

1 Management Summary

Das Ziel dieser Studie ist es, ein vollständiges Bild des Energiesystems der Zukunft im Jahr 2050 in Deutschland zu zeichnen. Dieses soll sich durch kosteneffiziente Treibhausgasneutralität auszeichnen und so eine nachhaltige und umweltverträgliche Energieversorgung sicherstellen. Zu diesem Zweck werden die Entwicklung des Energieaufkommens, der Energieverwendung und der Energieumwandlung untersucht. Der Fokus liegt auf der Frage, in welchen Bereichen und in welchem Umfang der Einsatz von Erneuerbaren Gasen technisch zwingend erforderlich und volkswirtschaftlich vorteilhaft ist. Unter Erneuerbaren Gasen werden im Rahmen dieser Studie Biomethan und aus erneuerbarem Strom synthetisch hergestellte Gase, d.h. Wasserstoff und Methan, verstanden.

Für das Jahr 2050 werden zwei Zielszenarien untersucht, die das Ziel der Treibhausgasneutralität auf unterschiedlichen Pfaden erreichen. Das Szenario *Maximale Elektrifizierung* (siehe Abbildung 1) spiegelt politische Erwägungen wieder, den gesamten Energiemarkt in Deutschland am Strommarkt auszurichten und alle Endkundensektoren soweit möglich zu elektrifizieren.

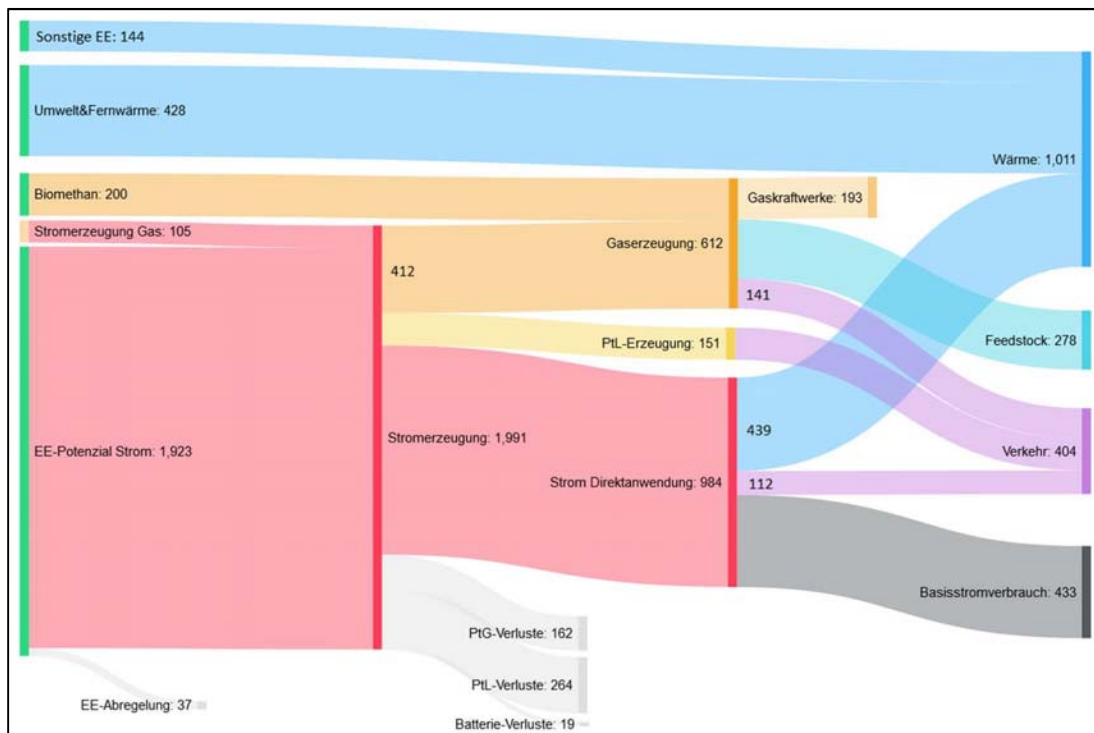


Abbildung 1: Energieaufkommen und Verwendung - Szenario *Maximale Elektrifizierung* im Jahr 2050¹

Das Szenario *Optimiertes System* (siehe Abbildung 2) hingegen ist im Hinblick auf die Erreichung der Treibhausgasneutralität technologieoffen und es werden auch andere Energieträger im Endkundenbereich zugelassen.

¹ Angaben in H_e

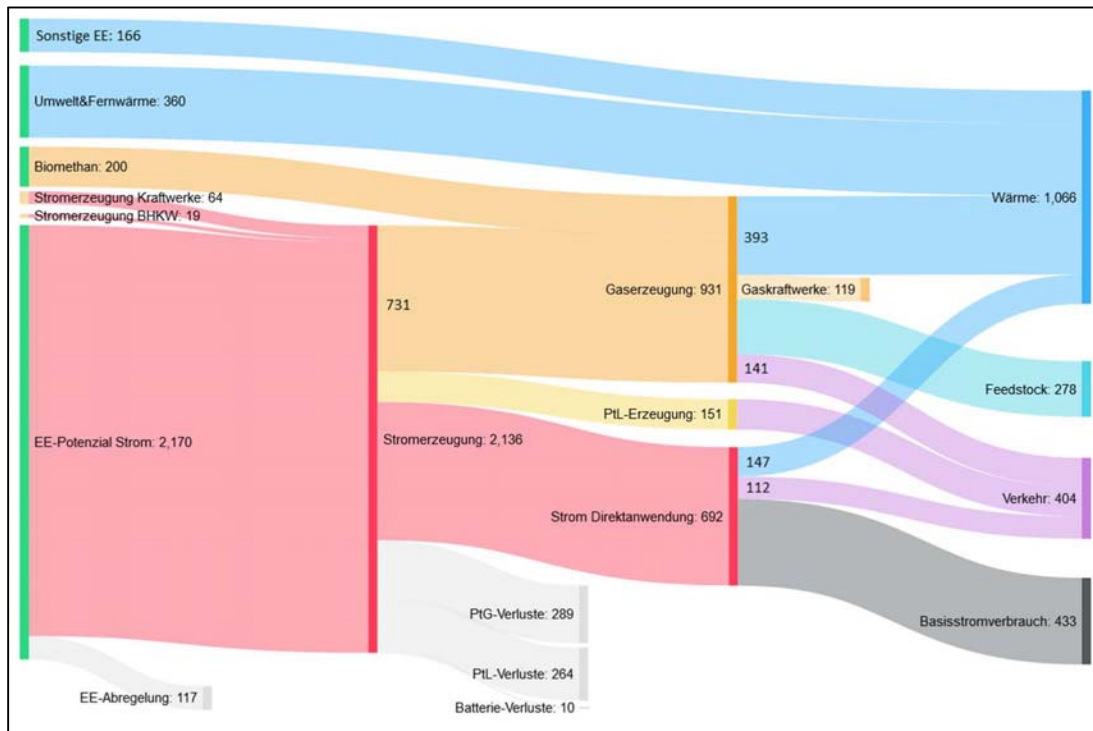


Abbildung 2: Energieaufkommen und Verwendung - Szenario *Optimiertes System* im Jahr 2050²

Im Rahmen der Studie werden die Quellen für mehr als 90% der Treibhausgasemissionen in Deutschland untersucht. Dies umfasst die Energieverbrauchssektoren Wärme, Verkehr, Strom und FeedStock. Die Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft sind hingegen nicht Gegenstand der Analysen. Auf diesen Sektor entfallen rund 8% der deutschen Treibhausgasemissionen.

Eine Betrachtung des FeedStock, also des industriellen bzw. stofflichen Einsatzes von Energieträgern in der Industrie, zeigt auf, dass dieser Sektor nur mit synthetisch hergestellten Kohlenwasserstoffketten dekarbonisiert werden kann. Ein direkter Vergleich der Power-to-Liquid- und Power-to-Gas-Technologien belegt, dass die kosteneffizienteste Möglichkeit in der Nutzung Erneuerbarer Gase besteht. In einem Energiesystem, das im Jahr 2050 Treibhausgasneutralität erreicht, werden daher unabhängig von dem untersuchten Szenario rd. 280 TWh an Erneuerbaren Gasen für den FeedStock benötigt.

Im Verkehrssektor zeigt sich ein differenziertes Bild. Werden weiche Faktoren, wie Reichweiten der Fahrzeuge und die Dauer des Ladevorgangs außer Acht gelassen, dann findet eine Dekarbonisierung des individuellen Pkw-Verkehrs auf Basis von Elektromobilen statt. Insbesondere im Luftverkehr muss jedoch auf Erneuerbare Energien zurückgegriffen werden, die mit Hilfe von Power-to-Liquid zuvor in Flüssigkeiten transformiert wurden, weil der Einsatz von erneuerbarem Strom derzeit technisch nicht möglich ist. Zwar ist im Bereich des Schiffs-güterverkehrs eine Elektrifizierung ebenfalls ausgeschlossen, allerdings können hier im Gegensatz zum Luftverkehr Erneuerbare Gase eingesetzt werden. Damit eröffnet sich diesem Verkehrsbereich eine kosteneffizientere Dekarbonisierungsmöglichkeit als mittels Power-to-

² Angaben in H₂

Liquid. Im Verkehrsbereich insgesamt werden deshalb im Jahr 2050, neben erneuerbarem Strom und Flüssigkeiten, auch etwa 140 TWh Erneuerbare Gase eingesetzt.

Auf den Wärmemarkt entfällt im Jahr 2050 fast die Hälfte des Endenergieverbrauchs. Für eine Dekarbonisierung des Verbrauchs stehen grundsätzlich Technologien zur Verfügung, um bestehende Heizungssysteme, die fossile Energieträger verwenden, mit strombasierten Systemen zu ersetzen. Hierbei kämen, neben Elektroheizer, vor allem Strom-Wärmepumpen zum Einsatz. Es zeigt sich jedoch, dass eine maximale Elektrifizierung des Wärmemarktes als ineffizient bezeichnet werden kann. Um das System zu optimieren und damit die volkswirtschaftlichen Kosten zu reduzieren, sollten fast 400 TWh Erneuerbare Gase im Wärmemarkt eingesetzt werden. Mit dem Einsatz von gasbasierten Heizsystemen, anstelle von Strom-basierten Wärmesystemen, können im Szenario *Optimiertes System* im Zeitraum von 2017 bis 2050 Kosten in Höhe von rd. 70 Mrd. € beim Letztverbraucher eingespart werden.

Bei Betrachtung des gesamten Energiesystems zeigt sich, dass die im Jahr 2050 installierte Leistung an Batteriespeichern, die zur Bereitstellung von Flexibilität für die strombasierten Systeme erforderlich ist, im Szenario *Optimiertes System* um 150 GW geringer ausfällt. Der Einsatz von gasbasierten Heizsystemen führt in der Folge zu einem Kostenvorteil von über 80 Mrd. € bis 2050. Weiterhin reduzieren sich die zur Überbrückung von Dunkelflauten benötigten Back-Up-Gaskraftwerke ebenfalls signifikant um mehr als die Hälfte, weil hohe Wärmeverbräuche in den Winterzeiten nicht im Strommarkt gedeckt werden müssen. Anstelle von über 110 GW sind nur noch knapp über 50 GW installierter Gaskraftwerkskapazitäten erforderlich. Dies führt zu einem weiteren Kostenvorteil von fast 100 Mrd. € bis 2050. Diese Einsparungen werden vor allem deshalb möglich, weil Flexibilitätsbedarfe des Energiesystems durch Erneuerbare Gase aus dem Stromsektor in den Gassektor verlagert werden. Dort decken dann die umfangreichen Flexibilitäten der Gasspeicher den Speicherbedarf.

Der größte Kostenvorteil des technologieoffenen Pfades besteht allerdings in einem reduzierten Ausbau des Strom-Übertragungsnetzes. Werden strombasierte Systeme anstelle von gasbasierten Heizsystemen eingesetzt, verdreifacht sich der erforderliche Stromnetzausbau auf der Transportebene, weil die saisonalen Verbrauchsspitzen in den Winterzeiten durch das Stromnetz transportiert werden. Diesen Ausbau erspart die Nutzung der Gasspeicher und Gasnetze zum Transport Erneuerbarer Gase und generiert in der Folge einen Kostenvorteil von rd. 160 Mrd. € bis 2050. Darüber hinaus ergeben sich bei einer Nutzung der vorhandenen Gasinfrastrukturen voraussichtlich auch signifikante Einsparungen auf der Ebene der Stromverteilungsnetze, die im Rahmen dieser Studie aber nicht näher quantifiziert wurden.

Die Analysen der Studie zeigen weiterhin, dass im Szenario *Optimiertes System* im Jahr 2050 ca. 2.170 TWh erneuerbarer Strom produziert werden müssen, um das Ziel der Treibhausgasneutralität zu erreichen. Dafür werden sowohl im Bereich Wind Onshore als auch im Bereich Photovoltaik-Freiflächen jeweils ca. 2% der Landesflächen zur Installation von erneuerbaren Erzeugungskapazitäten verwendet. Die EE-Produktion liegt dabei gegenüber einer Dekarbonisierungsstrategie, die auf eine maximale Elektrifizierung des Endenergieverbrauchs setzt, lediglich um 13% (247 TWh) höher. Dies sind insbesondere Wandlungsverluste, die beim Einsatz von Power-to-Gas entstehen. Es ergeben sich durch den stärkeren Ausbau von Photovoltaik-Freiflächen-Kapazitäten sowie der notwendigen Errichtung zusätzlicher Power-to-Gas-Anlagen zur Erzeugung der erforderlichen Erneuerbaren Gase Mehrkosten für das Szenario *Optimiertes System* in Höhe von rd. 410 Mrd. €.

In Summe über alle betrachteten Segmente des Energieaufkommens, der Energieverwendung und des Energietransportes ergibt sich, dass das Ziel der Treibhausgasneutralität im

Jahr 2050 mittels eines verstärkt auf dem Einsatz Erneuerbarer Gase basierenden Technologiepfades günstiger als bei einer maximalen Elektrifizierung des Energiesystems erreicht werden kann. Dieser Kostenvorteil beträgt 19 Mrd. € bis 2050.

Grundsätzlich wird ein zukünftiges erneuerbares Energiesystem, das im Jahr 2050 Treibhausgasneutralität erreicht, von erheblichen Residuallasten und saisonalen Verbrauchsstrukturen, insb. durch den Wärmeverbrauch geprägt sein. Um die dafür erforderlichen Energiemengen aus den erzeugungsstarken Sommermonaten in den Winter zu verlagern, werden Gasspeicher als erneuerbare Flexibilitätsquelle eine bedeutende Rolle im Energiesystem der Zukunft einnehmen müssen. Selbst in einem maximal elektrifizierten Energiesystem, werden Erneuerbare Gase in Höhe von über 200 TWh zwischen den Jahreszeiten verschoben. Diese Aufgabe ist technologisch nicht von den bekannten Stromspeicher-Technologien (Batterie- und Pumpspeicher) zu erfüllen.

Vor dem Hintergrund der analysierten Einsatzbereiche Erneuerbarer Gase kann festgehalten werden, dass ein Energiesystem im Jahr 2050 nur dann eine Treibhausgasneutralität erreichen kann, wenn Erneuerbare Gase in signifikantem Umfang (*Optimiertes System*: rd. 930 TWh) eingesetzt werden. Erneuerbare Gase können deshalb als ein erforderliches Systemupdate für die Energiewende bezeichnet werden.