

Auf dem Weg zum Netto-Null-Ziel Europas

Mit der Kombination aus erneuerbaren Energien und
Gaskraft die Energiewende beschleunigen

www.ge.com/gas-power/future-of-energy



Building a world that works

Vorwort

Der Klimawandel ist ein globales Problem, das dringend gelöst werden muss, und wir denken, wir können heute schon den Kampf aufnehmen und nicht erst in ein paar Jahrzehnten. Wir glauben, dass sowohl die Gaskraft als auch die erneuerbaren Energien eine wichtige und notwendige Rolle spielen. Gaskraftwerke treiben bereits den weltweiten Fortschritt voran, indem sie Kohlekraftwerke ersetzen. Gleichzeitig werden mehrere Möglichkeiten erforscht, wie für die Zukunft kohlenstoffarme bzw. -freie Gastechnologien entwickelt werden können. Europa ist führend auf dem Weg zu einem nachhaltigeren und widerstandsfähigeren Wirtschaftssystem. Wir glauben, dass der Energiesektor eine Schlüsselrolle bei der europäischen Dekarbonisierung spielen kann, wenn die Politik einen klaren, kalkulierbaren und förderlichen Rahmen setzt.

SCOTT STRAZIK CEO, GE GAS POWER

Durch den parallelen Einsatz von Gaskraft und erneuerbaren Energien kann Europa die Emissionen am schnellsten und wirksamsten senken und das Ziel der Klimaneutralität bis 2050 erreichen

Kurzfassung Zusammenfassung Europa hat sich zum Ziel gesetzt, den Ausstoß von Treibhausgasen (THG) bis 2050 auf Netto Null zu reduzieren.¹

Obgleich dieses Ziel eine gewaltige Herausforderung darstellt, legt es deutlich die tiefgreifenden Veränderungen dar, die herbeigeführt werden müssen, um die Ziele des Pariser Abkommens zu erreichen und den Klimawandel zu bekämpfen. Da es keine einheitliche Vorgehensweise gibt, um dieses Ziel bis 2050 zu erreichen, und die Ansätze von Land zu Land unterschiedlich sein werden, werden Flexibilität und der Einsatz vieler Technologien und Lösungen erforderlich sein.

Europa hat bereits erhebliche Fortschritte erzielt und die THG-Emissionen gegenüber 1990 um ~24 % reduziert² – auf dem Weg in Richtung mehr Nachhaltigkeit in der Wirtschaft geht es daher mit gutem Beispiel voran. Der Energiesektor ist durch die schnelle Einführung von erneuerbaren Energien und dem Kohleausstieg die treibende Kraft hinter der Dekarbonisierung³. Um den CO₂-Ausstoß noch schneller zu senken und klimapolitische Ziele umzusetzen, sind jedoch alle Wirtschaftszweige gefordert. Der Energiesektor kann dies nicht alleine bewältigen.

Während sich die Art der Energienutzung und -erzeugung rasch verändern wird, müssen alle verfügbaren Instrumente und die vorhandene Infrastruktur eingesetzt werden, um den Wandel verlässlich und finanzierbar zu gestalten. Eine transparente und berechenbare Politik wird entscheidend sein. Die von politischen Entscheidungsträgern gestalteten Rahmenbedingungen werden das Investitionsumfeld schaffen und die Länder letztlich in Richtung Dekarbonisierung führen.

Dabei ist der wirksamste Ansatz darauf ausgelegt, Anreize für die Verringerung der Kohlenstoffintensität zu geben und diese zu bemessen, kurzfristige Verbesserungen zu erzielen und gleichzeitig den Weg in Richtung Netto-Null-Emissionsziel zu gehen.

Zunehmend erschwingliche erneuerbare Energien werden die Dekarbonisierung der Energieerzeugung vorantreiben, aber sie werden nicht allein in der Lage sein, den Ausstoß auf null zu senken. Sie müssen daher durch Technologien ergänzt werden, die die Grenzen der erneuerbaren Energien überwinden und mit dem europäischen Netto-Null-Emissionsziel für 2050 vereinbar sind. Planbare Gaskraft verfügt über die Flexibilität, die notwendig ist, um ein verlässliches Energiekonzept mit einem hohen Anteil an variabler Wind- und Sonnenenergie umzusetzen. Darüber hinaus können Gasturbinen, die heute oder in Zukunft installiert werden, so umgerüstet werden, dass durch die Anwendung von Carbon Capture, Utilization and Storage (CO₂-Abscheidung, -Verwendung und -Speicherung, CCUS) bzw. die Verwendung von kohlenstoffarmen Brennstoffen wie Wasserstoff nur geringe bis fast gar keine CO₂-Emissionen entstehen. In Gasturbinen zu investieren, ist daher zukunftsfähig, da sie einen sofortigen Emissionsrückgang möglich machen.

Sowohl CCUS als auch Wasserstoff werden entscheidende Rollen bei der Dekarbonisierung des Stromsektors, aber auch der Sektorkopplung und der gesamten Wirtschaft spielen. Ein gangbarer Weg wird es sein, diese beiden Technologien in Industrieclustern zu entwickeln, bis die

Kostenreduktion einen breiteren Einsatz in ganz Europa ermöglicht.

Gaskraft kann, wenn in der Erzeugung erst einmal wenig bis fast gar kein CO₂ mehr entsteht, auch einen beschleunigten Kohleausstieg in Ländern erleichtern, in denen Kohle noch immer einen wesentlichen Anteil bei der Energieerzeugung ausmacht. Der beschleunigte Ersatz der Kohle wird erforderlich sein, um die kumulativen Emissionen in der Übergangsphase zu minimieren. Der Dekarbonisierungseffekt von Erdgas wird durch gezielte Maßnahmen zur Reduktion von Methanleckagen in der gesamten Gasversorgungskette noch verstärkt.

Als Technologie- und Serviceanbieter, der die gesamte Energiewertschöpfungskette bedient, betrachten wir bei GE die Energiewende aus einem einzigartigen Blickwinkel und verfügen über eine Reihe von ergänzenden Technologien, darunter Gaskraftwerke, in denen Wasserstoff und CCUS eingesetzt werden können, sowie über die für die Energiewende erforderlichen Lösungen. GE hat sich außerdem zum Ziel gesetzt, bis 2030 in seinen Anlagen und Betrieben CO₂-neutral⁴ zu werden. ■

¹ „Netto-Null-Emissionsziel für THG“ bedeutet, dass die verbleibenden Emissionen (die nicht auf null reduziert werden konnten) ausgeglichen werden, indem ein gleich hoher Anteil an CO₂ entfernt wird.

² Fortschritte, die vor der Covid-19-Pandemie bis 2019 erreicht wurden.

³ „Dekarbonisierung“ bezieht sich in diesem Papier auf die schrittweise Senkung der Treibhausgasintensität, durch Verringerung oder Vermeidung von Emissionen

⁴ CO₂-Neutralität soll in mehr als 1.000 Anlagen und Betrieben von GE auf der ganzen Welt bis 2030 erreicht werden, indem die direkten Emissionen und der Energieverbrauch vollständig reduziert werden.

Klimaneutralität erreichen

Europas gemeinsames Ziel der Klimaneutralität bis 2050, manifestiert im Europäischen Green Deal und anderen abgestimmten politischen Rahmenwerken, wird die Dekarbonisierungsaktivitäten in der gesamten Gesellschaft prägen. Es wird keinen alleinigen Ansatz geben, der für alle Länder gilt. Um das Ziel zu erreichen, ist eine flexible Herangehensweise erforderlich, die den Einsatz vieler Technologien ermöglicht.

Die Europäische Union (EU) hat sich mit dem Erreichen der Klimaneutralität bis 2050 ein klares Ziel gesetzt, das bald im Europäischen Klimagesetz schriftlich festgelegt wird. Die Länder des Europäischen Wirtschaftsraums (EWR) und das Vereinigte Königreich haben ähnliche Absichten. Dieses Ziel ist unerlässlich, um den Planeten und unsere Lebensweise zu schützen und die für eine CO₂-freie Wirtschaft notwendige Innovation und Transformation zu ermöglichen.

Der europäische Green Deal spiegelt diese Tatsache in seinem umfassenden Ansatz wider. Besonders wichtig ist es, mittelfristige Ziele schneller zu erreichen und dabei das Hauptaugenmerk auf klimapolitische Ambitionen bis 2030 zu legen. Diese sollten durch eine Überarbeitung der bestehenden klima- und energiepolitischen Rahmenbedingungen gestützt werden. Dazu werden Projekte für erneuerbare Energien und Energieeffizienz gefördert, indem marktwirtschaftliche Maßnahmen wie etwa der Emissionshandel ausgeweitet werden. Zusammen müssen diese Strategien eine Dekarbonisierung in kürzester Zeit herbeiführen und die kumulierten Emissionen auf Europas Weg zur Klimaneutralität so gering wie nur möglich halten.

Andere Länder außerhalb der EU haben diese Ambitionen gleichermaßen in Angriff genommen. Das Vereinigte Königreich war das erste Land der Welt, das rechtsverbindliche Zusagen zur Reduktion von Treibhausgasen gegeben hat. Norwegen, die Schweiz, Island und Liechtenstein (Mitglieder der Europäischen Freihandelszone) haben sich rechtlich dazu verpflichtet, bis 2050 oder früher das Netto-Null-Emissionsziel zu erreichen. Durch die Festlegung dieser Ziele in der Gesetzgebung sind die Regierungen verpflichtet, alle zukünftigen Maßnahmen auf das Ziel der Klimaneutralität auszurichten. Obgleich sie konkret natürlich nicht dem Ansatz der EU unterliegen, sind diese Länder trotzdem weiterhin eng mit der Wirtschaft und den Energiemärkten der EU verflochten und stimmen grundsätzlich überein, was die Notwendigkeit koordinierter klimabezogener Maßnahmen angeht. Vor diesem Hintergrund gelten viele Punkte, die in diesem Papier in Bezug auf die EU diskutiert werden, für Europa als Ganzes, auch wenn es einige Abweichungen gibt.

Europa ist nicht allein beim Kampf gegen den Klimawandel. Zusagen der USA, China und anderer Nationen bedeuten, dass ein Großteil der Weltwirtschaft bereits 2050 CO₂-frei sein könnte. Das Klimakrisis drängt, und die Vorteile und der Nutzen für die europäische Bevölkerung und die Volkswirtschaften können erheblich sein, wenn der Übergang effektiv gestaltet wird. Bei Europas Vorgehensweise steht deshalb noch mehr auf dem Spiel.

WIE EUROPA DIE KLIMAHerausforderungen in Angriff NIMMT

Europa hat erhebliche Fortschritte bei der Reduzierung der Emissionen gemacht und ist fest entschlossen, mehr zu tun. Mit der Absicht, schnell Fortschritte zu erzielen und die kumulativen Emissionen so gering wie möglich zu halten, müssen unter Berücksichtigung der Vielfalt der einzelnen Länder verschiedene Herangehensweisen für die Dekarbonisierung in Betracht gezogen werden.

Die Senkung der Emissionen von 1990 bis 2019 um 24 % zeigt, dass die Europäische Union bereits große Fortschritte gemacht hat.¹ Die Analyse der Vorgehensweise in den unterschiedlichen Branchen macht deutlich, dass dieser Fortschritt vor allem auf einige wenige leistungsstarke Sparten zurückzuführen ist, nämlich auf den Stromsektor und die Industrie. Indem die CO₂-Emissionen im Stromsektor allein zwischen 2010 und 2019^v um fast 30 % reduziert wurden, war die Dekarbonisierung dieser Branche eine treibende Kraft bei der Gesamtreaktion der EU-weiten Emissionen, die sich in dieser Zeitspanne auf beinahe 17 % belief. Gleichzeitig haben sich andere Branchen weniger gut entwickelt: Beispielsweise sind die Emissionen im Transportwesen im selben Zeitraum angestiegen. Auch wenn dies ein Zeichen für eine globalisierte Welt und ein zusammenwachsendes Europa ist, könnte es die Bemühungen zum Klimaschutz unterminieren. Im Rahmen des europäischen Grünen Deals wird diese Herausforderung mit neuen politischen Strategien in Angriff genommen, beispielsweise indem erneuerbare Brennstoffe entwickelt werden und die CO₂-Bepreisung eingeführt wird.

Die europäischen Länder unterscheiden hinsichtlich der CO₂-Emissionsintensität bei der Stromerzeugung (siehe Abbildung 1 auf der folgenden Seite). Während der EU-weite Durchschnitt bei etwa 300 gCO₂/kWh Strom liegt, erreichen Länder mit einem hohen Anteil an Strom aus erneuerbaren Energien (Norwegen, Österreich), aus Kernkraft (Frankreich) oder aus einer Kombination aus beidem (Schweden, Finnland) Werte bei oder unter 100 gCO₂/kWh Strom. Andererseits produzieren Länder, die bei der Energiegewinnung einen hohen Kohleanteil aufweisen (Griechenland, Polen), ungefähr doppelt soviel CO₂ wie der EU-weite Durchschnitt.² Der dringende Handlungsbedarf in Bezug auf die Emissionsreduktion bedeutet, dass Länder wie Griechenland und Polen zwangsläufig einen anderen Weg einschlagen müssen, als jene, die in der Energiewende schon weiter fortgeschritten sind. Sie müssen unbedingt schnell aufholen, um die kumulativen Emissionen bis 2050 zu senken. Die europäische Politik sollte den raschen Einsatz CO₂-ärmerer Technologien zur Energieerzeugung in diesen Ländern nicht nur erlauben, sondern fördern und dabei das langfristige Ziel der Klimaneutralität nicht aus den Augen verlieren.

^v Wenn nicht anders angegeben, bezieht sich der „IEA-Outlook“ in diesem Papier auf das IEA State Policies Scenario im IEA World Energy Outlook (2020), das die bestehenden politischen Rahmenbedingungen und angekündigten Verpflichtungen als Grundlage verwendet.

CO₂-Intensität der Stromerzeugung (2017)

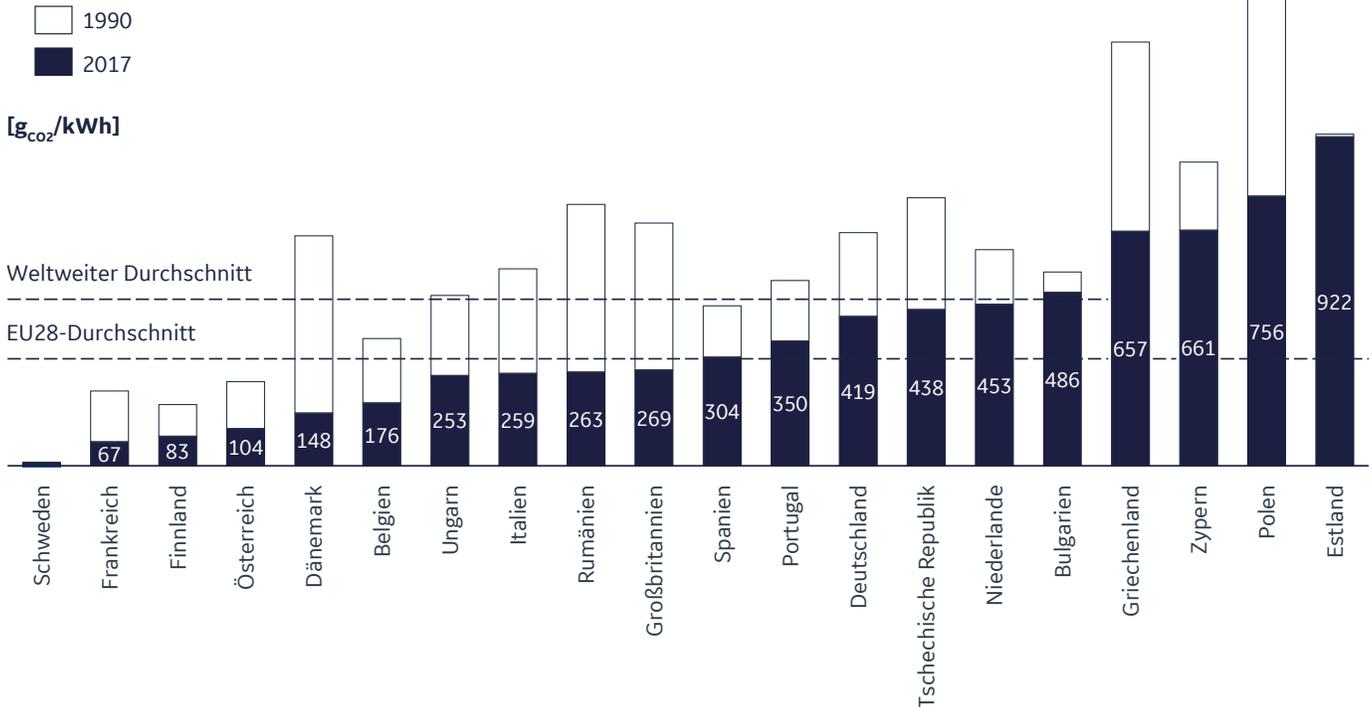


ABBILDUNG 1: Die europäischen Länder unterscheiden sich hinsichtlich der CO₂-Emissionsintensität bei der Energieerzeugung

Quellen: Europäische Umweltagentur (2020) <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/co2-intensity-of-electricity-generation> (EU-Werte, 2017)
 IEA (2019) <https://www.iea.org/reports/global-energy-co2-status-report-2019/emissions> (Globale Werte, 2018)
 Hinweis: Aktuelle Werte veröffentlicht im Jahr 2017

Der wirksamste Ansatz ist darauf ausgelegt, Anreize für die Verringerung der Kohlenstoffintensität zu schaffen und diese zu bemessen, kurzfristige Reduzierungen zu erzielen und gleichzeitig auf dem Weg in Richtung Netto-Null-Emissionsziel bis 2050 zu bleiben. Darüber hinaus sollen realistische Zeitpläne die Anstrengungen hinsichtlich einer Verringerung unterstützen, die angesichts neuer wissenschaftlicher und technologischer Entwicklungen regelmäßig überprüft werden.

Dieser Übergang macht tiefgreifende Veränderungen im europäischen Energiesystem sowie bei den Technologien und Brennstoffen erforderlich. Er wird auch die Art und Weise verändern, wie die europäische Bevölkerung und Unternehmen auf Energie zugreifen und diese verbrauchen. Das Prinzip „Efficiency First“ muss allen politischen Entscheidungen, Plänen und Investitionen im Energiesektor zugrunde liegen. Insbesondere für die Bürgerinnen und Bürger kann der Klimawandel ein Treiber für eine gerechtere Gesellschaft sein. Er könnte aber auch negative Auswirkungen auf den Wohlstand derjenigen haben, die in den betroffenen Sektoren beschäftigt sind. – verantwortungsbewusstes Handeln der Regierungen wird ein entscheidender Faktor sein.

Die Bandbreite der Aktivitäten des europäischen Green Deal und den damit verbundenen politischen Programmen spiegelt die Notwendigkeit wieder, das Energiesystem als Ganzes zu betrachten und nicht nur einzelne Technologien in Augenschein zu nehmen. Nur durch eine ganzheitliche Betrachtung aller Sektoren kann Europa eine tiefgreifende Dekarbonisierung auf kosteneffiziente Weise umsetzen.

Die nächsten beiden Abschnitte dieses Dokuments werden sich zunächst mit der Entwicklung der Energiesysteme beschäftigen. Danach wird auf die Rolle eingegangen, die verschiedene Energietechnologien und Brennstoffe beim Übergang spielen werden.

Energiesystem

DER ENERGIESEKTOR KANN ES NICHT ALLEINE SCHAFFEN.

Die Integration von Energiesystemen ist von grundlegender Bedeutung, um den Klimawandel zu bewältigen, und sicherzustellen, dass Gewinne und Einsparungen, die im Energiesektor erzielt werden, der gesamten Wirtschaft zugute kommen.

Die Energiewirtschaft hat die Emissionen zwischen 1990 und 2018 um fast 500 Megatonnen CO₂-Äquivalent (Mt CO₂e) reduziert. Das ist der größte Anteil an den eingesparten ~1.400 Mt CO₂e THG-Nettoemissionen in der EU. Wie in der Europäische Umweltagentur betont wird, wurde dieser Rückgang durch den „vermehrten Einsatz von erneuerbaren Energiequellen, den Wechsel von Kohle zu Gas für die Wärme- und Stromerzeugung und die Verbesserung der Energieeffizienz] vorangetrieben.³ In diesem Zeitraum halbierte sich der Anteil der Kohleverstromung von beinahe 40 % auf 20 %. Der Anteil der Gaskraft verdreifachte sich fast von unter 7 % auf über 18 %, und der Anteil von Wind- und Sonnenenergie, die zuvor praktisch nichts zur Stromerzeugung beitrug, stieg auf 14 % der Gesamterzeugung. Siehe Abbildung 2.

Doch der Energiesektor allein kann die europäischen Klimaziele nicht erreichen. Obwohl CO₂-arme Energieerzeugung zunehmend kosteneffizient geworden ist, begrenzen neue Einschränkungen den Fortschritt. Die Bevölkerungsdichte in Europa macht es zunehmend schwieriger, Projekte für erneuerbare Energien mit einer hohen Flächeninanspruchnahme umzusetzen. Zudem werden fast 40 % des Stroms in Europa in Kern- und Wasserkraftwerken gewonnen. Diese Energiequellen, die nicht auf CO₂ bauen, werden in den kommenden Jahren wahrscheinlich nicht wesentlich zunehmen. Diese Faktoren und die Notwendigkeit, alte, umweltbelastende Kraftwerke stillzulegen, selbst wenn der Gesamtstrombedarf in Europa steigt, lassen darauf schließen, dass die schwierigste Zeit der Energiewende noch vor uns liegt.

Obwohl sich viele Sektoren zur Erreichung der Klimaziele elektrifizieren, können sie mit der Elektrifizierung alleine die Nachhaltigkeitsziele nicht erreichen. Die Umstellung von der Verbrennung auf die direkte Elektrifizierung hat klare Vorteile für die Umwelt, wie etwa den geringen Ausstoß an Luftschadstoffen am Ort des Verbrauchs. Damit die Elektrifizierung jedoch am effektivsten zur Emissionsreduzierung beiträgt, muss sich der Stromsektor wandeln und seine Kohlenstoffintensität weiter reduzieren.



Alle Wirtschaftszweige müssen ihre Anstrengungen hinsichtlich der Dekarbonisierung verstärken und effizientere integrierte Energiesysteme entwickeln, damit die CO₂-Neutralität erreicht werden kann.

Die Stromerzeugung in Europa gemessen nach Brennstoffen

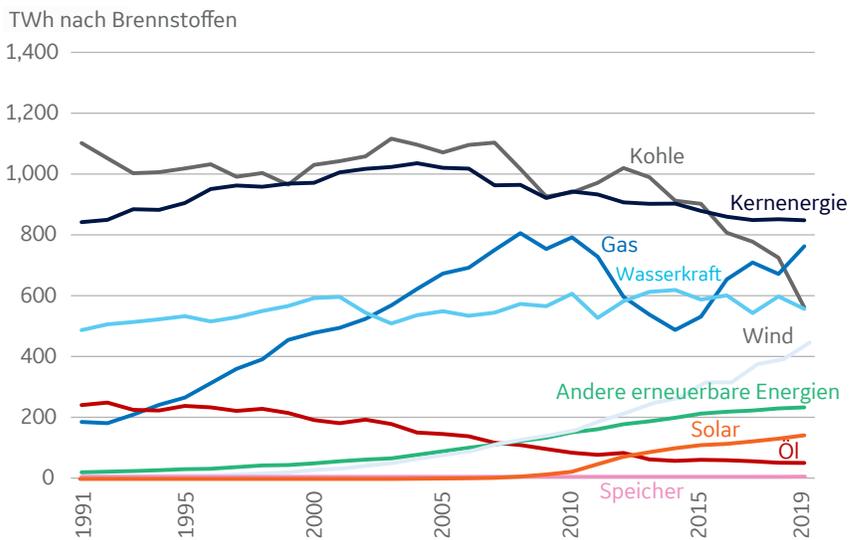


ABBILDUNG 2: Der Stromerzeugungsmix in Europa zeigt einen Trend weg von der Kohleverstromung hin zu CO₂-armen Technologien.

Quelle: ENERDATA (2020)



Das Wachstum im Bereich erneuerbare Energien wird neue Herausforderungen mit sich bringen, was die lokale und zeitnahe Bereitstellung der Energie betrifft. Zum kosteneffizienten Erhalt der Versorgungssicherheit muss das europäische Energiesystem alle verfügbaren Instrumente und Infrastrukturen nutzen, während sich die Art des Energieverbrauchs und der -erzeugung schnell wandelt.

DAS ENTSTEHENDE ENERGIESYSTEM MANAGEN

Um zu verstehen, wie und warum unterschiedliche Technologien zur Dekarbonisierung des Energiesystems beitragen, müssen wir zunächst die speziellen Anforderungen an das Energiesystem selbst genauer betrachten. Der Weg zu einer CO₂-neutralen Wirtschaft wird nicht nur von der Emissionsintensität unserer Erzeugungsanlagen bestimmt, sondern auch von deren Leistung und ihren spezifischen Eigenschaften. Daher werden in diesem Papier kurz die wichtigsten Überlegungen im Hinblick auf die Auswirkungen auf den Stromerzeugungsmix erörtert.

Das europäische Energiesystem wird in Zukunft vernetzt und integriert sein. Um dies zu erreichen, müssen die politischen Entscheidungsträger und Marktakteure das Energiesystem über mehrere Energieträger, Infrastrukturen und Anwendungsbereiche hinweg betrachten.⁴ Ein praktisches Beispiel dafür ist die Elektromobilität. Batteriebetriebene Elektrofahrzeuge können CO₂-freien Strom anstelle von flüssigen Kraftstoffen nutzen. Im massenhaften Einsatz könnten sie sogar als Speicher für das Stromnetz dienen – sie fungieren dann sowohl als Verbraucher als auch als Lieferanten von Strom auf eine wirklich integrierte Art und Weise.

Dies wird die Nachfrage nach Energie erhöhen und somit das Stromsystem weiter beanspruchen. Die Verbesserung der Energieeffizienz ist ein wesentlicher Punkt, um diesen Druck zu mindern. Auf der Angebotsseite kann die gleichzeitige Erzeugung von Wärme und Strom (Kraft-Wärme-Kopplung) und der gezielte Austausch von Stromerzeugungsanlagen eine maximale Energieabgabe durch Brennstoffe sicherstellen. Ergänzend dazu können Produktstandards und Gebäudesanierungen den Energiebedarf deutlich senken.

Zudem ist das Betreiben eines Stromnetzes eine sehr komplexe Aufgabe, da die erzeugte und verbrauchte Energie in Echtzeit ausgeglichen werden muss, um das empfindliche Gleichgewicht der Frequenz sicherzustellen. Hierzu benötigen die Netzbetreiber Mechanismen, damit in Europa nicht die Lichter ausgehen und sie die von den Europäern erwartete Qualität der Versorgungssicherheit aufrecht erhalten (Erwartungen, die höher sind als in anderen Teilen der Welt).

Kraft-Wärme- Kopplung

Kraft-Wärme-Kopplung, die gleichzeitige Erzeugung von Wärme und Strom, kann die Energieeffizienz auf bis zu 90 % steigern. Die fortschrittlichsten Gas- und Dampfturbinenkraftwerke (GuD-Kraftwerke) liegen im Vergleich bei 60 bis 65 %. Durch den Einsatz von Blockheizkraftwerken (Anlagen, die das Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung nutzen) kann die bei der Stromerzeugung entstehende Wärme gespeichert und dazu verwendet werden, um Dampf für die Industrie zu erzeugen oder Wohn- bzw. Industriegebäude zu beheizen.

Viele EU-Länder fördern die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), um die CO₂-Emissionen zu reduzieren. In Deutschland gibt es seit 2002 ein nationales Gesetz, das die Förderung der Energieerzeugung durch KWK zum Ziel hat. Durch Kombination verschiedenster Anreize, die an ein klares Ziel geknüpft sind, hat dieses Gesetz erfolgreich den Einsatz von KWK-Technologien in der gesamten Wirtschaft gefördert, die Energieeffizienz verbessert und die Kosten für industrielle Energieverbraucher gesenkt. Hocheffiziente Blockheizkraftwerke gehören zu den kurzfristigen Ansätzen, um die Dekarbonisierung zu erreichen, und sie müssen europaweit weiterhin unterstützt werden.

Die zugrunde liegende Anforderung an die Stromnetzbetreiber, um mit den Herausforderungen^{vi} tagtäglich zurechtzukommen, ist es, flexibel zu reagieren und Reservekapazitäten bereithalten zu können. Da diese Netze um die synchrone Erzeugung herum aufgebaut waren, entsteht durch die Turbinen- und Generatorrotoren der synchronen Erzeugungseinheiten eine Trägheit. Der schnelle Zubau der letzten Jahren von fluktuierender Erzeugungskapazität führte zu einer geringeren Inertia im System.

Die „synthetische Trägheit“, die durch mit Wechselrichtern verbundene Technologien wie Windkraft- und Photovoltaikanlagen eingeführt wurde, konnte einige einzigartige Netzdienste bereitstellen, die auf spezielle Bedürfnisse zugeschnitten sind. Dennoch ist die kinetische Energie rotierender Einheiten für die Gewährleistung der Netzstabilität unerlässlich. Diese Rotationsenergie wird jedoch mit der fortschreitenden Stilllegung von großen Anlagen (Kernkraft und Kohle) und der verkürzten Zeit, in der die verbleibende Rotationskapazität in Betrieb ist, reduziert. Dies ist eine Herausforderung, die auf das Energiesystem zukommt und bewältigt werden muss, damit es zuverlässig bleibt und Spannungsabfälle (Brown-Outs), automatische Abschaltungen einiger Nachfragegebiete bei Frequenzabfall oder sogar netzweite Stromausfälle vermieden werden können. Die Störung im britischem Stromnetz vom 9. August 2019 ist ein dramatisches Beispiel dafür, welche Folgen ein fehlender Frequenzausgleich nach zwei aufeinanderfolgenden Fehlern im System haben kann. Dieses Ereignis führte dazu, dass der öffentliche Verkehr im Großraum London massiv beeinträchtigt war. Zudem waren rund 1,1 Millionen Kunden von der Stromversorgung abgeschnitten.

^{vi} Zu diesen Herausforderungen zählen beispielsweise: unvorhergesehene Ausfälle von großen Erzeugungseinheiten oder Verbindungsleitungen, schneller Anstieg/Abfall großer industrieller Lasten, fluktuierende erneuerbare Energien ohne Rotationsträgheit, Fehler in den Übertragungsleitungen, Verringerung der Trägheit aufgrund der Stilllegung von Dampfturbinen-/Kernkraftanlagen oder Einführung von schnellladenden Elektrofahrzeugen.

Zusätzlich zu den Auswirkungen auf das Stromnetz bringt der Ausbau der erneuerbaren Energien spezielle Herausforderungen für die Infrastruktur mit sich. Standorte für Erneuerbare-Energien-Anlagen werden oft aufgrund ihrer Eignung und nicht nach ihrer Zweckmäßigkeit ausgewählt. Das bedeutet, dass sich das Angebot von der Nachfrage oft unterscheidet. Ein Beispiel für diese Divergenz ist Deutschland, das einen Großteil seines Stroms aus erneuerbaren Energien im Norden des Landes und an der Nordsee produziert, wo der Wind kräftig und beständig weht. Dagegen befinden sich viele nachfragestarke Industriegebiete im Süden des Landes. Dies macht neue erhebliche Investitionen in die Infrastruktur notwendig, wobei vier HGÜ-Leitungen (Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung) als Teil eines Netzausbauplans, dessen Kosten sich auf mehr als 60 Mrd. € belaufen, bis 2030 in Betrieb genommen werden sollen.⁵

Das Wachstum der fluktuierenden erneuerbaren Energien erhöht auch die Notwendigkeit, den erzeugten Strom zu speichern, wenn er die Nachfrage übersteigt, und entsprechend zu liefern, wenn die Nachfrage das Angebot übersteigt. Eine zunehmende Vernetzung, kosteneffizientere Batteriespeicher, Demand-Side-Management und digitale Lösungen tragen dazu bei, diese Herausforderung zu bewältigen. Die Kosten und das Marktdesign werden in diesem Zusammenhang die treibenden Kräfte sein.

Unter Berücksichtigung der saisonalen Schwankungen von Angebot und Nachfrage sind umfangreichere Lösungen erforderlich. Dabei spielt Gas weiterhin eine Schlüsselrolle, da es die tragende Säule für die Belastbarkeit des Systems in den kommenden Jahrzehnten sein wird.

REGULATORISCHE RAHMENBEDINGUNGEN STEUERN INVESTITIONEN

Obwohl unser Energiesystem auf Infrastruktur und Erzeugung basiert, ist es der von der Politik vorgegebene Rahmen, der die Märkte letztendlich in Richtung Dekarbonisierung lenken wird.

Die Energiemärkte in Europa sind streng reguliert. Diese Rahmenbedingungen sorgen in der Energiewirtschaft für Wettbewerb und Fairness und streben danach, den für die Systemstabilität – und natürlich die Nachhaltigkeit – erforderlichen Faktoren einen Wert beizumessen. Allerdings weisen sie z. B. Aspekten wie der Flexibilität oder der Belastbarkeit, die immer wichtiger werden, nicht systematisch einen eindeutigen Wert zu. Die Vorgaben müssen sicherstellen, dass die Energiemärkte den Ansprüchen gerecht werden, die notwendigen Investitionen sicherstellen können und letztlich in der Lage sein werden, das europäische Ziel für 2050 zu erreichen.

Der energiepolitische Rahmen in Europa muss ein Gleichgewicht zwischen Transparenz und Flexibilität schaffen. GE mahnt zur Vorsicht vor einer Politik, die darauf abzielt, die Zukunft vorherzusagen und enge Vorgaben für Technologien und Energiequellen zu machen. Die CO₂-Bepreisung ist eine vorrangige Strategie der EU, um CO₂-Emissionen zu regulieren, die in der Energiewirtschaft entstehen. Dies geschieht, indem Preissignale an Marktteilnehmer und Investoren gesendet werden. Die anstehende Überarbeitung der EU-Richtlinie zum Emissionshandelssystem (ETS) als Teil des Legislativpakets „Fit for 55“ muss das aktuelle System der Preissignale für eine kosteneffiziente Energiewende stärken. Weitere Maßnahmen sollten stets mit dem ETS abgestimmt werden, da durch die CO₂-Bepreisung die Regulierung durch den Staat mit innovationsfreundlichen und kosteneffizienten Marktprozessen auf intelligente Weise vereint wird. Versuche, wirtschaftliche Aktivitäten administrativ entsprechend ihres Beitrags zur Energiewende aufzugliedern, könnten mehr schaden als

nützen, da Innovationen und die ökonomischen Realitäten zu komplex und dynamisch sind. Die CO₂-Bepreisung sollte durch eine technologieunabhängige Politik ergänzt werden, welche sowohl auf kurzfristige Maßnahmen setzt, die schneller die größte Verringerung ermöglichen, als auch eine längerfristige Vision anstrebt, die eine ehrgeizige CO₂-Reduktion zum Ziel hat, um bis 2050 die Klimaneutralität zu erreichen. Schließlich werden gezielte Initiativen zur Entwicklung neuer Technologien ausschlaggebend sein. Hierzu zählen beispielsweise Wasserstoff, CCUS und Technologien und Lösungen zur Förderung von Sektorkopplung.

Zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit sind Marktdesigns eingebettet in Regularien, Förderprogramme etc. und beruhen nicht allein auf marktwirtschaftlichen Gesichtspunkten. Das heißt, dass die beste Energie nicht immer die billigste ist oder diejenige, die den geringsten CO₂-Ausstoß verursacht. Es liegt in der Verantwortung der Marktteilnehmer und der politischen Entscheidungsträger, sich auf die extremsten Nachfrageszenarien einzustellen. Das Ausbalancieren der drei Faktoren Wirtschaftlichkeit, Nachhaltigkeit und Versorgungssicherheit wird oft als „energiepolitisches Dreieck“ bezeichnet.

Gaskraft kann den Flexibilitätsbedarf decken und gleichzeitig durch die Dekarbonisierung von Brennstoffen Fortschritte in Richtung kohlenstoffneutrale Erzeugung machen. Das muss bei der Gestaltung der europäischen Strommärkte berücksichtigt werden, damit die Gaskraft weiterhin diese Schlüsselrolle spielen kann und gleichzeitig wirtschaftlich tragfähig ist.

Daher ist die Vergütung von flexiblen und verlässlichen Kapazitäten durch z. B. Kapazitäts- oder besser gesagt „Leistungsfähigkeits“-Mechanismen ein wesentliches Element eines stabilen und nachhaltigen Energiesystems.



CO₂-Preisuntergrenze

Die regulatorischen Rahmenbedingungen müssen gewährleisten, dass die substantiellen Investitionen auf dem Weg zur Dekarbonisierung getätigt werden. Obgleich Schätzungen stark voneinander abweichen können, geht die Europäische Kommission davon aus, dass mehr als 500 € Milliarden an jährlichen Investitionen nötig sind, um bis 2050 die Klimaneutralität zu erreichen.

Die Finanzierung der Dekarbonisierung kann und sollte größtenteils durch private Investitionen gedeckt werden. Diese Investitionen werden durch die Gegebenheiten des Marktes gesteuert, da sie die wirtschaftlichen Möglichkeiten, die die Energiewende mit sich bringt, zum Vorschein bringen. Finanzielle Unterstützung wird bei der Förderung neu entstehender Technologien eine tragende Rolle spielen und die Investitionen des privaten Sektors dort ergänzen, wo die Marktkräfte nicht ausreichen, und den „gerechten Übergang“ (eng. Just Transition) sicherstellen.^{vii}

Wenn der Bund Investitionen durch den Privatsektor anreizen möchte, ist es von Bedeutung, dass Projekte mit dem europäischen Energiesystem von heute vereinbar sind, und nicht mit jenem, das man sich für 2050 wünscht. Das bedeutet, dass die Gelder dorthin fließen sollten, wo sie kurz- und mittelfristig maximale CO₂-Einsparungen bewirken können, aber dennoch mit dem langfristigen Ziel der Klimaneutralität kompatibel sind.

Der immaterielle Rahmen von Politik, Märkten und Investitionen wird für Europa das wichtigste Kriterium darstellen, um erfolgreich zu sein. Es ist schwierig, wenn nicht sogar unmöglich, genau vorherzusagen, wie sie zusammenwirken und sich gegenseitig beeinflussen. Vor diesem Hintergrund müssen politische Entscheidungsträger einengende Rahmenbedingungen vermeiden. Stattdessen können die Märkte durch die richtigen Anreize, wie z. B. die CO₂-Bepreisung animiert werden, Innovationen und Experimente voranzutreiben, und so in eine klimaneutrale Zukunft steuern.

^{vii} Der Begriff „Just Transition| beschreibt die Energiewende als einen gerecht ausgestalteten Übergang, der das Wohlergehen der Bevölkerung in Regionen schützt, die sich nicht mit einer dekarbonisierten Wirtschaft vereinbaren lassen. Ein Beispiel hierfür ist der Kohlebergbau.

Die Einführung einer CO₂-Preisuntergrenze kann sehr zielführend sein und wurde von verschiedenen Ländern innerhalb und außerhalb Europas genutzt, um einen schnellen Ausstieg aus der Kohleverstromung zu erreichen. Preisuntergrenzen können sicherstellen, dass die schädlichen Auswirkungen der CO₂-intensiven Stromerzeugungsverfahren angemessen bei der Berechnung der Wirtschaftlichkeit einer Anlage miteinfließen.

Die Einführung eines solchen Instruments bietet auch für Investoren mehr Sicherheit und garantiert, dass der CO₂-Preis eine festgelegte Grenze nicht unterschreiten wird. Im April 2013 beschloss die britische Regierung, eine CO₂-Preisuntergrenze (CPF) einzuführen, die zum Ziel hatte, das System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten der EU (ETS) zu unterstützen. Diese Untergrenze hat den CO₂-Preis gestützt, die Ungewissheiten in Bezug auf den Umsatz verringert, die aufgrund von CO₂-Preisschwankungen entstehen können, und dafür gesorgt, dass Investitionen in die CO₂-arme Erzeugung wirtschaftlicher werden. Seit der Einführung dieses Instruments erlebt Großbritannien einen deutlichen Rückgang der Kohleverstromung. Der Anteil der Kohleverstromung an der gesamten Energiegewinnung ist von ~36 % im Jahr 2013 auf ~2 % im Jahr 2019 gefallen. Außerdem hat es in Großbritannien seit 2017 Zeitabschnitte gegeben, in denen es keinerlei Kohleverstromung gegeben hat. 2020 erlebte Großbritannien zwischen dem 10. April und dem 12. August eine rekordverdächtige Phase ohne Kohleverstromung. In dieser Zeit wurde Strom an nur einem einzigen Tag durch Kohlekraftwerke erzeugt – dies war die längste einer solchen Phase, seit die Kohleverstromung in den 1880er Jahren in Großbritannien eingeführt wurde. Neben dem ETS der EU hat die deutsche Regierung außerdem beschlossen, für Treibhausgasemissionen, die ab 2021 im Verkehrs- und Gebäudesektor entstehen, einen Mindestpreis festzulegen. Berlin will den Preis jedes Jahr weiter erhöhen, bis die Zertifikate ab 2026 versteigert werden.



Technologie und Brennstoffe

ERNEUERBARE ENERGIEN UND GASKRAFT KÖNNEN GEMEINSAM DIE ENERGIEWENDE IN EUROPA UNTERSTÜTZEN

Zunehmend erschwingliche erneuerbare Energien werden die Dekarbonisierung der Energieerzeugung vorantreiben, aber sie werden nicht allein in der Lage sein, den Ausstoß auf null zu senken.

Erneuerbare Energien, insbesondere solche, die in Windparks und durch Photovoltaik (PV)-Solarmodule gewonnen werden, stellen eine unendliche Energiequelle dar, die ganz ohne CO₂ auskommt, nicht den Schwankungen der Brennstoffpreise unterworfen ist und somit eine sehr kostengünstige Stromerzeugung möglich macht. Diese Technologien sind der Schlüssel zur Bewältigung des Klimawandels. Zudem entstehen rund um die Herstellung und den Einsatz von erneuerbaren Energien innovative und hochwertige Industriezweige. Der rasante Anstieg bei der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Europa wurde vor allem vorangetrieben, indem Kosten gesenkt und technologische Fortschritte erzielt wurden, die die Kapazitätsfaktoren verbessert haben. Auch die günstigen politischen Rahmenbedingungen und eine positive Einstellung der Öffentlichkeit in Bezug auf CO₂-freien Strom haben diese Entwicklung beschleunigt.

GE unterstützt ausdrücklich die kontinuierliche Weiterentwicklung von kosteneffizienten Technologien für erneuerbare Energien. Unsere Abteilung für erneuerbare Energien mit Sitz in Paris gehört zu den führenden Anbietern von Windturbinen und Wasserkraftanlagen.

Die Kosten sind ein entscheidender Faktor bei diesem Übergang. In Europa konkurrieren erneuerbare Technologien bei offenen Ausschreibungen für neue Kapazitäten oft mit der thermischen Erzeugung. Zwischen 2010 und 2019 wuchs die Leistung, die in der EU durch PV-Solarmodule und Windturbinen erzeugt wurde, von ca. 110 GW auf 285 GW.⁶ Innerhalb dieses Zeitraums sanken die Kosten für den aus diesen

Quellen erzeugten Strom um 82 % bzw. 40%,⁷ was ein wesentlicher Grund für diese außergewöhnliche Steigerung ist. Diese Kostenreduzierung ist hauptsächlich auf die Senkung der Investitionskosten, Verbesserungen in der Lieferkette und Förderprogramme zurückzuführen. Außerdem arbeiten Windturbinen bei geringerer Windgeschwindigkeit immer effizienter. Die Türme werden immer höher und die Rotordurchmesser größer, wodurch sie mehr Energie aus einem gegebenen Stück Land erzeugen können.

Da die Ansatzpunkte und auch die physikalischen Beschränkungen in Europa sehr unterschiedlich sind, wird jedes Land einen anderen Weg einschlagen müssen, um den CO₂-Ausstoß so gering wie nur möglich zu halten.

Ein Mix aus erneuerbaren Energien und Gas wird für viele Länder der schnellste und kostengünstigste Weg zur Dekarbonisierung sein. Darüber hinaus kann der zügige Übergang von Kohle zu emissionsärmeren Energiequellen zu niedrigeren kumulativen Emissionen während der Übergangszeit führen.

Wie bereits in diesem Papier diskutiert, ist unser bestehendes Stromsystem nur begrenzt in der Lage, erneuerbaren Strom zu übertragen und zu speichern. Als Folge kommt es entweder zu einer langsameren Energiewende oder einem erheblichen Anstieg der Investitionskosten. Dies bringt nur wenige Vorteile gegenüber einem Übergang mit gasförmigen Brennstoffen.

Die Politik sollte daher den raschen Einsatz erneuerbarer Energien durch Technologien ergänzen, die mögliche Beschränkungen überwinden und gleichzeitig mit dem europäischen Ziel für 2050 vereinbar sind.



GASTURBINEN KÖNNEN DIE EMISSIONEN STARK VERRINGERN BZW. AUF NAHEZU NULL SENKEN.

Fluktuierende erneuerbare Energien können durch Gaskraft ergänzt werden. Dadurch kann das Energiesystem auch mit einem hohen Anteil an Wind- und Sonnenenergie zuverlässig werden und schließlich in der Lage sein, den Bedarf der europäischen Wirtschaft zu decken. Indem Europas robuste Infrastruktur für den Gastransport und die Speicherung genutzt wird, kann mit Gaskraft der Übergang zu einem CO₂-neutralen Stromsystem vollzogen und die Stromzufuhr sichergestellt werden. Gleichzeitig kann kosteneffizient eine vollkommene Dekarbonisierung stattfinden.

Durch Erdgas befeuerte Gas- und Dampfturbinenkraftwerke (GuD-Kraftwerke) verursachen von allen Kraftwerken die geringsten Emissionen, unabhängig davon, ob dies anhand von CO₂-, SO_x-, NO_x-, Feinstaub- oder Quecksilberemissionen gemessen wird. In Zukunft wird es jedoch notwendig sein, die CO₂-Emissionen weiter zu reduzieren. Hierbei besteht in der Debatte häufig die irreführende Wahrnehmung, dass die Errichtung neuer Gaskraftkapazitäten notwendigerweise verbunden sei mit zusätzlichen CO₂-Emissionen über die Lebensdauer der Anlage. Die Gasturbinen, die derzeit in Betrieb sind bzw. noch eingesetzt werden sollen, können die Dekarbonisierung ermöglichen und vermeiden, dass CO₂-Emissionen gebunden werden. Dies kann geschehen, indem Technologien zur Kohlenstoffabscheidung oder CO₂-arme Kraftstoffe, z. B. CO₂-armer bzw. CO₂-freier Wasserstoff oder Biobrennstoffe, Anwendung finden.

Außerdem wird für die Gaserzeugung deutlich weniger Platz benötigt als für erneuerbare Energien, sodass Erdgaskraftwerke näher dort installiert werden können, wo die Nachfrage am größten ist, und so möglicherweise keine Investitionen in die Lieferinfrastruktur erforderlich sind. So wird für ein GuD-Kraftwerk fast 400-mal weniger Land als für ein Solarkraftwerk benötigt und 4000-mal weniger als für einen Onshore-Windpark mit vergleichbarer Leistung⁸.

Wir bei GE sind der festen Überzeugung, dass wir heute Technologien einsetzen müssen, die mit den langfristigen Klimazielen Europas vereinbar sind, insbesondere wenn sie kurzfristig zu einer Senkung der Emissionen und zur Stabilität des Stromnetzes beitragen. Gasförmige Brennstoffe und die thermische Erzeugung sind wichtige Bestandteile eines jeden Stromsystems, auch in Wirtschaftssystemen, in denen eine vollständige Dekarbonisierung stattgefunden hat. Siehe Abbildung 3.

Mit Hilfe von Wasserstoff und CCUS können heute installierte Gasturbinen auf eine CO₂-arme oder nahezu CO₂-freie Stromerzeugung umgerüstet werden. Dies senkt die Emissionen unmittelbar und festigt den Weg zum Netto-Null-Emissionsziel.

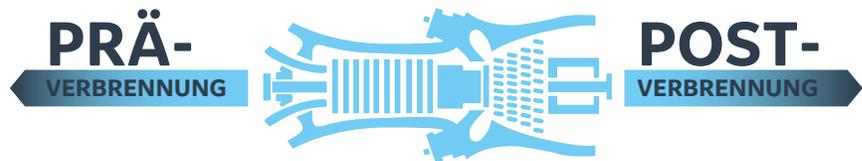


ABBILDUNG 3: Möglichkeiten zur Dekarbonisierung von Gasturbinen – zwei technologische Verfahren erlauben eine CO₂-arme oder nahezu CO₂-freie Gaserzeugung: Pre-Combustion und Post-Combustion

Es gibt zwei entscheidende Technologien, die eine CO₂-arme oder nahezu CO₂-freie Gaserzeugung möglich machen – Post-Combustion- und Pre-Combustion-Verfahren. CO₂-Abscheidung, -Verwendung und -Speicherung (CCUS) und Wasserstoff sind die beiden allgemein anerkannten Ansätze für ein Post-Combustion und Pre-Combustion-Verfahren. Wo und wie jede Technologie eingesetzt wird, hängt wesentlich von den Kosten, den politischen Rahmenbedingungen, der Geografie, der öffentlichen Wahrnehmung und der vorhandenen Infrastruktur ab. Aus diesem Grund ist es von entscheidender Bedeutung, dass die Politik in Europa den Akteuren auf dem Energiemarkt ermöglicht, eine Technologie für die spezifischen Bedürfnisse zu wählen. Auf diese Weise können wir in Europa unser gemeinsames Ziel eines CO₂-freien Stromsystems so schnell und kosteneffizient wie möglich erreichen.

CO₂-ABSCHEIDUNG, -VERWENDUNG UND -SPEICHERUNG WIRD IN DER GESAMTEN WIRTSCHAFT DIE DEKARBONISIERUNG ERMÖGLICHEN

CCUS ist eine verfügbare Technologie, die eine fast vollständige Dekarbonisierung von Kraftwerken möglich macht. Sie kann in wirtschaftlichen Clustern eingesetzt werden, um Größenvorteile zu nutzen und CO₂-arme Industriezweige zu unterstützen.

Bei CCUS werden CO₂-Emissionen abgeschieden und gespeichert, bevor diese in die Atmosphäre gelangen. Wie oben beschrieben, wandelt das „Pre-Combustion“-Verfahren Erdgas in Wasserstoff um. Es kann auch im „Post-Combustion“-Verfahren angewendet werden. Hier werden die Emissionen von durch Erdgas befeuerte Kraftwerke aufgefangen und abgesondert. Diese Emissionen lassen sich dann unterirdisch in salinaren Aquiferen oder Gasfeldern speichern oder in anderen industriellen Prozessen nutzen. Durch diese Verfahren können bis zu 90 % der in Kraftwerken entstandenen CO₂-Emissionen eliminiert werden.

Wenngleich die Emissionen sinken, wirkt sich die CCUS auf die Wirtschaftlichkeit eines Kraftwerks aus. Wenn die zusätzlichen Kosten und der Leistungsrückgang eingerechnet werden, ergibt sich ein Anstieg der Stromgestehungskosten (LCOE) von 30 % bis 50 %. Der genaue Wert hängt von der erwarteten Menge des abgeschiedenen CO₂ ab.⁹ Abgesehen davon kann die Anwendung von CCUS-Technologien den ökologischen Fußabdruck von Kraftwerken vergrößern. Es werden Anstrengungen unternommen, den Wärmebedarf des Kraftwerks und der CCUS so zu optimieren, dass die Leistung weniger beeinträchtigt wird.

Die CO₂-Abscheidung alleine reicht nicht aus, um eine vollkommene Dekarbonisierung zu erreichen. CO₂ muss sicher und dauerhaft gespeichert werden. Die öffentliche Wahrnehmung, dass abgeschiedenes CO₂ nicht dauerhaft gespeichert werden kann, ist heute eines der größten Hindernisse für CCUS. Wissenschaftliche Studien deuten darauf hin, dass die Erde die Kapazität hat, mehr CO₂ zu speichern, als der Mensch produzieren kann. Es spricht viel dafür, dass CO₂ für Hunderte von Millionen Jahren sicher unterirdisch gespeichert werden kann. Die öffentliche Wahrnehmung und die politische Stimmung sind Realitäten, mit denen man sich befassen muss, bevor die CO₂-Sequestrierung in großem Umfang eingesetzt wird.

Anlagen mit CCUS-Technologie sind in Europa seit Mitte der 1990er Jahre in Betrieb. Doch nur im Sleipner-Feld in Norwegen wurden bis heute mehr als 20 Millionen Tonnen CO₂ in erschöpften Gasfeldern gebunden. Dies zeigt, wie effektiv die Technologie und wie dauerhaft die Speicherung ist und in welcher Größenordnung die CCUS-Technologie in Europa eingesetzt werden kann.

Abgesehen davon ist es nicht nur die Energiewirtschaft, die in CCUS investiert. Die Technologie ist für viele Branchen, wie z. B. in der Zementherstellung oder der chemischen Industrie, ein entscheidender Faktor auf dem Weg zur Dekarbonisierung. Der Einsatz von CCUS in industriellen Ballungszentren kann Größenvorteile mit sich bringen und CO₂-arme Cluster mit Industrie- und Energieerzeugungsanlagen schaffen, die diese ergänzen.

Im Rahmen des ETS der EU und des entsprechenden britischen Emissionshandelssystems findet die CO₂-Bepreisung derzeit bei Kraftwerken und andere Industrieanlagen Anwendung. Laut einer von GE durchgeführten Analyse, die auf Anfrage erhältlich ist, geht bei einem Vergleich, in dem die Zahlung der CO₂-Steuer mit den Kosten für das Auffangen und Sequestrieren von CO₂ aufgewogen wird, unter gewissen Bedingungen, die von einer nachhaltigen CO₂-Bepreisung mit 29 € bis 41 € pro Tonne ausgehen, die Tendenz zur Einführung eines Post-Combustion-Verfahrens zur CO₂-Abscheidung. Dies wird zusätzlich durch den EU-ETS-Innovationsfond gefördert, der zwischen 2020 und 2030 10 Milliarden Euro an Fördermitteln für kommerzielle Demonstrationsvorhaben im Bereich innovativer, CO₂-armer Technologien bereitstellt. Zusammengefasst könnten diese Maßnahmen zu geringeren Kosten und einer breiten Einführung von CCUS-Technologien führen.



Der Einsatz von CCUS-Technologien in Industrieclustern

Obwohl die EU eine bedeutende Umstellung auf erneuerbare Energiequellen im Stromerzeugungssektor plant, werden fossile Brennstoffe kurz- und mittelfristig immer noch eine große Rolle spielen. Das CO₂, das durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe in der Stromerzeugung freigesetzt wird, macht etwa 30 % der gesamten Treibhausgasemissionen in der EU aus. CCUS-Technologien zielen darauf ab, rund 90 % dieser Emissionen einzufangen. CCUS werden voraussichtlich eine wichtige Rolle spielen, um die Klimaziele bis 2050 kosteneffizient zu erreichen.

Durch die Entwicklung von CCUS-Anlagen in industriellen Ballungsräumen lassen sich Kosten auf mehrere Projektträger verteilen. Ein Beispiel hierfür ist der Hafen von Rotterdam in den Niederlanden, der mit einem Konsortium von Partnern aus der Industrie zusammenarbeitet, um das Projekt Porthos zur CO₂-Speicherung zu entwickeln.

Wenn das Projekt erst mal angelaufen ist, wird es dafür sorgen, dass dauerhaft 2,5 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr unter dem Seeboden der Nordsee gespeichert werden. Neben der Dekarbonisierung von Industrieanlagen wird es die Möglichkeit schaffen, große Mengen blauen Wasserstoffs zu produzieren. Für das Projekt wurden von der EU Fördermittel in Höhe von 100 Millionen Euro bewilligt und es soll schon 2024 starten. Das Porthos-Projekt macht deutlich, wie CCUS-Zentren den Betrieb von klimaneutralen industriellen Ballungsräumen unterstützen können. Auch Kraftwerke erschließen das wichtige Potential der CO₂-Speicherung und positionieren sich schon in der frühen Phase als unverzichtbare Partner für Industriecluster.



EUROPA IST BEI DER PRODUKTION UND NUTZUNG VON GRÜNEM WASSERSTOFF WELTWEIT FÜHREND

Wasserstoff wird zukünftig in der Wirtschaft als Energieträger und industrieller Rohstoff eine maßgebliche Rolle spielen. Heute wird Wasserstoff größtenteils aus Erdgas erzeugt. Die Anwendung von CCUS und das Wachstum von erneuerbar erzeugtem Wasserstoff werden neue Möglichkeiten eröffnen.

Die Europäische Kommission hat deutlich gemacht, dass Wasserstoff in der europäischen Wirtschaft eine entscheidende Rolle spielen wird. Ihre Wasserstoffstrategie, die im Sommer 2020 veröffentlicht wurde, markiert einen Meilenstein. In dieser Strategie geht die Europäische Kommission davon aus, dass Wasserstoff bis 2050 etwa 14 % des Energiemix der EU ausmachen und sein Einsatz durch Investitionen von bis zu 470 Mrd. € gefördert wird. Dies ist ein deutlicher Anstieg, da heute der Wasserstoffanteil am Energieverbrauch bei weniger als 2 % liegt. Dieser Anteil nimmt jedoch zu, und Turbinen von GE werden bereits mit Wasserstoffgemischen und -varianten betrieben.

Die Kosten für CO₂-armen und aus erneuerbaren Energien gewonnenen Wasserstoff sind gesunken, wobei die EU schätzt, dass die Preise für Elektrolyseure in den vergangenen zehn Jahren um 60 % zurückgegangen sind.¹⁰ Es wird erwartet, dass sich dieser Abwärtstrend fortsetzt, obwohl die langfristige Preisentwicklung in einem sich rasant entwickelnden Technologiebereich immer mit Unsicherheiten verbunden ist. Die endgültige Kostenkurve hängt davon ab, inwieweit es staatliche Förderungen geben wird, wie sich Endmärkte entwickeln und wie groß das Potential bei neuen Verfahren sein wird.

Während in naher Zukunft der Einsatz von Wasserstoff in der Stromerzeugung höchstwahrscheinlich auf Pilotprojekte beschränkt sein wird, kann er längerfristig eine Schlüsselrolle bei der Speicherung von überschüssigem Strom aus erneuerbaren Energiequellen und bei der Bereitstellung von Ausgleichsleistungen spielen. Auf Kraftwerkebene könnte Wasserstoff eine nahezu CO₂-freie Stromerzeugung ermöglichen, so wie es bei Wind- und Sonnenenergie bereits heute der Fall ist. GE ist auf diese Zukunftsszenarien vorbereitet. Die Gasturbinen, die wir heute ausliefern, bzw. bestehende von uns nachgerüstete Einheiten können mit CO₂-armen Brennstoffen betrieben werden, wenn das Verbrennungssystem, das Brennstoffzubehör, die Emissionen und die Anlagensysteme entsprechend berücksichtigt werden. Wir bei GE verfügen über weitreichende Erfahrung auf diesem Gebiet. Unsere Gasturbinen werden seit über 30 Jahren mit

Wasserstoff spielt eine wesentliche Rolle bei der Dekarbonisierung verschiedener Branchen und ermöglicht eine flexible, CO₂-arme thermische Erzeugung.

Die Rolle von Wasserstoff bei der Dekarbonisierung



Um bis 2050 klimaneutral zu werden, beabsichtigt die EU, ihre Wirtschaft umzustellen, insbesondere das Energiesystem, welches für 75 % der gesamten Treibhausgasemissionen in der EU verantwortlich ist. In diesem Zusammenhang hat Brüssel dem Wasserstoff eine bedeutende Rolle eingeräumt. In der Wasserstoffstrategie der EU, die im Juli 2020 veröffentlicht wurde, wird davon ausgegangen, dass der Wasserstoffanteil am europäischen Energiemix bis 2050 auf etwa 14 % steigt.¹⁰

Wasserstoff soll als Energieträger in der europäischen Wirtschaft jene Bereiche versorgen, die für eine Elektrifizierung nicht geeignet sind. Es soll gespeichert werden, um die Produktionsschwankungen auszugleichen, die bei der Energiegewinnung durch erneuerbare Quellen entstehen. Die Strategie zielt darauf ab, die CO₂-freie Wasserstoffproduktion in der gesamten EU anzukurbeln, und soll in den kommenden Jahren rund 550 Milliarden Euro einbringen.

Viele EU-Mitgliedsstaaten haben bereits erkannt, dass CO₂-armer Wasserstoff ein wesentlicher Bestandteil ihrer nationalen Energie- und Klimapläne sein muss. In Deutschland ist man diesbezüglich fest davon überzeugt, dass Wasserstoff eine umfassende Dekarbonisierung der heimischen Wirtschaft möglich machen kann. Die Bundesregierung hat dazu im Juli 2020 eine ehrgeizige Nationale Wasserstoffstrategie veröffentlicht. Indem die Produktion von CO₂-armem Wasserstoff in der nahen Zukunft ausgeweitet und bis 2050 nur noch Wasserstoff genutzt wird, der aus erneuerbaren Energien gewonnen wird, will sich Deutschland im Bereich der Wasserstofftechnologien die globale Vorreiterrolle sichern.

Die deutsche Regierung hat Wasserstoff als wichtiges Instrument erkannt, um die bis 2050 gesteckten Ziele zu erreichen, und fördert bis 2030 die Entwicklung von Wasserstoffproduktionsanlagen mit einer Gesamtleistung von bis zu 5 Gigawatt. Dieser Wasserstoff soll in der gesamten Wirtschaft eingesetzt werden, wobei die Dekarbonisierung von energie-intensiven Industrien wie Stahl und Chemie Priorität hat. Neben der Steigerung der Wasserstoffproduktion wird es außerdem bei der Entwicklung von Wasserstoffmärkten und -projekten zu einer stärkeren Verflechtung mit den Nachbarländern kommen.

Zur Erreichung dieses Ziels hat sich Deutschland aktiv dafür eingesetzt, dass für die Wasserstoffnutzung ein wichtiges Projekt von gemeinsamem europäischen Interesse, ein sog. „Important Project of Common European Interest“ (IPCEI), ins Leben gerufen wird, das finanzielle Mittel in erheblichem Umfang freisetzt. Darüber hinaus will Berlin mehr als 7 Milliarden Euro bereitstellen, damit in Deutschland eine schnelle Markteinführung der Wasserstofftechnologie stattfinden kann. Weitere 2 Milliarden € wurden bewilligt, um internationale Partnerschaften zu fördern.

Andere europäische Länder, darunter Frankreich, die Niederlande, Norwegen, Portugal und Spanien, haben ihre Wasserstoffstrategie vorgestellt und planen derzeit ebenfalls, mehrere Milliarden Euro in diesem Bereich zu investieren.

Wasserstoffbeimischungen betrieben und für viele industriellen Anwendungen genutzt. Wir arbeiten auch weiterhin an der Verbesserung unserer mit Wasserstoff betriebenen Gasturbinen. Unser White Paper über den Einsatz von Wasserstoff in

Gasturbinen beschäftigt sich eingehend mit den damit verbundenen technischen Fragen.¹¹ Siehe Abbildung 4 auf der nächsten Seite.

Der Plan für eine CO₂-arme oder nahezu -freie Stromerzeugung mithilfe von Gasturbinen

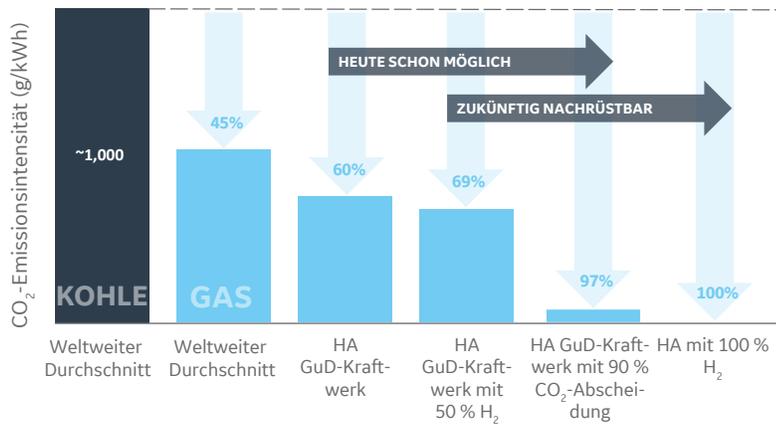


ABBILDUNG 4: Gasturbinen als Chance für die Dekarbonisierung

Quelle: IEA WEO 2020, GE-Analyse

DER KOHLEAUSSTIEG IST EIN WICHTIGER SCHRITT, UM ZUKÜNFTIG IN EUROPA DIE DEKARBONISIERUNG DES ENERGIESEKTORS ZU ERREICHEN

Trotz der Fortschritte beim Kohleausstieg ist Kohle immer noch ein wesentlicher Bestandteil des Energiesystems und es besteht weiterer Handlungsbedarf.

Trotz des Abwärtstrends belief sich der Kohleanteil an der Stromgewinnung in der EU im Jahr 2019 auf circa 17 %. Obwohl die EU kein Ausstiegsdatum festgelegt hat, ist die kohlebasierte Stromerzeugung zwischen 2010 und 2019 um rund 37 % zurückgegangen.⁶ Die Kohleverstromung verteilt sich allerdings nicht gleichmäßig über die europäischen Länder. Einige Stromsysteme in Zentral- und Südosteuropa sind stark auf sie angewiesen und das wird sich auch in den nächsten Jahren nicht ändern. Eine schnellere Abkehr von der Kohleverstromung ist unerlässlich, wenn Europa auf dem Weg zur Klimaneutralität seine Gesamtemissionen minimieren will.

Ganz Europa muss sich für einen vollständigen Kohleausstieg einsetzen. Dieser Ausstieg muss viel schneller vorantreiben gehen als heute. Als wichtige erste Schritte können die staatlichen Subventionen für die Kohleverstromung abgeschafft und Rückwärtsauktionen für den Kapazitätsabbau eingeführt werden. Auch Akteure aus der Privatwirtschaft spielen hier eine Rolle.

Daher hat sich GE dazu verpflichtet, aus dem Markt für neue Kohlekraftwerke auszusteigen. Da heute kostengünstige, zuverlässige und nachhaltige Technologien zur Verfügung stehen, gibt es kaum einen Grund, die Kohle nicht umgehend aus der Energiewirtschaft zu verbannen. Da die kohlebasierte Energieerzeugung zurückgeht, muss sie durch CO₂-ärmere Optionen ersetzt werden – und zwar durch erneuerbare Energien, die durch Gaskraft unterstützt werden.

EIN VERANTWORTUNGSBEWUSSTER ANSATZ FÜR DIE REDUKTION VON METHANEMISSIONEN

Auch wenn bereits erhebliche Fortschritte erzielt wurden, ist es wichtig, sich innerhalb der gesamten Energiewertschöpfungskette mit dem Problem der Methanemissionen zu befassen, die vor allem im Bereich der Förderung und des Transports von Erdgas entstehen.



Was vielen bei der erdgasbasierten Stromerzeugung Sorgen bereitet, ist der signifikante Anstieg der Methanemissionen auf der ganzen Welt. Methan (CH₄) ist der Hauptbestandteil von Erdgas. Obwohl es nicht so lange in der Atmosphäre verbleibt wie CO₂, ist Methan auf Kilogramm-Basis als Treibhausgas 28-mal schädlicher für das Klima als CO₂.^{viii} Methan machte 2018 in Europa 10 % der gesamten THG-Emissionen aus.¹²

In der Energiewirtschaft sind mehr als drei Viertel des entwichenen Methans den vorgelagerten Aktivitäten zuzuschreiben – das sind Förderung, Transport und Verteilung des Gases, weniger jedoch bei seiner Verwendung in Kraftwerken. Die Internationale Energieagentur (IEA) geht davon aus, dass 2020 rund 10 % aller Leckagen ohne Nettokosten vermieden werden könnten, da man den Wert des aufgefangenen Methans mit den Kosten für Vermeidungsmaßnahmen aufwiegen kann. Laut der IEA sind diese Kosten aufgrund des niedrigen Gaspreises im Jahr 2020 geringer als im Jahr zuvor. 2021 werden sie voraussichtlich ansteigen, weil davon ausgegangen wird, dass sich der Gaspreis erhöht, da die Folgen der Pandemie immer weniger spürbar sind.¹³

GE befürwortet Vorgaben, die den Strom- sowie den Öl- und Gassektor verpflichten, verfügbare und kosteneffiziente Technologien und Praktiken zu nutzen, um den Methanausstoß zu verringern. Für uns bei GE ist es ein wichtiges Ziel, Methanleckagen, die durch unsere Produkte entstehen, zu reduzieren. Jedoch sind die Leckagen, auf die wir uns fokussieren, in der Größenordnung viel kleiner als die in den vorgelagerten Bereichen. Wir fordern außerdem alle, die Methan produzieren und nutzen, dazu auf, die beste verfügbare Technologie zur Messung und Abscheidung von Methanemissionen einzusetzen.

^{viii} Über einen Zeitraum von 100 Jahren laut Weltklimarat (IPCC) [Synthesereport \(2014\) des fünften Sachstandsberichts \(AR5\)](#)

GASKRAFT UND ERNEUERBARE ENERGIEN ERGÄNZEN EINANDER UND GEMEINSAM TREIBEN SIE DIE DEKARBONISIERUNG DES STROMSYSTEMS VORAN

Durch die gemeinsame Nutzung von Gas und erneuerbaren Energien kann Europa die Emissionen so schnell und umfangreich wie nur möglich verringern. So kann die EU bis 2050 klimaneutral werden und gleichzeitig die kumulativen Emissionen in der Übergangszeit so niedrig wie möglich halten.

Die Anforderungen an unser Energiesystem und die uns heute zur Verfügung stehenden Technologien zeigen deutlich, dass Gas und erneuerbare Energien durch ihre ergänzenden Eigenschaften die Dekarbonisierung möglich machen können. Indem ein geeignetes Investitionsumfeld und die passenden politischen Rahmenbedingungen geschaffen werden und dabei Überlegungen zu Methanlecks und Landnutzung miteinfließen, kann sich in Europa ein effizienter, ausgeglichener und nachhaltiger Stromsektor etablieren.

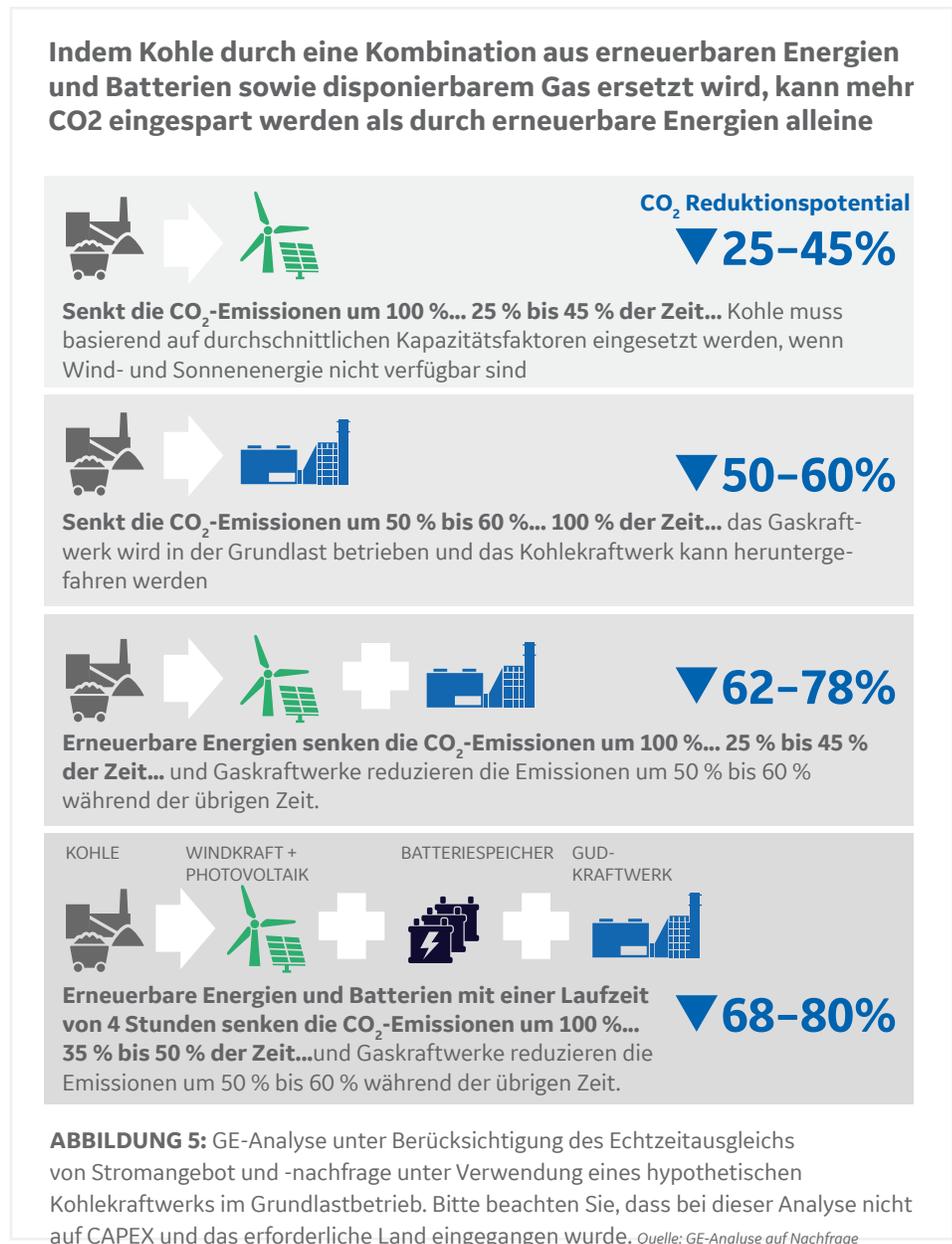
Eine erdgasbasierte Stromerzeugung ist nicht nur flexibel. Auch die Stromversorgung kann damit sichergestellt werden. Um Angebot und Nachfrage in Einklang zu bringen, können Kraftwerke schnell hoch- und heruntergefahren werden. Zudem kann die Ausgabeleistung angepasst und bei Bedarf auf ein sehr niedriges Produktionsniveau herabgesetzt werden. Sie können mehr oder weniger Leistung liefern, da die Stromnachfrage und das -angebot – je nach Bedarf – über den Tag, im Laufe einer Woche oder eines Monats und saisonal schwanken kann. Diese Flexibilität ist besonders wichtig, um die Netzstabilität aufrechtzuerhalten, da immer mehr Windkraftwerke und Photovoltaik-Module eingesetzt werden.

Gaskraftwerke sind unabhängig von der Tageszeit oder den Wetterbedingungen verfügbar und stellen zuverlässig Kapazitäten bereit, wenn diese benötigt werden, sei es für Minuten, Stunden, Tage oder Wochen. Wind- und Sonnenenergie stehen nur zur Verfügung, wenn der Wind weht bzw. die Sonne scheint. Die Verfügbarkeit von Strom, der durch Wind- und Sonnenenergie erzeugt wird, stimmt nicht immer mit der Nachfrage überein. Da die Stromzufuhr immer mit der Nachfrage übereinstimmen muss, müssen erneuerbare Energien durch eine stets verfügbare Energiequelle, wie z. B. Erdgaskraftwerke oder Batterien, ergänzt werden, um die Verlässlichkeit des Stromsystems zu gewährleisten. Gaskraft ist aufgrund der geringen Investitionsausgaben für längerfristige Anlagegüter (CAPEX) und der wettbewerbsfähigen Kosten von Erdgas erschwinglich. Tatsächlich betragen die CAPEX-Kosten für ein Gas- und Dampfturbinenkraftwerk üblicherweise zwischen ~700 und 1200 \$/kW. Damit ist es die

Erzeugungstechnologie, die auf \$/kW-Basis die geringsten Kosten verursacht.¹⁴ Im Vergleich dazu belaufen sich die Kosten für Windanlagen auf dem Festland und für Photovoltaikanlagen auf ~1500 \$/kW bzw. ~1250 \$. Dies ist von besonderer Bedeutung, wenn die Kapitalverfügbarkeit begrenzt ist oder eine Projektfinanzierung erforderlich ist.

In die Gaserzeugung zu investieren, ist, wie bereits erwähnt, eine Möglichkeit, um in Zukunft sicher und mit der richtigen Technologie die Dekarbonisierung zu erreichen. Unabhängig davon, ob CCUS-Technologie eingesetzt oder Wasserstoff verwendet wird – werden erneuerbare Energien

durch Gaskraft ergänzt, kann CO₂-neutraler Strom nachhaltig, sicher und kostengünstig bereitgestellt werden. Indem im großen Umfang dringend anstehende Investitionen in Wind- und Sonnenenergie sowie Batteriestrom und Gaskraft vorgenommen werden, können die Marktakteure für Europa den Weg zum Netto-Null-Emissionsziel ebnen. Siehe Abbildung 5.





GE-Fabrik in Birr, Schweiz

Fazit

Der Bekämpfung des Klimawandels muss weltweit allerhöchste Priorität eingeräumt werden. Dazu sind Maßnahmen auf globaler Ebene, Verpflichtungen auf nationaler Ebene sowie einheitliche politische und gesetzliche Rahmenbedingungen erforderlich.

Europa ist bei klimabezogenen Maßnahmen führend, und der Europäische Rat erklärte, dass die EU ihre Vorreiterrolle in der Klimadiplomatie nutzen wird, um andere große Volkswirtschaften davon zu überzeugen, sich den Klimazielen der EU anzuschließen.

Um die Herausforderungen zu bewältigen, die der Klimawandel mit sich bringt, ist eine europaweite Zusammenarbeit vonnöten, in die alle Branchen und politischen Kräfte der EU27 und darüber hinaus miteinbezogen werden. Fatih Birol, Executive Director der Internationalen Energieagentur (IAE), erklärte, dass seine Behörde die Bildung einer „großen Koalition“ fordere, die Regierungen, Investoren, Unternehmen und diejenigen miteinbeziehe, die für die Bekämpfung des Klimawandels eintreten.

Das dringlichste Problem besteht darin, die Kohleverstromung aus dem Stromsystem in Europa zu eliminieren. Laut dem jüngsten Bericht der Europäischen Umweltagentur (EEA)¹⁵, für den 16 Stromerzeugungsmethoden untersucht wurden, ist Kohle immer noch die mit Abstand umweltbelastendste Energiequelle, die dementsprechend die schwerwiegendsten Auswirkungen auf die Umwelt hat. In der Stromerzeugung von Kohle auf Gaskraft

umzusteigen, wäre ein entscheidender Schritt auf dem Weg zum Netto-Null-Emissionsziel, das Europa bis 2050 erreichen möchte. Für die Dekarbonisierung, die maßgeblich mit erneuerbaren Energien und Erdgas umgesetzt werden soll, sind unterschiedliche Herangehensweisen erforderlich, damit im Stromsektor die THG-Emissionen rasch gesenkt werden können.

Dort, wo Kohle nicht mehr zur Stromproduktion eingesetzt wird, können THG-Emissionen, die in der Stromerzeugung entstehen, schnell durch erneuerbare Energien und Gaskraft reduziert werden, die gleichzeitig das Potenzial des gesamten Energiesystems voll ausschöpfen. Mit Erdgas befeuerte Gas- und Dampfturbinenkraftwerke verursachen im Vergleich zu Kraftwerken, in denen fossile Brennstoffe eingesetzt werden, die geringsten Emissionen. Wenn GuD-Kraftwerke gemeinsam mit CCUS und/oder Wasserstoff zum Einsatz kommen, könnten CO₂-Emissionen signifikant und dauerhaft reduziert werden. Die Entwicklung dieser Anlagen muss beschleunigt werden, damit die Klimaziele erreicht werden und ein Anstieg der globalen Durchschnittstemperaturen um 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau, so wie es im Pariser Abkommen der UN-Klimakonferenz (COP 21) festgelegt wurde, vermieden wird.

Um den Klimawandel anzugehen, müssen Regierungen und Verbraucher Maßnahmen ergreifen. GE ist als Unternehmen aufgrund seiner Größe, der umfassenden Produktpalette und den ausgereiften Technologien in einer einzigartigen Position, um hier eine Schlüsselrolle einzunehmen.

Wir waren bereits vor mehr als einem Jahrhundert, als die Energiewirtschaft noch in den Kinderschuhen steckte, ein wichtiger Akteur auf diesem Gebiet und haben eine Reihe an Komplementärtechnologien entwickelt, die für die Energiewende gebraucht werden, darunter Gasturbinen, Ausrüstung für Offshore- und Onshore-Windanlagen und Wasserkraftwerke, kleine modulare Reaktoren, Batteriespeicher sowie Hybridsysteme und Netzlösungen. Noch wichtiger ist, dass wir glauben, dass es in unserer Verantwortung liegt, die Energiewende voranzutreiben, indem wir mit unseren Kunden sowie mit politischen Entscheidungsträgern und den Verbrauchern zusammenarbeiten, damit ein Energiesystem entstehen kann, mit dem alle Beteiligten zufrieden sind.



VERWEISE

- ¹ [Europäische Kommission – Fortschritte bei der Emissionssenkung \(2021\)](#)
- ² [Europäische Umweltagentur – Daten zur CO₂-Intensität der Stromerzeugung \(2020\) \(Zahlen für CO₂-Emissionen 2017\) \(in Englisch\)](#)
- ³ [Europäische Umweltagentur – Bericht über Trends und Verursacher der EU-Treibhausgasemissionen \(2020\) \(in Englisch\)](#)
- ⁴ [Kommuniqué der Europäischen Kommission über die Strategie zur Integration der Energiesysteme \(2020\) \(in Englisch\)](#)
- ⁵ [Deutscher Stomnetz-Entwicklungsplan 2030 \(2019\) \(in Englisch\)](#)
- ⁶ [IEA World Energy Outlook \(2020\)](#)
- ⁷ [IRENA-Bericht zu den Kosten der erneuerbaren Stromerzeugung im Jahr 2019 \(2020\) \(in Englisch\)](#)
- ⁸ [GE-Analyse – Ein beschleunigtes Wachstum im Bereich erneuerbare Energien und Gaskraftwerke kann den Verlauf des Klimawandels schnell verändern \(2020\) \(in Englisch\)](#)
- ⁹ [GE-Analyse – Dekarbonisierung von Gasturbinen durch CO₂-Abscheidung – ein Weg zu einem geringeren CO₂-Ausstoß \(2021\) \(in Englisch\)](#)
- ¹⁰ [Europäische Kommission – Eine Wasserstoffstrategie für ein klimaneutrales Europa \(2020\) \(in Englisch\)](#)
- ¹¹ [GE-Analyse – Wasserstoff als Kraftstoff für Gasturbinen – ein Weg zu einem geringeren CO₂-Ausstoß \(2021\) \(in Englisch\)](#)
- ¹² [Europäische Umweltagentur – Treibhausgas – Datenansicht \(2020\) \(in Englisch\)](#)
- ¹³ [IEA, Methan-Tracker 2021 \(in Englisch\)](#)
- ¹⁴ [Lazard-Analyse zu den mittelfristigen Stromgestehungskosten – v. 13.0 \(2019\)/ GE-Analyse – Ein beschleunigtes Wachstum im Bereich erneuerbare Energien und Gaskraftwerke kann den Verlauf des Klimawandels sehr schnell ändern \(2020\) \(in Englisch\)](#)
- ¹⁵ [Briefing der Europäischen Umweltagentur \(2021\) \(in Englisch\)](#)



[ge.com/gas-power](https://www.ge.com/gas-power)