas+H<sub>2</sub>-Szenario.

Im Leitplankenszenario Strom wird zentral hergestellter Wasserstoff im Umwandlungssektor in relevanten Umfang benötigt, um u.a. die Versorgungssicherheit sicherzustellen und die notwendigen Lastflexibilitäten zu liefern.

Der Kostenvergleich zeigt, dass sich sehr hohe Sanierungsraten und -tiefen volkswirtschaftlich unter den getroffenen Annahmen nicht rechnen. Unter Abwägung aller Aspekte erscheint die mittlere Sanierungsrate eine volkswirtschaftlich effiziente Lösung zu sein. Im Industrie- und Verkehrssektor sind die Kosten in den nächsten bis 2040 zwischen den Leitplankenszenarien nicht groß unterschiedlich, aber danach ist hier das Stromszenario deutlich günstiger, was wesentlich an Kosten für das synthetische Methan liegt. In dem Szenario ist Wasserstoff aufgrund des Szenariodesigns auf stoffliche Anwendungen beschränkt.

Es zu beachten, dass gemäß der Zielsetzung der Studie beim Szenariodesign die Szenarien recht stark Richtung der Verwendung von Strom als Hauptenergieträger bzw. Richtung synthetischen Gas ausgelegt wurden. Die Kostenperspektive oder gar die Erstellung eines möglichst günstigen Gesamtszenarios stand nicht im Zentrum der Zielsetzung der Analyse.





# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	1
2	Entwicklung der Energienachfrage .....	3
2.1	Entwicklung der Endenergieträgerpreise.....	3
2.2	Der Verkehrssektor .....	3
2.2.1	Methodik, Daten und Annahmen.....	3
2.2.1.1	Das Modell ALADIN.....	3
2.2.1.2	Ausgestaltung der Szenarien für den Verkehrssektor.....	5
2.2.1.3	Energieträgerpreise und Beimischungsquoten im Verkehr .....	5
2.2.1.4	Fahrzeugparameter .....	6
2.2.1.5	Annahmen für weitere Verkehrsträger .....	9
2.2.1.6	Technologische und energiepolitische Annahmen.....	9
2.2.2	Ergebnisse des Leitplankenszenario Strom .....	10
2.2.2.1	Endenergiebedarf .....	11
2.2.2.2	Detailanalysen .....	12
2.2.3	Ergebnisse des Leitplankenszenario EE-Gas+H <sub>2</sub> .....	20
2.2.3.1	Endenergiebedarf .....	20
2.2.3.2	Detailanalysen .....	23
2.2.4	Fazit für den Verkehrssektor .....	31
2.3	Der Industriesektor .....	31
2.3.1	Methodik, Daten und Annahmen.....	31
2.3.1.1	Das Modell Forecast.....	31
2.3.1.2	Ausgestaltung der Szenarien für den Industriesektor .....	33
2.3.1.3	Rahmendaten Industriesektor.....	35
2.3.1.4	Annahmen wichtiger Vermeidungsstrategien.....	37
2.3.2	Ergebnisse des Leitplankenszenarios Strom .....	43
2.3.2.1	Szenariodesign und Annahmen.....	43
2.3.2.2	Ergebnisse.....	44
2.3.3	Ergebnisse des Leitplankenszenarios EE-Gas+H <sub>2</sub> .....	48
2.3.3.1	Szenariodesign und Annahmen.....	48
2.3.3.2	Ergebnisse.....	49
2.3.4	Fazit Industriesektor .....	53
2.4	Der Gebäudesektor .....	55
2.4.1	Methodik, Daten und Annahmen.....	55
2.4.1.1	Das Modell Invert/ee-lab.....	55
2.4.1.2	Technologische und energiepolitische Annahmen.....	56
2.4.1.3	Differenzierung des Gebäudebestandes und der installierten Technologien.....	57
2.4.1.4	Abgrenzung des Gebäudesektors .....	59
2.4.1.5	Ausgestaltung der Szenarien und Annahmen.....	60
2.4.2	Ergebnisse des Leitplankenszenario Strom.....	62
2.4.2.1	Entwicklung des Endenergiebedarfs für Raumwärme und Warmwasser .....	62
2.4.2.2	Marktanteile Wärmeversorgung im Leitplankenszenario Strom.....	65
2.4.2.3	Regionale Verteilung des Endenergiebedarfs.....	66
2.4.3	Ergebnisse des Leitplankenszenarios EE-Gas+H <sub>2</sub> .....	69
2.4.3.1	Endenergiebedarf .....	69
2.4.3.2	Marktanteile im EE-Gas+H <sub>2</sub> -Szenario.....	73
2.4.3.3	Regionale Verteilung des Endenergiebedarfs.....	74
2.4.4	Fazit.....	76
2.5	Prozesse, Geräte, Beleuchtung und Klimatisierung in Haushalten und GHD.....	77
2.5.1	Methodik, Daten und Annahmen.....	77
2.5.1.1	Das Modell Forecast.....	77
2.5.1.2	Rahmendaten, technologische und energiepolitische Annahmen .....	77
2.5.2	Ergebnisse des Leitplankenszenarios Strom .....	78
2.5.2.1	Endenergiebedarf .....	78
2.5.2.2	Regionale Verteilung des Endenergiebedarfs.....	80

2.5.3	Ergebnisse des Leitplankenszenarios EE-Gas+H <sub>2</sub> .....	81
2.5.3.1	Endenergiebedarf .....	81
2.5.3.2	Regionale Verteilung des Endenergiebedarfs.....	84
2.5.4	Fazit Prozesse, Geräte, Beleuchtung und Klimatisierung in Haushalten und GHD.....	85
3	Angebotssektor .....	86
3.1	Methodik .....	86
3.2	Sektorspezifische Rahmendaten .....	87
3.2.1	Potential erneuerbarer Energien .....	87
3.3	Technologische und energiepolitische Annahmen .....	88
3.3.1	Gemeinsame Randbedingungen der Szenarien .....	88
3.3.2	Szenarien Gas.....	90
3.3.3	Szenarien Strom.....	90
3.4	Ergebnisse des Leitplankenszenarios Strom .....	91
3.4.1	Steckbrief deutsches Stromsystem .....	91
3.4.2	Steckbrief deutsche Fernwärmeerzeugung .....	96
3.4.3	Steckbrief Gasversorgung in Deutschland im Leitplankenszenario Strom .....	98
3.5	Ergebnisse des Leitplankenszenarios EE-Gas+H <sub>2</sub> .....	100
3.5.1	Steckbrief deutsches Stromsystem .....	100
3.5.2	Steckbrief deutsche Fernwärmeerzeugung .....	105
3.5.3	Steckbrief Gasversorgung in Deutschland im Leitplankenszenario EE-Gas+H <sub>2</sub> .....	107
3.6	Detailanalyse Stromsystem .....	109
3.6.1	Gesicherte Leistung durch gasbasierte Kraftwerke .....	109
3.6.2	Ausgleich von Angebot und Nachfrage .....	110
3.6.3	Ausnutzung der Potentiale erneuerbarer Energien.....	117
4	Treibhausgasemissionen.....	120
5	Kostenanalyse .....	122
5.1	Methodik und Abgrenzung.....	122
5.2	Ergebnisse.....	124
6	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen .....	129
7	Literaturverzeichnis.....	137
8	Abbildungsverzeichnis.....	139
9	Tabellenverzeichnis .....	143