

*Öffentliche Anhörung im Ausschuss für Wirtschaft und Energie des Deutschen Bundestages zu der Vorlage*

*Antrag der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN  
Weichen für die ökologische Modernisierung der Wirtschaft stellen –  
Chancen des Klimaschutzes nutzen  
BT-Drs. 18/8877*

*Stellungnahme des Umweltbundesamtes vom 13. Oktober  
2016*

*Ökologische Modernisierung der Wirtschaft durch Klimaschutz – welche ökonomischen Chancen bestehen für Deutschland?*

Klimaschutz ist ein wesentlicher Treiber der ökologischen Modernisierung der Wirtschaft. Er betrifft nicht nur die erneuerbaren Energien oder Energieeffizienztechniken, sondern die gesamte Wirtschaft. Auch klassische Wirtschaftszweige wie der Fahrzeugbau, die chemische Industrie oder die Landwirtschaft müssen sich grundlegend wandeln, damit die Klimaschutzziele erreicht werden können. Diese Herausforderung stellt sich weltweit und wird zur Folge haben, dass die Nachfrage nach klimafreundlichen Techniken, Gütern und Dienstleistungen in den nächsten Jahrzehnten rapide steigen wird. Daher ist es aus ökonomischer Sicht erforderlich, die sich wandelnden Marktanforderungen vorwegzunehmen und neue, rasch wachsende Zukunftsmärkte zu erschließen. (UBA (2016) Ökologische Modernisierung der Wirtschaft durch eine moderne Umweltpolitik.) Geschieht dies nicht besteht die Gefahr, dass Stranded Investments entstehen und die deutsche Wirtschaft in wichtigen Märkten ihre internationale Wettbewerbsfähigkeit verliert.

Zu den grünen Zukunftsmärkten, die unmittelbar mit dem Klimaschutz verbunden sind, zählen die Märkte für umweltfreundliche Energieerzeugung, Energieeffizienz und nachhaltige Mobilität sowie im weiteren Sinne auch die Märkte für Rohstoff- und Materialeffizienz, sowie Abfall- und Kreislaufwirtschaft. Technologien, die sich diesen Märkten zuordnen lassen, sind wirtschaftlich schon heute bedeutsam. (BMUB 2014: GreenTech made in Germany 4.0 Umwelttechnologie-Atlas für Deutschland) und zeichnen sich durch eine besonders hohe Dynamik aus.

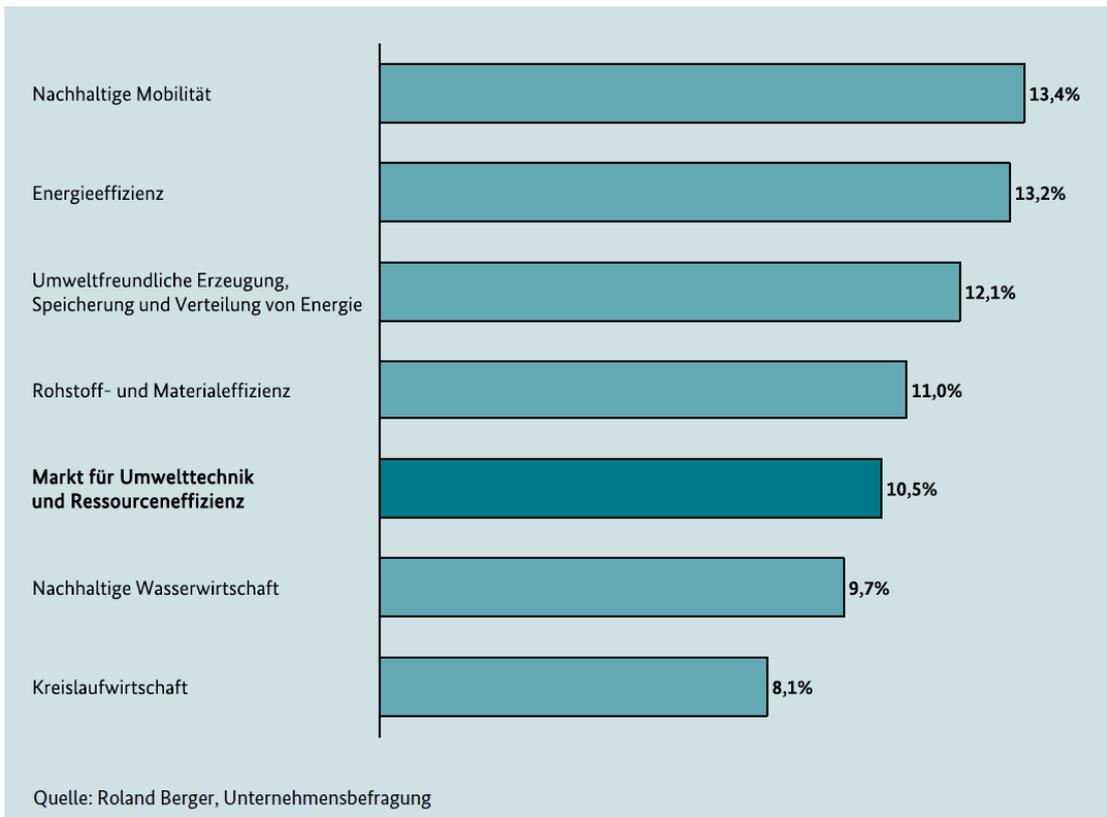


Abbildung 61: Durchschnittlich erwartetes Umsatzwachstum pro Unternehmen bis 2018 nach Leitmarktfokus (in Prozent pro Jahr)

Quelle: BMUB (2015) Green-Tech Atlas 4.0

Insgesamt wird das globale Marktvolumen in diesen Bereichen nach Einschätzung von Roland Berger von 2.536 Mrd. (2013) auf 5.385 Mrd. (2025) steigen.

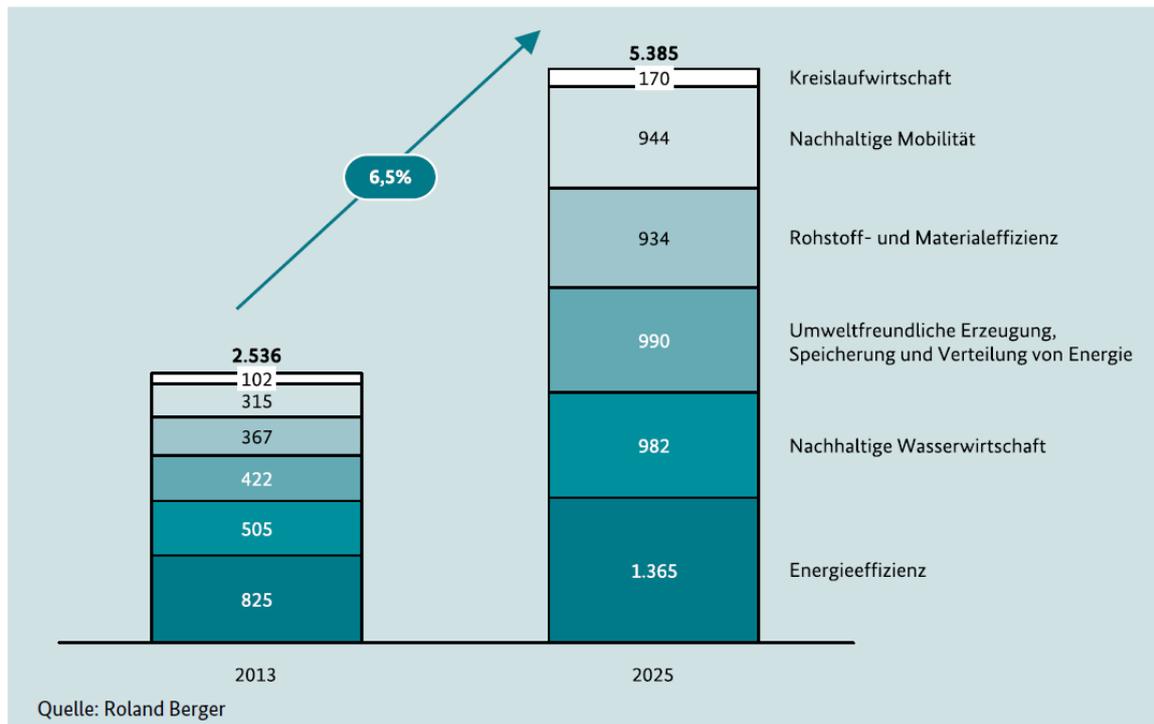


Abbildung 13: Entwicklung des globalen Marktvolumens für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz 2013-2025 (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2013-2025 in Prozent)

Quelle: BMUB (2015) Green-Tech Atlas 4.0

Die Dynamik der Klimaschutzmärkte sichert und schafft nach Ansicht der Forscher in Zukunft auch Arbeitsplätze. Einer Studie für das BMUB zufolge steigt die Bruttobeschäftigung im Bereich der EE selbst bei konservativem Ausbau (der hinter dem Klimaschutzplan zurückbleibt) von 350.000 Personen 2012 bei verhalten bis positiven Prognosen auf 400.000 bis 600.000 Beschäftigten in 2030 (Lehr et al. (2011). Kurz- und langfristige Auswirkungen des Ausbaus der erneuerbaren Energien auf den deutschen Arbeitsmarkt, Studie im Auftrag des BMUB). Nach Ecofys/Fraunhofer ISI/Irees/Öko-Institut (2016) werden bis 2020 fast 190.000 zusätzliche Vollzeitstellen durch Energieeffizienzmaßnahmen (vor allem in der Bauwirtschaft) entstehen.

Klimaschutz löst aber auch technologischen Fortschritt aus. Beispiele hierfür sind das EEG (AEE 2014) und die EnEV (IEA 2015). Das schlägt sich in der Patentdynamik nieder. In Deutschland nehmen die Patente in Erneuerbare Energien und rationelle Energieumwandlung unter den Klimaschutzpatenten den höchsten Rang ein (ebenda).

Weltweit weisen die jährlichen Patentanmeldungen bis 2012 bei Klimaschutztechnologien - 60% aller Umweltpatente - das höchste Wachstum auf, dicht gefolgt von der Mess-, Steuer-, Regeltechnik (Gehrke, B./Schasse, U./Ostertag, K. 2015, Innovationsmotor Umweltschutz, UBA Reihe Umwelt, Innovation, Beschäftigung 05/2015).

Auch im internationalen Wettbewerb steht Deutschland aktuell gut da. Der Welthandelsanteil Deutschlands betrug 2013 rund 13%. Deutschland ist hinter China zweitgrößter Exporteur von potenziellen Klimaschutzgütern (Gehrke, B./Schasse U. (2015) Die Umweltschutzwirtschaft in Deutschland, Produktion, Umsatz und Außenhandel, UBA Reihe Umwelt, Innovation, Beschäftigung 4/2015). Bemerkenswert dabei ist die Entwicklung Chinas, dessen Anteil am globalen Handel mit Klimaschutzgütern sich zwischen 2002 und 2011 mehr als verdreifachte: von 5,7% auf 19,9%. Seitdem ist Chinas Anteil jedoch nicht weiter gestiegen.

Im internationalen Umfeld weist Deutschland besondere Stärken bei der umweltfreundlichen Energieerzeugung und -speicherung (Weltmarktanteil 17 Prozent) bei der Energieeffizienz (Weltmarktanteil 12%) und der

Nachhaltigen Mobilität (17 Prozent) auf (BMUB 2014: GreenTech made in Germany 4.0 Umwelttechnologie-Atlas für Deutschland).

Auf Grund seiner hervorragenden Wettbewerbsposition besitzt Deutschland sehr gute Voraussetzungen, um von der dynamischen Entwicklung der Klimaschutzmärkte auch in Zukunft überdurchschnittlich profitieren zu können. Allerdings ist dies kein Selbstläufer. Andere Länder, allen voran China, haben das wirtschaftliche Potenzial der grünen Zukunftsmärkte erkannt und treiben entsprechende Entwicklungsstrategien voran. Der Wettbewerb wird schärfer. Daher sind eine ambitionierte Klimaschutzpolitik sowie verstärkte Anstrengungen in Forschung und Entwicklung sowie bei der Marktdiffusion von klimafreundlichen Innovation notwendig.

### *Welche Empfehlungen gibt das Umweltbundesamt zur Ausgestaltung des Klimaschutzplans 2050 der Bundesregierung in Hinblick auf die ökologische Modernisierung der Wirtschaft?*

Die Beschlüsse der Pariser Klimakonferenz Ende 2015 haben ein eindeutiges Signal an die Gesellschaft und die globale Wirtschaft gesendet: Die Zukunft muss kohlenstoffarm und klimaresilient sein. Dies bedeutet, dass die 2 Grad Obergrenze klar eingehalten werden muss und möglichst 1,5°C erreicht werden. Das UBA sieht es für Deutschland daher auch im Spiegel der internationalen Klimaschutzdebatte als erforderlich an, dass die Bundesregierung in ihren Maßnahmenplänen die obere Grenze des Zielkorridors für 2050 von 80-95 % festlegt. Dies würde international nicht nur ein wichtiges Signal eines reichen Industriestaates an die vom Klimawandel besonders betroffenen armen Länder sein, sondern auch einen verbindlichen Rahmen setzen für alle in den kommenden Jahren festzulegenden und umzusetzenden Pläne, Programme und Maßnahmen über alle Ressorts hinweg.

Das UBA hat mit seinem Positionspapier zum Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung<sup>1</sup> konkrete Vorschläge und aus Sicht des Umweltbundesamtes notwendige Schritte für eine **nachhaltige und ambitionierte Ausgestaltung** in den Prozess zur Erstellung des Klimaschutzplanes 2050 der Bundesregierung eingespeist. Der Fokus liegt auf der Darstellung strategischer Maßnahmen und Instrumente für den Zeitraum 2020 bis 2030, die somit unmittelbar an das Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 der Bundesregierung anschließen. Maßstab ist dabei der obere Rand des nationalen und europäischen Zielkorridors: eine **Minderung der Treibhausgasemissionen bis 2050 um 95 %**.

Der notwendige Wandel hin zu einer treibhausgasneutralen und klimaresilienten Gesellschaft betrifft viele Teilbereiche, die sich gegenseitig beeinflussen. Die Transformation ist daher durch die Kombination und das Wechselspiel von Innovationen, Akteuren und politischen Instrumenten gekennzeichnet und unterliegt sich **wandelnden Rahmenbedingungen**. Das UBA erachtet es für elementar, dass der Klimaschutzplan – nachhaltig ausgestaltet und unter Beachtung des ambitionierten Langfristziels – fortlaufend an diese sich wandelnden Rahmenbedingungen angepasst wird. Das Umweltbundesamt hält es für notwendig, dass die Bundesregierung ein **ambitioniertes Ziel – die Treibhausgasreduzierung um 95 % gegenüber 1990 – verbindlich festlegt**. Damit soll allen gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Akteuren langfristige Planungs- und Entscheidungssicherheit für diesen tiefgreifenden Wandel hin zu einer klimaneutralen Volkswirtschaft<sup>1</sup> eingeräumt werden. Dabei werden auch andere wichtige Politikziele (wie z. B. die Ressourcenschonung) mit gefördert.

Elementar für einen erfolgreichen, umsetzungsorientierten Prozess sind die **Beteiligung und Akzeptanz** der gesellschaftlichen Akteure, die kontinuierliche Erfolgskontrolle<sup>2</sup> der Umsetzung und Zielerreichung und eine darauf aufbauende **Nachsteuerung des Policy Mix sowie die kontinuierliche Strategiefortschreibung**.

Die Entwicklung der THG-Emissionen der letzten Jahre erfordert – auch kurzfristig, zur Wahrung des 40 %-Ziels bis 2020 – eine deutliche Nachsteuerung auf der Maßnahmenenebene und damit eine **erhebliche**

---

<sup>1</sup> UBA (2016): Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung – Diskussionsbeitrag des Umweltbundesamtes. Position, April 2016.

<sup>2</sup> Hierzu könnte auf bestehende Berichte aufgebaut werden.

Intensivierung der nationalen aber auch europäischen Klimaschutzbemühungen sowie entschiedenes Handeln in allen Sektoren.

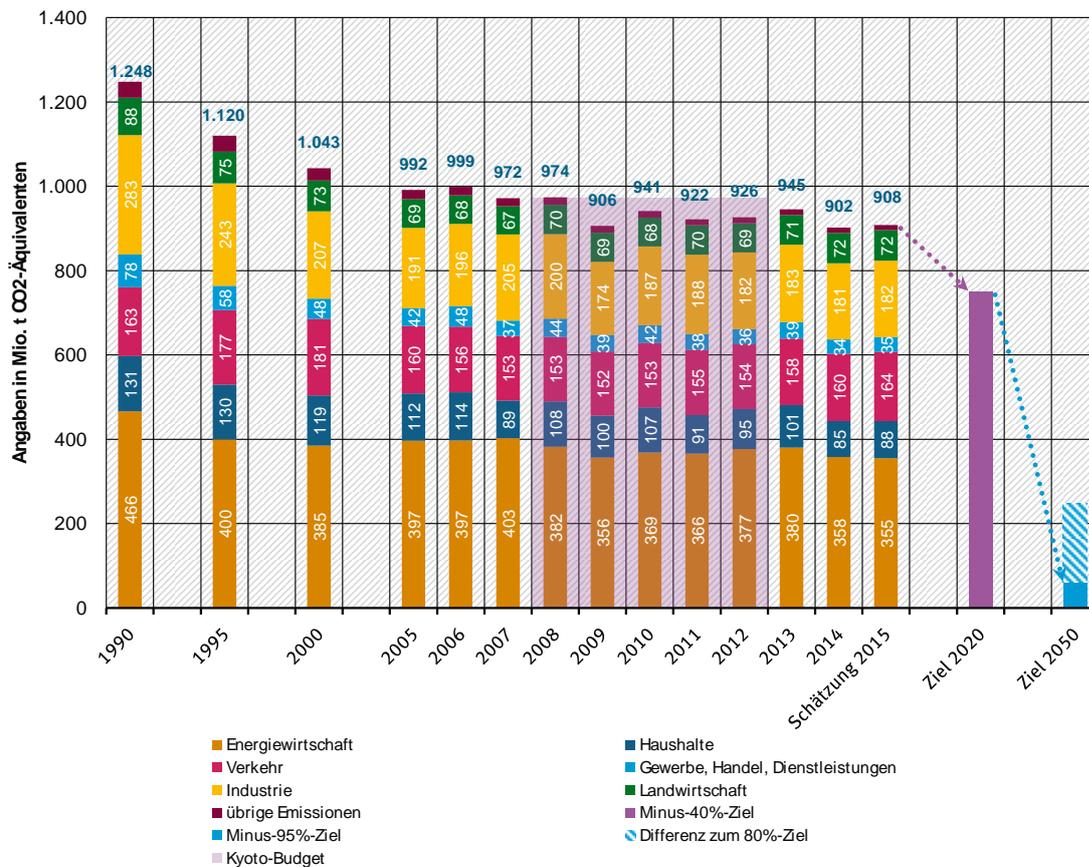


Abbildung 1: Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland in der Abgrenzung der Sektoren des Aktionsprogrammes Klimaschutz 2020 und Ziele

Als Hauptursache energiebedingter THG-Emissionen steht die Energiebereitstellung auf Basis der Verbrennung fossiler Energieträger im Fokus. Die höchsten Minderungsbeiträge müssen daher der Energiesektor, die Industrie und der Verkehr leisten. Die Landwirtschaft rückt im Zuge des Transformationsprozesses verstärkt in den Blickpunkt, da auch hier ein Beitrag zur Reduktion der Treibhausgasemissionen notwendig ist. Der Klimaschutzplan muss – eingebettet in eine **nachhaltige Entwicklung** in all ihren Dimensionen – **verursachergerechte Lösungswege** aufzeigen. Weder stellen der Einsatz fossiler Energieträger oder die Nutzung von Atomenergie noch Maßnahmen des Geoengineering oder die CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Speicherung (CCS) aus unserer Komponenten eines nachhaltigen Entwicklungspfades dar. Vielmehr müssen die Schlüsselmaßnahmen in allen Handlungsfeldern darauf abzielen

- die konsequente Erschließung von Vermeidungs- und Effizienzpotentialen,
- die Substitution fossiler Energieträger in allen Anwendungsbereichen durch erneuerbare Energien,
- effizienten Ressourceneinsatz sowie
- suffizientes Leben und Wirtschaften aber auch
- klimaresiliente (Infra-)Strukturen

voranzutreiben bzw. zu ermöglichen.

Die Dekarbonisierung von Wirtschaft und Gesellschaft erfordert über die sektorale Betrachtung hinaus auch **querschnittsorientierte Denkweisen, Maßnahmen und politische Instrumente**. Eine langfristig orientierte Politik vermeidet Strukturbrüche, um gesellschaftliche Kosten zu begrenzen. Die Einbettung der nationalen Politik in die europäische Klimaschutzpolitik - insbesondere den Emissionshandel - erfordert eine angepasste Ausgestaltung, eröffnet aber auch zusätzliche Spielräume für nationale Maßnahmen und Instrumente. Ökonomische Instrumente wie die Energiebesteuerung, der Abbau klimaschädlicher Subventionen und der Emissionshandel können und sollen wesentliche klimapolitische Instrumente zur Dekarbonisierung sein und müssen entschieden weiterentwickelt werden, da sie die ökonomischen Rahmenbedingungen aller Akteure mit prägen.

UBA fordert deshalb, die Lenkungswirkung der ökologischen Steuerreform wiederherzustellen und dauerhaft zu erhalten, denn durch die Inflation sinken die realen Steuersätze für Energie und Strom seit 2003 (letzte Stufe der ökologischen Steuerreform). Der nominale Steuersatz auf Benzin (Diesel) beispielsweise liegt seit 2003 unverändert bei 65,45 (47,04) Cent/Liter. Zugleich sind die Weltmarktpreise der fossilen Energien in den letzten Jahren stark gesunken. Dies verringert zusätzlich die ökonomischen Anreize, fossile Energien sparsam und effizient einzusetzen und damit auch den politischen Handlungsdruck. Als Reformvorschlag empfiehlt das UBA, das reale Niveau der Energie- und Stromsteuersätze der ökologischen Steuerreform wiederherzustellen und eine Indexierung einzuführen, um inflationsbedingte Erosionen der realen Energiesteuersätze künftig zu verhindern. Es stünden dann erhebliche Mehreinnahmen z.B. für die Finanzierung von Klimaschutz zur Verfügung.

In Deutschland summierten sich die umweltschädlichen Subventionen im Jahr 2010 auf mehr als 52 Mrd. Euro. Sie sind überwiegend auch klimaschädlich –fast die Hälfte der umweltschädlichen Subventionen fließt in den Verkehrssektor und die den Unternehmen gewährten Vorteile bei der Energiebesteuerung machen ebenfalls einen hohen Anteil an allen umweltschädlichen Subventionen aus. Sie belasten die öffentlichen Haushalte - direkt durch Mindereinnahmen und Mehrausgaben und indirekt durch Folgekosten für den Staat durch die verursachten Umwelt- und Gesundheitsschäden. Hinzu kommt, dass klimaschädliche Subventionen den Wettbewerb zu Lasten klimafreundlicher Techniken und Produkte verzerren. Dies wiederum führt dazu, dass der Staat diese Techniken und Produkte in erhöhtem Maße fördern muss, damit sie im Wettbewerb eine faire Chance haben und sich im Markt durchsetzen können. Um zu gewährleisten, dass künftig umwelt- und klimaschädliche Subventionen systematisch abgebaut werden, ist ein umwelt- und klimabezogenes Controlling aller bestehenden und neu eingeführten Subventionen erforderlich. Hierfür schlägt das UBA einen "Umweltcheck" für Subventionen vor. Außerdem sollte ein verbindlicher Fahrplan zum Abbau umwelt- und klimaschädlicher Subventionen erarbeitet werden.

Beim Abbau klimaschädlicher Subventionen sollte rasch gehandelt werden, weil der niedrige Ölpreis die Wirtschaftlichkeit von Investitionen in effizientere und erneuerbare Techniken zusätzlich bremst. Angesichts der aktuell vergleichsweise niedrigen Marktpreise für Kraftstoff und Heizöl könnten zudem Subventionen für fossile Energieträger ohne große Belastungen schrittweise abgebaut werden.

## *Handlungsfeld Energiewirtschaft*

Aufgrund der eingeschränkten technischen Minderungspotentiale insbesondere bei den prozessbedingten Emissionen und Emissionen aus der Landwirtschaft, ist es für die Erreichung der Klimaschutzziele notwendig, dass die Energiewirtschaft einen überproportionalen Anteil zur Treibhausgasminderung beiträgt. Dies gilt insbesondere bei der Erreichung ambitionierter Klimaschutzziele, also bei einer THG-Emissionsreduktion um 95 % gegenüber 1990.

Die bedingt insbesondere eine vollständige Reduktion der Kohleverstromung. Aus energiewirtschaftlichen, klimapolitischen und ökologischen Gründen sollte insbesondere die Braunkohleverstromung deutlich vor 2050 enden. Zudem sollten die Emissionen aus der Kohleverstromung bis spätestens 2030 auf einen Entwicklungspfad einschwenken, der im Einklang mit einem ambitionierten langfristigen Minderungspfad für die Energiewirtschaft steht.

Von der Bundesregierung sollte ein nationaler Kohledialog unter Beteiligung aller relevanten gesellschaftlichen Akteure initiiert werden. Auf der Grundlage dieses Dialogs sollten im Klimaschutzplan Entwicklungspfade für die Kohleverstromung und Maßnahmen für einen sozialverträglichen Strukturwandel schnellstmöglich festgelegt und durch einen Monitoringprozess regelmäßig von der Bundesregierung evaluiert werden.

Das UBA empfiehlt ergänzend zu nationalen klima- und energiepolitischen Instrumenten zum Kohleausstieg eine ETS-neutrale Ausgestaltung dieser Ansätze. Durch ergänzende Instrumente ausgelöste Nachfragerückgänge müssen durch entsprechende Angebotskürzungen im EU-ETS ausgeglichen werden können. Kurzfristig ist dies z.B. durch nationalen Auktionsverzicht oder Aufkaufprogramme möglich. Strukturelle Emissionsrückgänge sollten sich mittelfristig in einer Cap-Anpassung niederschlagen.

Technisch besteht die Möglichkeit, die Treibhausgasemissionen in der Energiewirtschaft auf nahezu Null zu senken, indem vollständig auf erneuerbare Energien umgestellt wird und die Effizienzpotenziale zugleich weitgehend ausgeschöpft werden<sup>ii</sup>. Zentrale Bausteine einer vollständig regenerativen Energieversorgung sind sämtliche Power to X-Techniken über alle Anwendungsbereiche hinweg. Die energetische Nutzung von

Anbaubiomasse<sup>iii</sup>, Atomenergie und CCS sind aus Sicht des Umweltbundesamtes keine Bausteine in einem nachhaltigen Energiesystem<sup>iv</sup>.

Damit der notwendige überproportionale Beitrag zur Treibhausgasreduzierung in der Energiewirtschaft geleistet werden kann, sind die Voraussetzungen für die Erschließung der Effizienzpotentiale, regenerative Versorgung von strombasierten Energieträgern und Rohstoffen über alle Anwendungsbereiche hinweg zu schaffen und ein verstärkter Ausbau der erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung notwendig.

Gleichwohl sollte eine nationale, treibhausgasneutrale Energieversorgung in die international notwendige Dimension eingebettet sein. Vor dem Hintergrund globaler Wirtschaftsnetzwerke, die insbesondere im internationalen Verkehr internationale Kompatibilität erfordert, ist es notwendig, neben den nationalen Strategien auch eine internationale Strategie zu entwickeln, um den globalen Herausforderungen zum Klimawandel entgegenzutreten. Dabei kann auch PtG/PtL eine zentrale Rolle für die regenerative globale Versorgung mit Brenn-, Kraft- und Rohstoffen und für einen internationalen, regenerativen Energiemarkt darstellen. Eine wichtige Rolle bei den strategischen Fragen zur Energieversorgung spielen dabei die Importabhängigkeit, die Diversifizierung der Lieferländer und Energiequellen sowie der Ausbau internationaler Infrastrukturen.

## *Handlungsfeld Industrie und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen*

Um das nationale Minderungsziel hinsichtlich der Treibhausgasemissionen zu erreichen, müssen auch die im Sektor Industrie und GHD noch vorhandenen Potentiale so weit wie möglich ausgeschöpft werden, z. B. durch die Verbesserung der Energieeffizienz von Querschnittstechniken, die Umstellung auf treibhausgasneutrale Energieträger, Rohstoffe und Produktionsverfahren, die Flexibilisierung der Stromnachfrage, den Ausbau der Nutzung industrieller Abwärme und die effiziente Nutzung von kohlenstoffhaltigen Reststoffen.

## *Handlungsfeld Gebäude*

Der Gebäudebereich ist wegen der nach wie vor bestehenden großen Energieeinsparpotentiale eine wichtige Säule deutscher Klimaschutzpolitik. Ziel der Bundesregierung ist es daher, bis zum Jahr 2050 einen nahezu klimaneutralen Gebäudebestand zu erreichen. Hierzu sollen die Gebäude nur noch einen geringen Energiebedarf haben, der überwiegend durch erneuerbare Energien gedeckt wird. Konkret wird eine Senkung des Primärenergiebedarfs des Gebäudebestands um rund 80 % bis 2050 und eine Verdopplung der Sanierungsrate auf 2 % pro Jahr angestrebt. Das angestrebte Ziel lässt sich nur mit einem Bündel von Maßnahmen erreichen. Die Darstellung des Emissionsverlaufs entsprechend der für den Klimaschutzplan 2050 abgesteckten Kategorien ist nicht möglich. Ein Teil der Emissionen (Wohngebäude) ist bereits im Handlungsfeld Energiewirtschaft dargestellt. Im Handlungsfeld „Gebäude“ werden neben Wohngebäuden auch die Gebäude des GHD-Sektors adressiert.

## *Handlungsfeld Verkehr*

Um sektorübergreifend eine THG-Minderung von 95 % bis zum Jahr 2050 in Deutschland zu erreichen, muss der Verkehr nahezu THG-neutral sein. Voraussetzung hierfür ist *erstens*, dass der Verkehr seinen Endenergieverbrauch deutlich senkt. Daher müssen bereits heute weitergehende Maßnahmen zur Senkung seines Energiebedarfs ergriffen werden. Das bereits bestehende Endenergieverbrauchsziel für den Verkehr in Deutschland (-40% bis 2050 gegenüber 2005) sollte die Bundesregierung daher weiter verschärfen und zusätzliche ambitionierte Zwischenziele für die Jahre 2030 und 2040 formulieren. Anspruchsvolle Endenergieverbrauchsziele im Verkehr sind jedoch alleine mit fahrzeugseitigen Effizienzsteigerungen nicht erreichbar. Erst die Kombination mit Maßnahmen zur Verkehrsvermeidung und -verlagerung im Rahmen einer „Verkehrswende“ ermöglicht, die Energienachfrage des Verkehrs bis 2050 in erforderlicher Weise abzusenken.

*Zweitens* muss der Verkehr auf treibhausgasneutrale Energieträger umgestellt werden. Fossile Energieträger wie Benzin, Kerosin und Diesel haben langfristig ausgedient. Die Zukunft liegt bei der direkten Nutzung von regenerativem Strom für Elektromobilität und – bei der Nutzung von stromgenerierten Kraftstoffen (PtG und PtL), wo Elektromobilität nicht realisierbar ist (z. B. internationaler Flug- und Seeverkehr) oder zur Sicherung hoher Fahrweiten zusätzlich zum Elektromotor ein Verbrennungsmotor notwendig ist. Mit diesen THG-

neutralen Energieträgern muss jedoch sparsam umgegangen werden, da diese nur begrenzt verfügbar sind und zudem sehr teuer sein werden.

Ein enges Zusammenspiel von Verkehrswende (Vermeiden/Verlagerung/Verbessern der Effizienz) einerseits und der Energiewende im Verkehr andererseits ist somit entscheidend für die Erreichung anspruchsvoller Klimaschutzziele.

## *Handlungsfeld Landnutzung, Land- und Forstwirtschaft*

Die Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden (zum Beispiel durch Grünlandumbruch) sowie die Emissionen und Einbindung durch Kohlenstoffspeicherung in der Forstwirtschaft werden bisher nicht in die Bewertung der Zielerreichung beim Klimaschutz einbezogen. Mittelfristig sollten die Potenziale für zusätzliche Klimaschutzmaßnahmen in diesem Bereich in den Blick genommen werden. Dabei sollten solche Maßnahmen im Mittelpunkt stehen, die besonders effizient sind, positive Beiträge zu anderen agrarumweltpolitischen Zielen leisten und für die bereits politische Ziele festgelegt worden sind. Die Bilanzierung der Emissionen in diesem Bereich ist jedoch – verglichen mit den anderen Sektoren – mit erheblichen methodischen Schwierigkeiten verbunden.

Effiziente Klimaschutzmaßnahmen in der Landwirtschaft zeichnen sich ganz allgemein durch geringe THG-Minderungskosten bei nachhaltiger Maßnahmenwirkung aus. Besonders effizient sind Maßnahmen, mit denen die Effizienz des Stickstoffeinsatzes erhöht wird. Denn dadurch können nicht nur Produktionskosten eingespart werden, sondern es bestehen außerdem Synergien mit anderen großen landwirtschaftlich verursachten Umweltproblemen wie der Belastung von Grund- und Oberflächengewässer mit Nitrat, Stickstoffemissionen sowie negative Effekte auf die biologische Vielfalt durch Überdüngung.

Maßnahmen, die die landwirtschaftliche Flächennutzung und den Torfabbau fokussieren, zielen auf den Erhalt des Kohlenstoffspeichers und damit auf die Senkenleistung des Bodens ab. Der Erhalt, die Wiederherstellung bzw. nachhaltige Verbesserung der Kohlenstoff-Senken-Funktion der Böden leisten darüber hinaus einen wichtigen Beitrag für eine verbesserte Struktur und Wasserspeicherfähigkeit der Böden und somit für höhere Ertragspotentiale. Besonders unter den Bedingungen der zu erwartenden Klimaänderungen können optimal mit organischer Substanz versorgte Böden den Einfluss von Witterungsextremen besser abpuffern, als Böden in schlechtem Kulturzustand. Maßnahmen zum Erhalt des Kohlenstoffspeichers erbringen darüber hinaus nicht nur positive Leistungen für den Klimaschutz, vor allem der Boden- und Gewässerschutz sowie die Biodiversität profitieren davon.

Die Tierhaltung ist in Deutschland einer der Hauptverursacher von landwirtschaftlichen THG-Emissionen. Der schrittweise und konsequente Abbau der Tierbestände birgt entsprechend ein erhebliches Treibhausgasreduzierungspotenzial mit weiteren Synergieeffekten zum Schutz weiterer Umweltmedien (Boden, Luft, Wasser).

Auch der Ökolandbau leistet durch seinen Verzicht auf mineralische Düngemittel, deren Herstellung sehr energieintensiv ist, einen Beitrag zum Klimaschutz. Gleichzeitig wird durch den Anbau von Leguminosen und Zwischenfrüchten die Humusanreicherung gefördert und somit gleichzeitig mehr Kohlenstoff im Boden gespeichert. Die Umstellung auf den Ökolandbau bringt sowohl bezogen auf die Fläche als auch (wenn auch in geringerem Maße) auf die Produkteinheit Einsparungen bei den THG-Emissionen. Das in der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie verankerte Ziel von 20% Flächenanteil des Ökolandbaus an der gesamten Landwirtschaftsfläche (LF) geht daher in die richtige Richtung, muss aber mit einem konkreten Zeithorizont unterlegt werden.

Grundsätzlich müssen Instrumente zum Klimaschutz in der Landwirtschaft die Multifunktionalität vieler Maßnahmen beachten. Viele Maßnahmen, die mit Blick auf nur ein Umweltziel unwirtschaftlich erscheinen, sind aus volkswirtschaftlicher Sicht sehr vorteilhaft. Deshalb bedürfen Klimaschutzmaßnahmen flankierender Instrumente um effektiv und effizient zu wirken. Dabei ist zu beachten, dass in der Agrarpolitik bislang nicht nur dem Klimaschutz, sondern auch anderen Umweltproblemen zu wenig Rechnung getragen wurde. Verbesserungen sind vor allem dann möglich, wenn neue Politikansätze sachgerecht auf dem bestehenden Instrumentarium aufbauen und auf dieses abgestimmt sind.

## *Handlungsfeldübergreifende Maßnahmen*

Neben sektoralen Maßnahmen sind auch übergreifende Maßnahmen erforderlich, die sicherstellen, dass über die verschiedenen Sektoren hinweg verzerrungsarm vor allem die volkswirtschaftlich kostengünstigen Maßnahmen gewählt werden. Ökonomische Instrumente, insbesondere die Energiebesteuerung, klimaschädliche Subventionen und der Emissionshandel prägen die ökonomischen Rahmenbedingungen für den Such- und Findungsprozess für technische und soziale Innovationen, für Investitionen in die erforderliche Infrastruktur, und ebenso für Standortentscheidungen der Wirtschaft sowie für Pfadentscheidungen mit Blick auf den individuellen Energiekonsum. Eine langfristig orientierte Politik vermeidet Strukturbrüche, um gesellschaftliche Kosten zu begrenzen. Stabile Rahmenbedingungen werden auch durch klare gesetzliche Regelungen, insbesondere gesetzlich verankerte Klimaschutzziele geschaffen. Sie unterstützen auch die Bereitschaft von Investoren, Kapitalverwaltern und auch Bürgern in den Klimaschutz zu investieren sowie die Bereitschaft der Bürger sich für den Klimaschutz im öffentlichen und privaten Raum zu engagieren. Die Einbettung der nationalen Politik in die europäische Klimaschutzpolitik (insbesondere den Emissionshandel) erfordert eine angepasste Ausgestaltung, eröffnet aber auch zusätzliche Spielräume für nationale Maßnahmen.

Die gegenwärtige Gestaltung der ökonomischen Instrumente, die Transparenz von Klimarisiken bei Kapitalgesellschaften, die gegenwärtige rechtliche Verankerung von Klimaschutzzielen und die aktuellen Rahmenbedingungen bürgerschaftlichen Engagements erfüllen ihre Potentiale für den Klimaschutz noch nicht.

---

ii Umweltbundesamt (2014): *Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050*.  
<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/treibhausgasneutrales-deutschland-im-jahr-2050-0>

iii Umweltbundesamt (2013): *Globale Landflächen und Biomasse nachhaltig und ressourcenschonend nutzen*. Dessau-Roßlau.

iv Umweltbundesamt (2014): *Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050*.  
<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/treibhausgasneutrales-deutschland-im-jahr-2050-0>



**POSITION // APRIL 2016**

# **Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung Diskussionsbeitrag des Umweltbundesamtes**

Für Mensch & Umwelt

**Umwelt   
Bundesamt**

# Impressum

## Herausgeber:

Umweltbundesamt  
Fachgebiet I 2.2  
Postfach 14 06  
06813 Dessau-Roßlau  
Tel: +49 340-2103-0  
info@umweltbundesamt.de  
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

## Autoren:

Reinhard Albert, Michael Angrick, Michael Bade, Frederike Balzer, Andreas Bertram, Björn Bünger, Andreas Burger, Lili-an Busse, Birgit Brahner, Regine Dickow-Hahn, Knut Ehlers, Eric Fee, Traute Fiedler, Claudia Gibis, Dirk Günther, Benno Hain, Tim Hermann, Fabian Jäger, Almut Jering, Thomas Klaus, Guido Knoche, Yvonne Koch, Lea Köder, Kora Kristof, Martin Lambrecht, Jürgen Landgrebe, Martin Lange, Harry Lehmann, Ullrich Lorenz, Benjamin Lünenbürger, Jeannette Mathews, Astrid Matthey, Lars Mönch, Volker Mohaupt, Christoph Mordziol, Klaus Müschen, Richard Natho, Kirsten op de Hipt, Monika Ollig, Gertrude Penn-Bressel, David Pfeiffer, Sebastian Plickert, Christopher Proske, Katja Purr, Almut Reichart, Anne-Sophie Reinhardt, Tobias Schmeja, Martin Schmied, Jens Schuberth, Oliver Seel, Jan Seven, Michael Strogies, Herwig Unnerstall, Sylvia Veenhoff, Andreas Vetter, Carla Vollmer, Gabriele Wechsung, Volker Weiss, Jan Weiß, Max Werlein, Marion Wichmann-Fiebig

## Redaktion:

Fachgebiet I 2.2 Energiestrategien und -szenarien  
Tobias Schmeja, Katja Purr, Oliver Seel, Kirsten op de Hipt

## Publikationen als pdf:

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/klimaschutzplan-2050-der-bundesregierung>

## Bildquellen:

kalafoto | fotolia.com

Stand: April 2016

ISSN 2363-829X

## Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>2</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>4</b>
<b>1 Zusammenfassung</b> .....	<b>5</b>
<b>2 Einleitung</b> .....	<b>7</b>
<b>3 Übergeordnete Trends &amp; Rahmenbedingungen der Transformation</b> .....	<b>8</b>
<b>4 Maßnahmenempfehlungen des UBA für den Klimaschutzplan 2050</b> .....	<b>12</b>
<b>4.1 Handlungsfeld Energiewirtschaft</b> .....	<b>15</b>
Ausstieg aus der fossilen Stromerzeugung .....	18
Sektorkopplung - stärkere Verzahnung des Strom-, Brennstoff-, Kraftstoff- und Rohstoffmarktes .....	19
Erhöhung der Ausbauziele der erneuerbaren Energien für die Stromerzeugung .....	20
Ausbau von effizienten Energienetzen .....	21
Weiterentwicklung der Energiemärkte .....	22
Stromverbrauchsminderung in den Haushalten.....	23
<b>4.2 Handlungsfeld Industrie und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen</b> .....	<b>24</b>
Energieeffizienz in Querschnittstechniken .....	27
Umstellung auf treibhausgasneutrale Energieträger und Rohstoffe.....	28
Umstellung von Prozesstechniken.....	29
Flexibilisierung der Stromnachfrage.....	30
Ausbau der Nutzung industrieller Abwärme .....	31
Effiziente Nutzung von kohlenstoffhaltigen Reststoffen .....	32
<b>4.3 Handlungsfeld Gebäude</b> .....	<b>33</b>
Energetische Sanierung von Stadtquartieren .....	35
Langfristige Planung der energetischen Sanierung im Gebäudebereich .....	36
Anpassung der finanziellen Förderung im Gebäudebereich .....	37
Anpassung des Ordnungsrechts .....	38
Regionale Beratungsnetzwerke für die Gebäudesanierung.....	39
<b>4.4 Handlungsfeld Verkehr</b> .....	<b>40</b>
Verkehrsvermeidung.....	43
Verkehrsverlagerung.....	44
Verbesserung der technischen Effizienz der Verkehrsträger .....	45
Umstellung auf alternative Antriebe (insbesondere Elektromobilität).....	46
Umstellung auf eine treibhausgasneutrale Energieversorgung des Verkehrs .....	47
<b>4.5 Handlungsfeld Landnutzung, Land- und Forstwirtschaft</b> .....	<b>48</b>

Steigerung der N-Effizienz und Reduzierung von N-Überschüssen .....	51
Erhalt der Vorräte an organischer Bodensubstanz .....	52
Reduzierung der Tierbestände .....	53
Weitere Maßnahmen in der Landwirtschaft .....	54
<b>4.6 Handlungsfeldübergreifende Maßnahmen.....</b>	<b>55</b>
Weiterentwicklung Emissionshandel .....	57
Weiterentwicklung Energiebesteuerung .....	59
Abbau klimaschädlicher Subventionen.....	60
Finanzierungshemmnisse bei klimafreundlichen Investitionen abbauen .....	61
Zusammenfassendes Klimagesetz .....	62
Bürgerschaftliches Engagement.....	63
<b>Quellen .....</b>	<b>64</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland in der Abgrenzung der Sektoren des Aktionsprogrammes Klimaschutz 2020 .....	13
Abbildung 2:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen der Energiewirtschaft in der Abgrenzung der Sektoren des Aktionsprogrammes Klimaschutz 2020 .....	16
Abbildung 3:	Visualisierung der Schlüsselmaßnahmen und Umsetzungsschritte im Handlungsfeld Energiewirtschaft .....	17
Abbildung 4:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen der Sektoren Industrie und GHD in der Abgrenzung der Sektoren des Aktionsprogrammes Klimaschutz 2020 (ohne den Teil der Emissionen aus Industrie und GHD, die gemäß der Leitfäden für die Emissionsberichterstattung als „energiebedingt“ berichtet werden) .....	24
Abbildung 5:	Visualisierung der Schlüsselmaßnahmen und Umsetzungsschritte im Handlungsfeld Industrie und GHD .....	26
Abbildung 6:	Visualisierung der Schlüsselmaßnahmen und Umsetzungsschritte im Handlungsfeld Gebäude.....	34
Abbildung 7:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor in der Abgrenzung der Sektoren des Aktionsprogrammes Klimaschutz 2020 sowie aus dem internationalen Flug- und Seeverkehr von Deutschland ins Ausland.....	40
Abbildung 8:	Visualisierung der Schlüsselmaßnahmen und Umsetzungsschritte im Handlungsfeld Verkehr .....	42
Abbildung 9:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen in der Landwirtschaft in der Abgrenzung der Sektoren des Aktionsprogrammes Klimaschutz 2020 .....	48
Abbildung 10	Visualisierung der Schlüsselmaßnahmen und Umsetzungsschritte im Handlungsfeld Landnutzung, Land- und Forstwirtschaft .....	50
Abbildung 11:	Visualisierung der Schlüsselmaßnahmen und Umsetzungsschritte der handlungsfeldübergreifenden Maßnahmen .....	56

## 1 Zusammenfassung

Ziel dieses Papiers ist es, konkrete Vorschläge und aus Sicht des Umweltbundesamtes notwendige Schritte für eine **nachhaltige und ambitionierte Ausgestaltung** in den Prozess zur Erstellung des Klimaschutzplanes 2050 der Bundesregierung einzuspeisen. Der Fokus liegt auf der Darstellung strategischer Maßnahmen und Instrumente für den Zeitraum 2020 bis 2030, die somit unmittelbar an das Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 der Bundesregierung anschließen. Maßstab ist dabei der obere Rand des nationalen und europäischen Zielkorridors: eine **Minderung der Treibhausgasemissionen bis 2050 um 95 %**.

Deutschland als eines der weltweit wichtigsten Industrieländer muss im Rahmen der globalen Herausforderungen zum Klimaschutz eine besondere Rolle spielen und Verantwortung übernehmen. Der notwendige Wandel hin zu einer treibhausgasneutralen und klimaresilienten Gesellschaft betrifft viele Teilbereiche, die sich gegenseitig beeinflussen. Die Transformation ist daher durch die Kombination und das Wechselspiel von Innovationen, Akteuren und politischen Instrumenten gekennzeichnet und unterliegt sich **wandelnden Rahmenbedingungen**. Das UBA erachtet es für elementar, dass der Klimaschutzplan – nachhaltig ausgestaltet und unter Beachtung des ambitionierten Langfristziels – fortlaufend an diese sich wandelnden Rahmenbedingungen angepasst wird. Das Umweltbundesamt hält es für notwendig, dass die Bundesregierung ein **ambitioniertes Ziel – die Treibhausgasuminderung um 95 % gegenüber 1990 – verbindlich festlegt**. Damit soll allen gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Akteuren langfristig Planungs- und Entscheidungssicherheit für diesen tiefgreifenden Wandel hin zu einer klimaneutralen Volkswirtschaft<sup>1</sup> eingeräumt werden. Dabei werden auch andere wichtige Politikziele (wie z. B. die Ressourcenschonung) mit gefördert. Elementar für einen erfolgreichen, umsetzungsorientierten Prozess sind die **Beteiligung und Akzeptanz** der gesellschaftlichen Akteure, die kontinuierliche Erfolgskontrolle<sup>i</sup> der Umsetzung und Zielerreichung und eine darauf aufbauende **Nachsteuerung des Policy Mix sowie die kontinuierliche Strategiefortschreibung**.

Die Entwicklung der THG-Emissionen der letzten Jahre erfordert – auch kurzfristig, zur Wahrung des 40 %-Ziels bis 2020 – eine deutliche Nachsteuerung auf der Maßnahmenebene und damit eine **erhebliche Intensivierung der nationalen aber auch europäischen Klimaschutzbemühungen** sowie entschiedenes Handeln **in allen Sektoren**.

Die höchsten Minderungsbeiträge müssen der Energiesektor, die Industrie und der Verkehr leisten. Damit der notwendige **überproportionale Beitrag zur Treibhausgasuminderung in der Energiewirtschaft** geleistet werden kann, ist die Erschließung der Effizienzpotentiale, ein verstärkter Ausbau der erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung und ein Ausstieg aus der fossilen Stromerzeugung sowie die regenerative **Versorgung mit strombasierten Energieträgern und Rohstoffen für alle Anwendungsbereiche** notwendig. Zentrale Bausteine einer vollständig regenerativen Energieversorgung sind sämtliche Power to X-Techniken<sup>ii</sup> (PtX) über alle Anwendungsbereiche hinweg. Die energetische Nutzung von Anbaubiomasse, Atomenergie und CCS sind aus Sicht des Umweltbundesamtes *keine* Bausteine in einem nachhaltigen Energiesystem.

---

<sup>i</sup> Hierzu könnte auf bestehende Berichte aufgebaut werden.

<sup>ii</sup> Umfasst sämtliche Techniken, die durch direkte oder indirekte Verwendung von regenerativem Strom eine treibhausgasneutrale Versorgung aller Anwendungsbereiche bzw. die vollständige Substitution fossilen Energieträger und Rohstoffe ermöglichen. Sie umfassen die direkte Verwendung von Strom in neuen Anwendungen sowie die mit einer oder mehreren zusätzlichen Umwandlungsstufen verbundenen technischen Optionen Power-to-Heat (PtH), Elektromobilität, Power-to-Gas (PtG) und Power-to-Liquid (PtL). So erfolgt langfristig die Verknüpfung aller Energiemärkte (Strom, Brenn-, Kraft- und Rohstoffe).

Nach der Energiewirtschaft verursacht die **Industrie** die meisten Emissionen (vgl. Abbildung 1). Schlüsselmaßnahmen stellen aus Sicht des UBA die Steigerung der Energieeffizienz in Querschnittstechniken, die Umstellung auf treibhausgasneutrale Energieträger und Rohstoffe, die Umstellung von Prozesstechniken, die Flexibilisierung der Stromnachfrage, die verstärkte Nutzung industrieller Abwärme sowie die effiziente Nutzung von kohlenstoffhaltigen Reststoffen dar.

Die energetische Sanierung von Stadtquartieren, die langfristige Planung der energetischen Sanierung im Gebäudebereich, die Anpassung der finanziellen Förderung im Gebäudebereich sowie die Anpassung des Ordnungsrechts sind Schlüsselmaßnahmen und -instrumente für die THG-Minderung im Handlungsfeld **Gebäude**.

Die vom **Verkehr verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen** sind in Deutschland seit 1990 **nicht gesunken**. Der Anstieg des Verkehrsaufwands kompensierte die Erfolge fahrzeugspezifischer Verbesserungen der Energieeffizienz und damit Emissionsminderungen vollständig. Der Flugverkehr und der Güterverkehr verzeichnen dauerhaft hohe Wachstumsraten. Erst die Kombination von Maßnahmen zur Verkehrsvermeidung und -verlagerung mit Effizienzsteigerungen sowie die Umstellung auf alternative Antriebe und treibhausgasneutrale Energieträger ermöglichen das Erreichen anspruchsvoller Klimaschutzziele im Verkehr. Eine Verkehrswende muss daher mit einer Energiewende im Verkehr Hand in Hand gehen.

Die Dekarbonisierung von Wirtschaft und Gesellschaft erfordert über die sektorale Betrachtung hinaus auch **querschnittsorientierte Denkweisen, Maßnahmen und politische Instrumente**. Eine langfristig orientierte Politik vermeidet Strukturbrüche, um gesellschaftliche Kosten zu begrenzen. Die Einbettung der nationalen Politik in die europäische Klimaschutzpolitik - insbesondere den Emissionshandel - erfordert eine angepasste Ausgestaltung, eröffnet aber auch zusätzliche Spielräume für nationale Maßnahmen und Instrumente. Ökonomische Instrumente wie die Energiebesteuerung, der Abbau klimaschädlicher Subventionen und der Emissionshandel können und sollen wesentliche klimapolitische Instrumente zur Dekarbonisierung sein und müssen entschieden weiterentwickelt werden, da sie die ökonomischen Rahmenbedingungen aller Akteure mit prägen.

Notwendig sind Such- und Findungsprozesse für Klimaschutzmaßnahmen im Bereich technischer und sozialer Innovationen, für Investitionen in die erforderlichen Infrastrukturen, für Standortentscheidungen der Wirtschaft sowie für Pfadentscheidungen mit Blick auf die individuelle Energienutzung. Für die konkrete Umsetzung des Klimaschutzes war und ist auch das bürgerschaftliche Engagement essentiell.

Die bisher beschlossenen und eingeleiteten Maßnahmen und Instrumente werden voraussichtlich nicht genügen, um das deutsche 40 %-THG-Minderungszieles bis 2020 zu erreichen. Um dieses Zwischenziel, insbesondere aber ein ambitioniertes Langfristziel zu erreichen, müssen anspruchsvollere klimapolitische Entscheidungen getroffen und erfolgreich umgesetzt werden. Die in diesem Positionspapier beschriebenen Schlüsselmaßnahmen und -instrumente können einen wesentlichen Beitrag dazu leisten.

## 2 Einleitung

Ausgangspunkt ist die Festlegung in der *Koalitionsvereinbarung der 18. Legislaturperiode* einen nationalen Klimaschutzplan 2050 zu erarbeiten, der vor der Sommerpause 2016 im Bundeskabinett verabschiedet werden soll.

Ziel dieses Positionspapier ist es, aus dem derzeitigen Kenntnisstand des Umweltbundesamts strategische Maßnahmen für den Zeitraum 2020 bis 2030 mit Blick auf ambitionierte Klimaziele, also eine 95 %-THG-Minderung bis 2050<sup>iii,iv</sup> darzustellen und den Diskussionsprozess zum Klimaschutzplan zu bereichern.

„Der Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung soll für den Transformationsprozess zum Erreichen der nationalen Klimaziele bis 2050 inhaltliche Orientierung geben und diesen Prozess als *zentrales Handlungsinstrument* gestalten.“ Der Klimaschutzplan ist „der Fahrplan in Richtung einer klimaneutralen Volkswirtschaft. Er soll in regelmäßigen Abständen angepasst und fortgeschrieben werden, um auf gesellschaftliche, politische, soziale und ökonomische Anforderungen bzw. auf Veränderungen der Rahmenbedingungen außerhalb Deutschlands und der EU angemessen zu reagieren.“<sup>2</sup>

„Leitbild und Maßstab für Klimaschutzpolitik ist die *international vereinbarte ‚Zwei-Grad-Obergrenze‘* für die globale Erwärmung gegenüber vorindustriellen Werten. [...] Sie erfordert schnelles und entschiedenes Handeln und den *vollständigen Umstieg auf Wirtschaften ohne Treibhausgasemissionen* weltweit bis spätestens zum Ende dieses Jahrhunderts.“<sup>3</sup> Die Zwei-Grad-Obergrenze ist der Maßstab für die Klimaziele der Europäischen Union und Deutschlands, die Treibhausgasemissionen *bis 2050 um 80-95 %* gegenüber 1990 zu reduzieren. Damit verbunden ist ein tiefgreifender Wandel, der alle Lebensbereiche betrifft.

Die Beschlüsse der Pariser Klimakonferenz Ende 2015 haben ein eindeutiges Signal an die Gesellschaft und die globale Wirtschaft gesendet: Die Zukunft muss kohlenstoffarm und klimaresilient sein. Dies bedeutet, dass die 2 Grad Obergrenze klar eingehalten werden muss und möglichst 1,5°C erreicht werden. Das UBA sieht es für Deutschland daher auch im Spiegel der internationalen Klimaschutzdebatte als erforderlich an, dass die Bundesregierung in ihren Maßnahmenplänen die obere Grenze des Zielkorridors für 2050 von 80-95 % festlegt. Dies würde international nicht nur ein wichtiges Signal eines reichen Industriestaates an die vom Klimawandel besonders betroffenen armen Länder sein, sondern auch einen verbindlichen Rahmen setzen für alle in den kommenden Jahren festzulegenden und umzusetzenden Pläne, Programme und Maßnahmen über alle Ressorts hinweg.

Die nachfolgend dargestellten Schlüsselmaßnahmen sind in die Handlungsfelder Energiewirtschaft, Industrie/GHD, Gebäude, Verkehr, Landwirtschaft und Landnutzung unterteilt, so dass eine hohe Anschlussfähigkeit zum Klimaschutzplan gewährleistet ist. Die Maßnahmen sehen die Bundesregierung als handelnden Akteur und visieren im Wesentlichen den Zeitraum 2020 bis 2030. Wir gehen jedoch davon aus, dass bereits das THG-Minderungsziel für 2020 in Höhe von 40 % auch mit den beschlossenen Zusatzmaßnahmen des Aktionsprogramms Klimaschutz 2020 der Bundesregierung nur sehr schwierig erreicht wird. Die hier dargestellten Schlüsselmaßnahmen sollten daher entsprechend ambitionierter ausgestaltet werden, um dieses Zwischenziel, aber insbesondere ein ambitioniertes Langfristziel realisieren zu können.

---

<sup>iii</sup> Dies möchte UBA explizit berücksichtigen im Sinne eines Prozess-konformen Beitrags.

<sup>iv</sup> Der Klimaschutzplan der Bundesregierung wird neben strategischen Maßnahmen für die Zielerreichung bis 2050 insbesondere Maßnahmen im Zeitraum nach 2020 – Anschluss ans Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 – bis 2030 adressieren.

### 3 Übergeordnete Trends & Rahmenbedingungen der Transformation

Der Weltklimarat IPCC warnt in seinem 5. Sachstandsbericht erneut eindringlich vor den Folgen eines ungebremsten globalen **Klimawandels**. Ohne einen raschen, ambitionierten und nachhaltigen Klimaschutz wäre ein globaler Temperaturanstieg um durchschnittlich 4 Grad Celsius oder mehr in diesem Jahrhundert wahrscheinlich. Bisher ist bereits ein weltweiter Temperaturanstieg von durchschnittlich 0,85 Grad Celsius gegenüber der Zeit vor der Industrialisierung zu verzeichnen, welcher vielfältige Folgen für natürliche und gesellschaftliche Systeme – auch in Deutschland - hat.<sup>4</sup> Klimaschutz und Klimaanpassung sind daher als zwei sich ergänzende Strategien zu verfolgen. In den letzten Jahren sind die globalen Treibhausgasemissionen trotz aller Bemühungen zum Klimaschutz sogar noch stärker als zuvor gestiegen. Im Zeitraum 2000 bis 2010 lag der Anstieg anthropogen verursachten Treibhausgase bei 2,2 % pro Jahr, während die Emissionen in den drei Jahrzehnten davor im Durchschnitt nur um 1,3 % jährlich gestiegen waren.<sup>5</sup>

Deutschland hat als eines der weltweit wichtigsten Industrieländer eine besondere Verantwortung im Klimaschutz. Zum einen liegen die Pro-Kopf-Emissionen in den Industrieländern immer noch etwa fünfmal höher als diejenigen der ärmsten Länder der Welt. Zum anderen haben in Fragen des Klimaschutzes ambitioniertere Industrieländer eine gewisse Vorbildfunktion, insbesondere für Länder mit mittleren Einkommen. Deren Pro-Kopf-Emissionen sind in den letzten Jahren besonders stark gestiegen. Sie folgen bei ihrer wirtschaftlichen Entwicklung dem Wohlstandsparadigma der Industrieländer.<sup>6</sup>

Um die international vereinbarte „Zwei-Grad-Obergrenze“ und Anstrengungen für eine Beschränkung auf 1,5° C für die globale Erwärmung gegenüber vorindustriellen Werten zu erreichen, und auch zur Anpassung an die unvermeidbaren Folgen des Klimawandels, ist ein tiefgreifender Wandel hin zu einer Wirtschafts- und Lebensweise erforderlich, die weitgehend ohne Treibhausgasemissionen auskommt. Dieser Wandel betrifft gleichzeitig viele Teilsysteme unserer Gesellschaft (Energieerzeugung, Verkehr, Gebäude, Landwirtschaft, Industrie, etc.). Da sie sich gegenseitig beeinflussen, wird von **Transformation** gesprochen.<sup>7</sup> Für eine Transformation hin zu einer treibhausgasneutralen und klimaresilienten Gesellschaft lässt sich kein einzelner auslösender Faktor identifizieren. Es sind nicht einzelne technische oder soziale Innovationen, einzelne Akteure oder einzelne politische Instrumente, die die Transformation ausmachen, sondern deren Kombination und Wechselwirkung. Im Folgenden werden die äußeren Rahmenbedingungen skizziert, die die Wirtschafts- und Lebensweise maßgeblich beeinflussen und die ebenfalls im Rahmen von Klimaschutzinstrumenten adressiert werden sollten:

**Bevölkerungsentwicklung:** Die Entwicklung der Bevölkerung hat grundsätzlich einen maßgeblichen Einfluss auf den Klimaschutz z. B. auf die Menge genutzter Kraft- und Brennstoffe für Transport- und Heizzwecke. Die Bevölkerung in Deutschland wird bis zum Jahr 2050 von rund 80 Mio. auf ca. 76 Mio. leicht sinken und wird deshalb keinen Mehrverbrauch an Energie erzeugen.<sup>8</sup> Global betrachtet wird die Bevölkerungsanzahl jedoch von 7,3 Mrd. in 2015 auf 9,7 Mrd. bis 2050<sup>9</sup> deutlich steigen. Dadurch kann perspektivisch von einem Anstieg des weltweiten Energieverbrauchs ausgegangen werden. Auch die Bevölkerungsstruktur ändert sich. In Deutschland werden bis zum Jahr 2050 30,4 % der Bevölkerung 65 Jahre und älter sein – gegenüber 20,9 % im Jahr 2013. Auch der Anteil an Migranten wird steigen, allerdings sind angesichts aktueller Entwicklungen diese Zahlen mit Vorsicht zu nutzen.<sup>10</sup> Je nach Bevölkerungsstruktur ergeben sich unterschiedliche Bedürfnisstrukturen und spezifische Anforderungen bei der Implementierung von Klimaschutzmaßnahmen.

**Entwicklung der Haushalte:** Aus Klimaschutzsicht ist der Energieverbrauch privater Haushalte von großem Interesse. Im Zeitraum von 1990 bis 2013 stieg der Energieverbrauch in den Haushalten – ohne Kraftstoffverbrauch, da dieser dem Sektor Verkehr zugeordnet ist – um 9,2 %. Trotz verschiede-

ner Maßnahmen zur energetischen Gebäudesanierung, zum Stromsparen oder zum Ökodesign begünstigten vor allem die Trends zu mehr und kleineren Haushalten bei größeren Wohnflächen den höheren Verbrauch.<sup>11</sup> Nach Prognosen des BBSR<sup>12</sup> soll bis 2030 trotz sinkender Bevölkerungszahl die Anzahl der Haushalte<sup>13</sup> um knapp 1,3 % höher liegen als 2015 und die aufsummierte Wohnflächen-nachfrage aller Haushalte um rund 7 % steigen.

**Lebensstile:** Verschiedene Lebensstile verursachen THG-Emissionen in unterschiedlicher Höhe. Zentrale Stellschrauben sind die Wohnfläche und der Dämmstandard in Bezug auf den Heizenergieverbrauch, die Zahl der Fernreisen, die zurückgelegten Autokilometer und der Treibstoffverbrauch des Autos bei der Mobilität sowie eine stark tierbasierte Ernährung. Dabei steigt in der Regel der CO<sub>2</sub>-Ausstoß mit dem Einkommen. Allerdings ist festzustellen, dass es – bei gleichen rechtlich-politischen Rahmenbedingungen – eine hohe Varianz nicht nur zwischen einzelnen Lebensstilgruppen<sup>14</sup>, sondern auch innerhalb von homogenen Lebensstilgruppen gibt.<sup>15</sup> Darüber hinaus haben Individuen nicht nur Einfluss auf den eigenen CO<sub>2</sub>-Ausstoß. Als Ideengeber, Investor, Vermieter, Mitarbeiter oder Kompensierer stoßen Lebensstilpioniere erhebliche „CO<sub>2</sub>-Einsparungen bei anderen“ an, die über den eigenen, zurechenbaren CO<sub>2</sub>-Ausstoß hinausgehen können.

**Siedlungs- und Verkehrsflächen:** Die Ausweitung der Siedlungs- und Verkehrsflächen ist ein wichtiger Treiber für den anhaltend hohen Energieverbrauch in Deutschland. Denn zum einen weisen die eingesetzten Baumaterialien für neue Gebäude, Erschließungsstraßen und Leitungsinfrastrukturen beträchtliche Energierucksäcke auf. Zum anderen müssen neue Gebäude und Infrastrukturen auch betrieben, d.h. beleuchtet, beheizt, gekühlt oder für andere Zwecke mit Energie versorgt werden. Mehr Siedlungsfläche bedeutet darüber hinaus weitere Wege, mehr Verkehr und damit auch einen höheren Kraftstoffbedarf. Für das Jahr 2020 sieht die nationale Nachhaltigkeitsstrategie vor, die Flächenneuanspruchnahme für Siedlungen und Verkehr in Deutschland auf 30 Hektar pro Tag zu reduzieren<sup>16</sup>. Die EU-Kommission strebt in ihrer Roadmap zu einem ressourceneffizienten Europa für das Jahr 2050 an, dass in der Gesamtbilanz die Siedlungs- und Verkehrsfläche in Europa nicht mehr wächst (no netto landtake). Bis zum Jahr 2020 sollen die Weichen gestellt werden, um dieses Ziel zu erreichen<sup>17</sup>.

**Wirtschaftliche Entwicklung:** Bislang bestand ein kausaler Zusammenhang zwischen wirtschaftlicher Entwicklung in Form einer Steigerung des Bruttoinlandsprodukts und dem Ausstoß von Treibhausgasen. In Deutschland hat in den letzten Jahren eine absolute Entkopplung dieser beiden Faktoren stattgefunden: Von 2004 bis 2014 wuchs das BIP um 13 %, während die CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionen um rund 11 % fielen. Dies ist auf verschiedene Faktoren zurückzuführen, insbesondere auf Einsparungen im Energieverbrauch durch eine Steigerung der Energieeffizienz sowie den Umstieg auf erneuerbare Energieträger.<sup>18</sup> Aus der zurückliegenden Entwicklung lässt sich jedoch nur bedingt ein Trend ableiten, da aktuell die Preise für fossile Energien sinken und dies die ökonomischen Anreize zur Senkung des Energieverbrauchs verringert. Zu berücksichtigen ist auch, dass ein Teil von Effizienzsteigerungen durch sog. „Rebound-Effekte“ wieder zunichte gemacht wird.<sup>19</sup> Eine dauerhafte absolute Entkopplung von Wirtschaftswachstum und dem Ausstoß von Treibhausgasen ist daher auf weitere Anstrengungen zur Förderung emissionsarmer Lebensstile und Wirtschaftsweisen angewiesen.

**Wirtschafts- und Produktionsweise:** Die heutige Wirtschaftsweise – auch in Deutschland – gefährdet und zerstört die natürlichen Lebensgrundlagen kommender Generationen. Die Gewinnung und Nutzung fossiler Brennstoffe, die großflächige Abholzung und Übernutzung von Wäldern und treibhausgasintensive Produktionsverfahren sind prägnante Beispiele für diesen Status-quo. Ein „Weiter so“, bei dem die Industrieländer ihre treibhausgasintensive Wirtschaftsweise beibehalten und die Entwicklungs- und Schwellenländer diese Wirtschaftsweise übernehmen, stellt keinen gangbaren Weg dar. Je länger die umfassende Transformation verzögert wird, desto höher werden die wirtschaftlichen Risiken, Kosten und Belastungen. Strukturwandel und Modernisierung sind feste Größen des

wirtschaftlichen Handelns in Deutschland und Voraussetzung dafür, die internationale Wettbewerbsfähigkeit zu wahren. Eine Transformation zu einer klimaschonenden Wirtschaft bietet große wirtschaftliche Chancen durch Innovationen in einer Weltwirtschaft, die sich bis Mitte dieses Jahrhunderts auf Treibhausgasneutralität ausrichtet.

**Innovationen und ihre Diffusion:** Die Transformation erfordert vielfältige Innovationen: sowohl neue Formen der Kommunikation und Kooperation bei der sozialen Teilhabe (soziale Innovationen) als auch institutionelle, organisatorische und technische Innovationen, d. h. neuartige und verbesserte Produkte und Dienstleistungen. Die Förderung der unterschiedlichen Innovationen hat daher eine zentrale Bedeutung. Ein ambitionierter Klimaschutz wird grüne Märkte stärken und neue Technologien und neue Wachstumsmärkte schaffen. Er erfordert zum Beispiel verstärkt den Einsatz von Technologien zur Sektorkopplung wie Power to X (Heat, Gas, Liquids, etc.) oder Techniken zur Wärmerückgewinnung. Diese Techniken sind schon heute vorhanden, eine nennenswerte Diffusion hat aber noch nicht stattgefunden. Initiativen, z. B. Energiegenossenschaften und neue Crowdfundinglösungen zur Finanzierung klimafreundlicher Projekte, oder die Entwicklung neuer Wohnformen, stellen soziale Innovation dar. Mit dem Erfinden neuer Lösungen ist es nicht getan, diese müssen flächendeckende Verbreitung finden. Neben der Entwicklung sollten daher auch ihre Diffusion und ihre dauerhafte Etablierung gefördert werden.

**Preisbildung:** Preise spielen eine zentrale Rolle bei Entscheidungen von Unternehmen und Konsumenten. Wenn Unternehmen unter Konkurrenzdruck stehen, bevorzugen sie in der Regel die kostengünstigsten Lösungen und auch für Konsumenten spielen die Preise eine zentrale Rolle bei ihren Kaufentscheidungen. Solange die Preise für Vorleistungen und Produkte und die Kosten unterschiedlicher Produktionsweisen nicht die „ökologische Wahrheit“ widerspiegeln, d. h. auch die Schäden an Klima und Umwelt jeweils berücksichtigt sind, werden die wirtschaftlichen Entscheidungen zu Ungunsten klimafreundlicher Alternativen verzerrt. Damit sowohl Unternehmen wie auch Konsumenten sich für klimaschonende Produktionsweisen bzw. Kaufverhalten entscheiden können, ist es daher wichtig, dass die Klimaschäden in den Preisen berücksichtigt werden, d.h. internalisiert werden. Daneben ist es erforderlich, klimaschädliche Subventionen abzubauen.

**Der europäische Rahmen für nationale Klimaschutzpolitik:** Die deutsche Energie- und Klimapolitik ist durch den Emissionshandel (EU-ETS) und die Effort Sharing Decision (ESD) in einen verpflichtenden europäischen Rechtsrahmen eingebunden. Während die ESD jährliche nationale Emissionsbudgets für die Nicht-ETS Sektoren festlegt und die Wahl der Instrumente den Mitgliedstaaten überlassen bleibt, ist der EU-ETS ein gemeinschaftsweites Klimaschutzinstrument, das eine europaweite Gesamtmenge von verfügbaren Zertifikaten (EUA) festschreibt, die frei handelbar sind, ohne Emissionsbudgets der Mitgliedstaaten festzulegen. Nationale Maßnahmen, die die ETS-Sektoren adressieren, können somit theoretisch zu Verlagerungseffekten innerhalb des EU-ETS führen: Werden nicht benötigte EUA verkauft oder angespart, können sie an anderer Stelle oder zu einem späteren Zeitpunkt genutzt werden. Zwar dürfte ein Nachfrageausfall in den deutschen ETS-Sektoren angesichts der hohen Überschüsse und des nach wie vor niedrigen Zertifikatspreis kurzfristig nicht zu signifikanten Verlagerungen führen. Sobald Anfang bis Mitte der 2020er Jahre signifikante Teile der Überschüsse infolge von Backloading und Marktstabilitätsreserve (MSR) abgebaut sind (vgl. Kapitel 4.6), können zusätzliche nationale Maßnahmen aber zu einem Sinken des Zertifikatspreises und somit zu einer Schwächung der Anreizwirkung des EU-ETS führen. Die MSR wird diese Problematik zwar entschärfen, kann aber Verlagerungseffekte nicht vollständig verhindern. Daher sollten Wege gefunden werden, beabsichtigte Klimaschutzmaßnahmen entsprechend ihrer zusätzlichen Minderung zu kompensieren, um die Anreizwirkung des EU-ETS nicht negativ zu beeinflussen (vgl. Abschnitte 4.1 und 4.6). Aber auch in den Sektoren außerhalb des EU-ETS können nationale Klimaschutzmaßnahmen potentiell mit einer Verlagerung von Emissionen einhergehen: Liegen die deutschen Nicht-ETS-Emissionen unterhalb des jährlichen ESD-Budgets, könnte Deutschland auf die in

der ESD vorgesehenen Flexibilitäten (Banking/Borrowing, Handel mit anderen Mitgliedstaaten) zurückgreifen. Um die Wirksamkeit nationaler Maßnahmen in diesen Sektoren in Hinblick auf die europäischen THG-Emissionen zu sichern, sollte die Bundesregierung den staatlichen Verkauf von überschüssigen Emissionsberechtigungen (AEAs) ausschließen. Zusammenfassend sollte die deutsche Klimaschutzpolitik darauf ausgerichtet sein, auf europäischer Ebene zu einer Steigerung des Ambitionsniveaus beizutragen und das für 2030 vereinbarte Mindestminderungsziel tatsächlich auf einen Wert größer 40 % auszuweiten. Deutschland sollte darauf hinwirken, dass auch andere EU-Staaten in Richtung einer Treibhausgasneutralität bis 2050 gehen. Weitere Rahmenbedingungen werden durch EU-Richtlinien zur Energieeffizienz, zu Erneuerbaren Energien, zur Energiebesteuerung, zum Energiemarkt, zum Design von Energieverbrauchenden Produkten u. a. gesetzt.

## 4 Maßnahmenempfehlungen des UBA für den Klimaschutzplan 2050

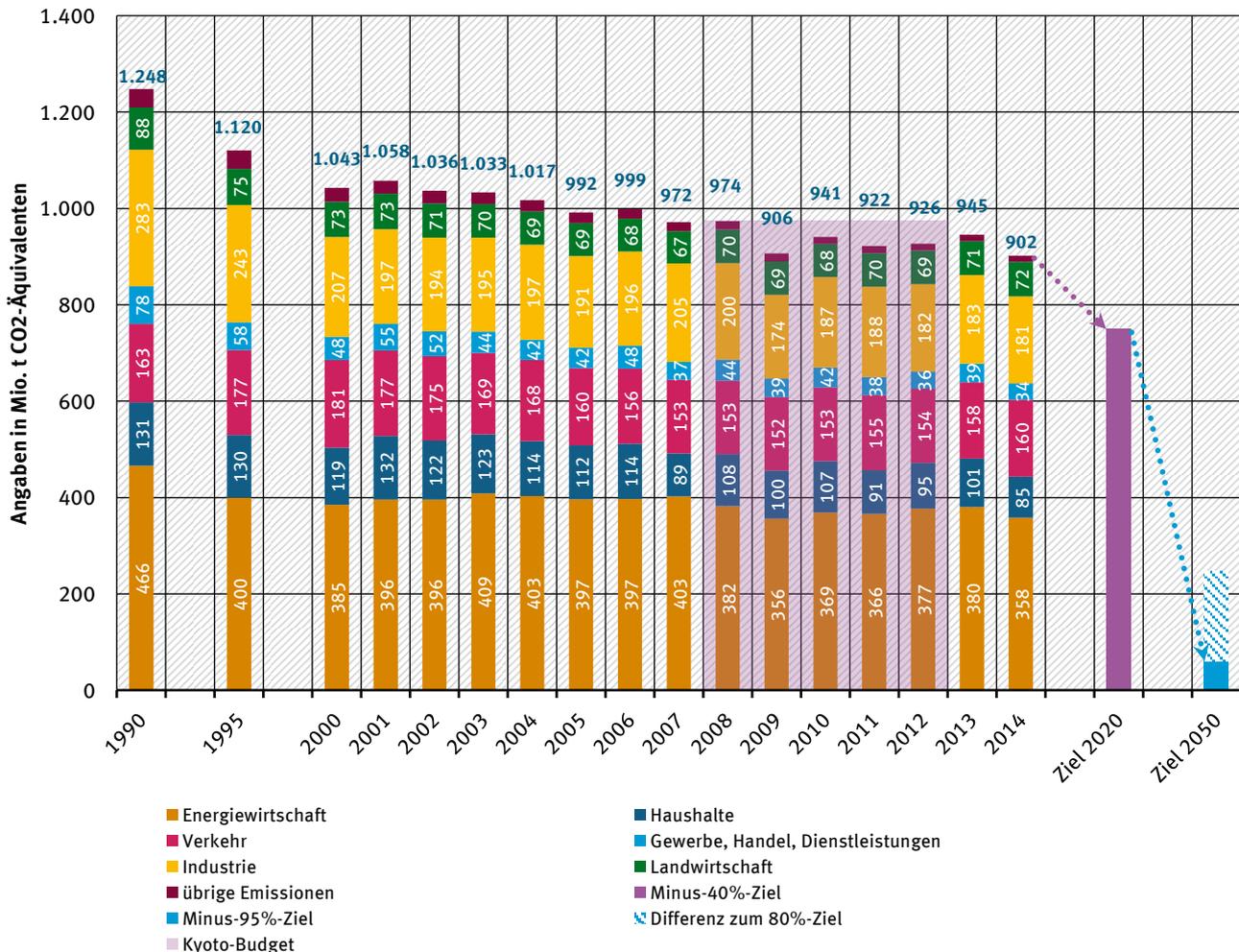
Nachfolgend sind zentrale, strategische Maßnahmen für den Diskussionsprozess zum Klimaschutzplan aus Sicht des Umweltbundesamtes dargestellt. Aufgrund ihrer Schlüsselfunktion für das Erreichen eines ambitionierten Zieles werden diese nachfolgend als Schlüsselmaßnahmen bezeichnet. Gleichwohl stellen sie keine abgeschlossene Auflistung dar und sind durch eine Vielzahl flankierender Maßnahmen zu ergänzen.

Deutschland konnte im Zeitraum von 1990 bis 2013 seine Treibhausgasemissionen mit 24,0 % deutlich reduzieren. Die Zusagen aus der ersten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls – eine Reduktion der Treibhausgasemissionen um durchschnittlich 21 % im Zeitraum 2008-2012 gegenüber 1990 – sind somit übererfüllt. Die Emissionen im Folgejahr 2013 sind gegenüber dem Vorjahr 2012 um 2 % gestiegen. Vor allem die kalte Winter-Witterung führte zu mehr Kohlendioxid-Emissionen aus Haushalten sowie Gewerbe, Handel und Dienstleistungen. Nach den Daten des Umweltbundesamtes sind die Emissionen in 2014 dagegen wieder um 4,6 % bzw. rund 43 Mio. t gegenüber dem Vorjahr gefallen. Gegenüber 1990 bedeutet dies einen Rückgang um 27,7 %. Neben witterungsbedingten Einflüssen (warmer Winter) können hier auch reduzierte Emissionen in der Elektrizitätswirtschaft als Ursachen genannt werden.

In Bezug auf die einzelnen Treibhausgase dominiert die Freisetzung von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) – weit überwiegend verursacht durch die Prozesse der stationären und mobilen Verbrennung – das Gesamtbild der aggregierten Treibhausgasemissionen. Durch den überdurchschnittlichen Rückgang der anderen Treibhausgase ist der Anteil der CO<sub>2</sub>-Emissionen an den Gesamttreibhausgasen seit 1990 um 4 Prozentpunkte gestiegen. Alle anderen Treibhausgase verursachen zusammen nur etwas über ein Zehntel der Gesamttreibhausgasemissionen.<sup>v</sup>

<sup>v</sup> Da das Ziel eine Senkung der Treibhausgase um 95% ist, müssen auch für diese Klimagase und andere kurzlebige oder technische Klimagase Maßnahmen zur Senkung eingeleitet werden.

Abbildung 1: Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland in der Abgrenzung der Sektoren des Aktionsprogrammes Klimaschutz 2020



Ausgehend von einem Treibhausgasausstoß in Höhe von 1.250 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr 1990 ist für ein ambitioniertes Langfristziel, also die Reduktion um 95 %, der Ausstoß auf rund 60 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. zu senken.<sup>20</sup> Eine derart ambitionierte, aber auch notwendige Minderung zieht einen erheblichen **Handlungsbedarf in allen Sektoren** nach sich und ist in eine tiefgreifende gesellschaftliche und ökonomische Transformation eingebettet.

Die bisher beschlossenen und eingeleiteten Maßnahmen werden voraussichtlich nicht ausreichen, um das deutsche 40 %-THG-Minderungsziel bis 2020 zu erfüllen. Daher muss auch für die Folgejahre und Jahrzehnte davon ausgegangen werden, dass alleine um dieses Defizit zu kompensieren, anspruchsvollere Maßnahmenentscheidungen getroffen werden müssten. Für den Zeitraum 2020 bis 2030 bedeutet dies, dass nicht eine Minderungsleistung von zusätzlichen 15 % gegenüber 1990 zu leisten wäre, sondern von etwa 20 %. Daher sollte im KSP 2050 bereits zu Anfang nicht nur das 95 %-Ziel bis 2050 festgelegt werden, sondern auch Minderungspfade und jährliche Korrekturverfahren auf der Basis der Umsetzungsberichte.

Die im Energiekonzept der Bundesregierung gesetzten Zwischenziele für Treibhausgasemissionsminderungen gegenüber 1990 von minus 40% bis 2020, minus 55% bis 2030 und minus 70% bis 2040 sind aus Sicht des UBA Minimalziele, die auf keinen Fall unterschritten werden sollten. Bereits eine 90 prozentige Minderung bis 2050 erfordert ambitioniertere Minderungsetappen, als im Energiekonzept vorgesehen. Daher sprechen wir uns für eine Anhebung der Zwischenziele für 2030 und 2040 aus.

Als Hauptursache energiebedingter THG-Emissionen steht die Energiebereitstellung auf Basis der Verbrennung fossiler Energieträger im Fokus. Die höchsten Minderungsbeiträge müssen daher der Energiesektor, die Industrie und der Verkehr leisten. Die Landwirtschaft rückt im Zuge des Transformationsprozesses verstärkt in den Blickpunkt, da auch hier ein Beitrag zur Reduktion der Treibhausgasemissionen notwendig ist. Auch die Abfallwirtschaft leistet einen wichtigen Beitrag zur Treibhausgaseminderung. Dies wird im Klimaschutzplan 2050 vom BMUB jedoch nicht explizit adressiert, da in Deutschland die wesentlichen Maßnahmen zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen für diesen Sektor bereits umgesetzt wurden. Insbesondere durch das seit 2005 bestehende Ablagerungsverbot für unbehandelte Abfälle, den Ausbau des Recyclings und eine effiziente energetische Verwertung konnte ein beachtlicher Beitrag zum Klimaschutz geleistet werden.<sup>21</sup>

Der Klimaschutzplan muss – eingebettet in eine **nachhaltige Entwicklung** in all ihren Dimensionen – **verursachergerechte Lösungswege** aufzeigen. Weder stellen der Einsatz fossiler Energieträger oder die Nutzung von Atomenergie noch Maßnahmen des Geoengineering oder die CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Speicherung (CCS) aus unserer Komponenten eines nachhaltigen Entwicklungspfades dar und sind daher kein Teil des Klimaschutzplans. Vielmehr müssen die Schlüsselmaßnahmen in allen Handlungsfeldern darauf abzielen

- die konsequente Erschließung von Vermeidungs- und Effizienzpotentialen,
- die Substitution fossiler Energieträger in allen Anwendungsbereichen durch erneuerbare Energien,
- effizienten Ressourceneinsatz sowie
- suffizientes Leben und Wirtschaften aber auch
- klimaresiliente (Infra-)Strukturen

voranzutreiben bzw. zu ermöglichen.

Elementar für einen erfolgreichen, umsetzungsorientierten Prozess ist die **Beteiligung und Akzeptanz** der gesellschaftlichen Akteure aber auch die kontinuierliche **Erfolgskontrolle der Umsetzung und Zielerreichung sowie die Fortschreibung**.

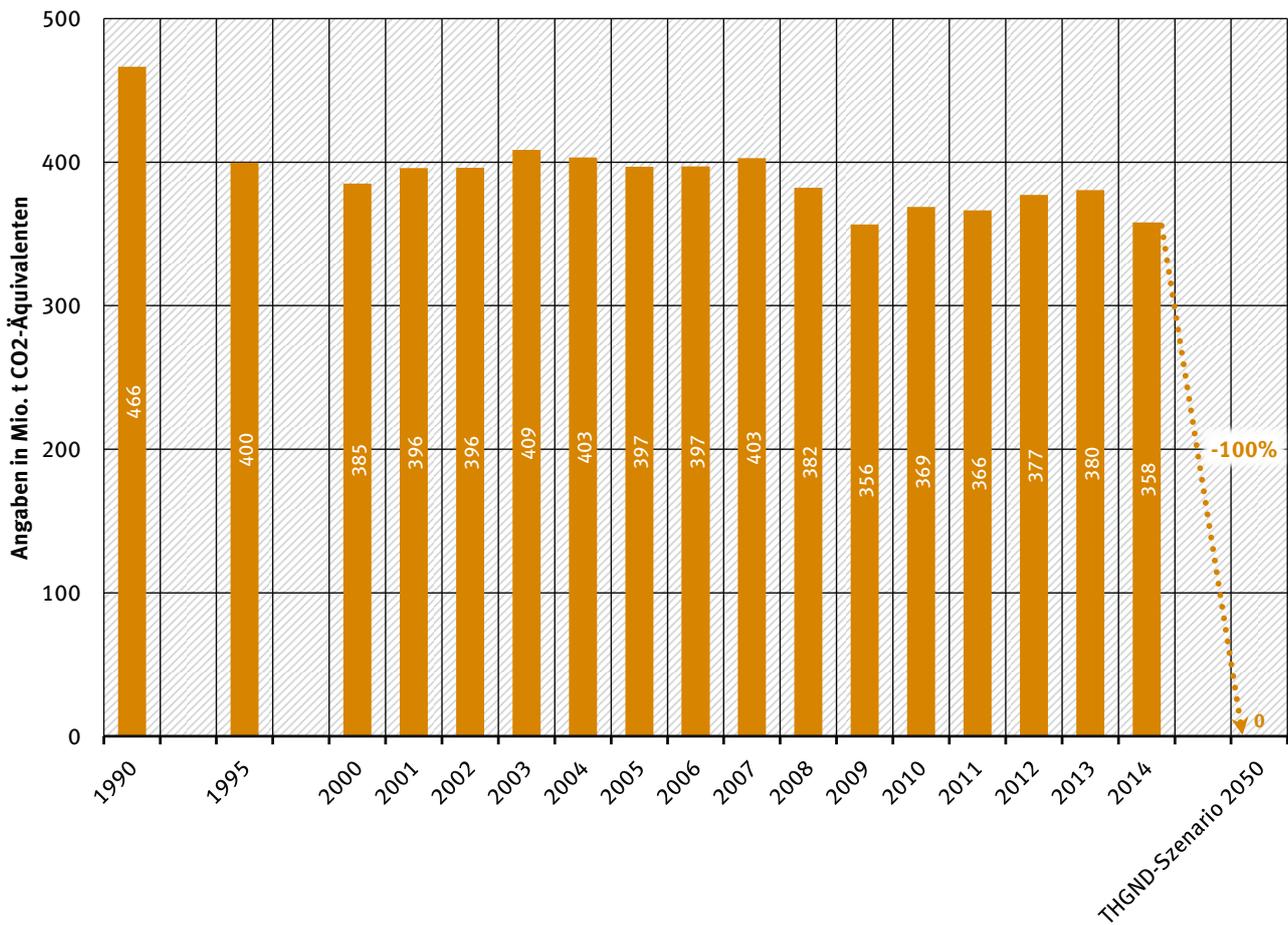
## 4.1 Handlungsfeld Energiewirtschaft

Die Energiewirtschaft umfasst alle Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger in Kraftwerken der öffentlichen Strom- und Wärmebereitstellung. Enthalten sind somit auch die Emissionen, die aus dem Stromverbrauch der Sektoren private Haushalte, Verkehr, Industrie (außer Eigenerzeugung) und GHD resultieren. Mit 380 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. und einem Anteil von 40 % verursachte die Energiewirtschaft im Jahr 2013 die meisten THG-Emissionen. Im Vergleich zu den Vorjahren blieb dieser Anteil weitgehend konstant. Laut UBA-Berechnungen sanken die Emissionen der Energiewirtschaft 2014 gegenüber 2013 um knapp 6 % auf 358 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq., bedingt hauptsächlich durch den milden Winter. Damit gingen die THG-Emissionen der Energiewirtschaft insgesamt um 23,1 % gegenüber 1990 zurück.

Aufgrund der eingeschränkten technischen Minderungspotentiale insbesondere bei den prozessbedingten Emissionen und Emissionen aus der Landwirtschaft, ist es für die Erreichung der Klimaschutzziele notwendig, dass die Energiewirtschaft einen überproportionalen Anteil zur Treibhausgas-minderung beiträgt. Dies gilt insbesondere bei der Erreichung ambitionierter Klimaschutzziele, also bei einer THG-Emissionsreduktion um 95 % gegenüber 1990.

Technisch besteht die Möglichkeit, die Treibhausgasemissionen in der Energiewirtschaft auf nahezu Null zu senken, indem vollständig auf erneuerbare Energien umgestellt wird und die Effizienzpotenziale zugleich weitgehend ausgeschöpft werden<sup>22</sup>. Zentrale Bausteine einer vollständig regenerativen Energieversorgung sind sämtliche Power to X-Techniken über alle Anwendungsbereiche hinweg. Die energetische Nutzung von Anbaubiomasse<sup>23</sup>, Atomenergie und CCS sind aus Sicht des Umweltbundesamtes keine Bausteine in einem nachhaltigen Energiesystem<sup>24</sup>.

Abbildung 2: Entwicklung der Treibhausgasemissionen der Energiewirtschaft in der Abgrenzung der Sektoren des Aktionsprogrammes Klimaschutz 2020



Damit der notwendige überproportionale Beitrag zur Treibhausgasminderung in der Energiewirtschaft geleistet werden kann, sind die Voraussetzungen für die Erschließung der Effizienzpotentiale, regenerative Versorgung von strombasierten Energieträgern und Rohstoffen über alle Anwendungsbereiche hinweg zu schaffen und ein verstärkter Ausbau der erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung notwendig.

Gleichwohl sollte eine nationale, treibhausgasneutrale Energieversorgung in die international notwendige Dimension eingebettet sein. Vor dem Hintergrund globaler Wirtschaftsnetzungen, die insbesondere im internationalen Verkehr internationale Kompatibilität erfordert, ist es notwendig, neben den nationalen Strategien auch eine internationale Strategie zu entwickeln, um den globalen Herausforderungen zum Klimawandel entgegenzutreten. Dabei kann auch PtG/PtL eine zentrale Rolle für die regenerative globale Versorgung mit Brenn-, Kraft- und Rohstoffen und für einen internationalen, regenerativen Energiemarkt darstellen. Eine wichtige Rolle bei den strategischen Fragen zur Energieversorgung spielen dabei die Importabhängigkeit, die Diversifizierung der Lieferländer und Energiequellen sowie der Ausbau internationaler Infrastrukturen.

Abbildung 3: Visualisierung der Schlüsselmaßnahmen und Umsetzungsschritte im Handlungsfeld Energiewirtschaft



## Ausstieg aus der fossilen Stromerzeugung

### Schlüsselmaßnahme

#### *Inhaltliche Beschreibung*

Die Energiewirtschaft, hier vor allem die fossile Stromerzeugung, ist der Schlüsselsektor für eine langfristige gesamtwirtschaftliche Dekarbonisierung. Insbesondere im fossilen Kraftwerkspark bestehen große und kostengünstige Minderungspotentiale, die kurzfristig verfügbar sind. **Daher sollte die Dekarbonisierung der Energiewirtschaft im Vergleich zu anderen Sektoren frühzeitiger und mit stärkeren Minderungsbeiträgen vollzogen werden und spätestens nach 2020 einen überproportionalen Beitrag zur Erreichung der gesamtwirtschaftlichen Minderungsziele leisten.**

**Bis 2020 sollte die Energiewirtschaft und hier insbesondere die fossile Stromerzeugung nach Auffassung des UBA schon bis 2020 einen mindestens proportionalen Beitrag zum Klimaschutzziel leisten**, d.h. die Treibhausgasemissionen um mindestens 40% ggü. 1990 mindern. Um dieses Niveau zu erreichen, muss der fossile Kraftwerkspark – in Verbindung mit den im Nationalen Aktionsplan Energieeffizienz (NAPE) avisierten Stromeinsparungen – einen adäquaten Beitrag leisten.

**Die vom UBA geforderte gesamtwirtschaftliche Treibhausgas-Minderung um 95% bis 2050 bedingt eine vollständige Reduktion der Kohleverstromung. Aus energiewirtschaftlichen, klimapolitischen und ökologischen Gründen sollte insbesondere die Braunkohleverstromung deutlich vor 2050 enden.** Zudem sollten die Emissionen aus der Kohleverstromung bis spätestens 2030 auf einen Entwicklungspfad einschwenken, der im Einklang mit einem ambitionierten langfristigen Minderungspfad für die Energiewirtschaft steht.

**Die aktuell implementierten Instrumente der deutschen und europäischen Energie- und Klimapolitik stellen nicht sicher, dass die kurz-, mittel- und langfristigen nationalen Klimaschutzziele erreicht werden.** Die zur Umsetzung des Aktionsprogramms Klimaschutz 2020 bisher beschlossenen Instrumente und Maßnahmen initiieren zudem weder einen nachhaltigen Strukturwandel im deutschen Kraftwerkspark noch leiten sie hinreichend schnell den Ausstieg aus der Verbrennung von Braun- und Steinkohle ein.

#### *Umsetzung*

- ▶ Eine gesetzliche Regelung schaffen, die festlegt:
  - langfristig vollständig aus der Braun- und Steinkohleverstromung auszusteigen und
  - den gesamtwirtschaftlichen THG-Minderungspfad nach 2020 durch überproportionale Minderungsbeiträge der Energiewirtschaft zu erreichen;
- ▶ Den europäischen Emissionshandel weiterentwickeln und stärken;
- ▶ Flankierende Instrumente ergänzend zum EU-ETS einführen oder bestehende stärken;
- ▶ Durch das Monitoring zum Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 und ggf. durch ergänzende Maßnahmen das 40%-Minderungsziel bis 2020 sicherstellen;
- ▶ Nationalen Kohledialog unter Beteiligung aller relevanten gesellschaftlichen Akteure initiieren;
- ▶ Entwicklungspfade für die Kohleverstromung und Maßnahmen für einen sozialverträglichen Strukturwandel festlegen;
- ▶ Den Bau neuer Kohlekraftwerke, den Aufschluss neuer Tagebaue, das Erweitern von bestehenden Tagebauen und lebensdauerverlängernde Retrofitmaßnahmen vermeiden;
- ▶ Die Emissionen der Energiewirtschaft bis 2020 auf 274 Mio. t CO<sub>2äq</sub> reduzieren;
- ▶ Regelmäßige Evaluation durch ein Monitoring und Nachsteuern des Maßnahmen- und Instrumentenportfolios;

**Sektorkopplung - stärkere Verzahnung des Strom-, Brennstoff-, Kraftstoff- und Rohstoffmarktes****Schlüsselmaßnahme mit übergreifender Wirkung***Inhaltliche Beschreibung*

**Sektorkopplung ermöglicht durch direkte oder indirekte Verwendung von regenerativem Strom eine treibhausgasneutrale Versorgung aller Anwendungsbereiche bzw. die vollständige Substitution fossilen Energieträger und Rohstoffe.**

Zur Erreichung ambitionierter Klimaschutzziele – also einer 95 %igen THG-Reduktion - muss das Energiesystem nahezu vollständig auf regenerative Energien (ohne Anbaubiomasse) basieren, damit nahezu keine Treibhausgasemissionen verursacht werden. Dabei müssen alle Anwendungsbereiche zu großen Teilen mit strombasierten Energieträgern versorgt werden. Dies kann mit Hilfe verschiedener Power to X-Techniken erreicht werden. Mittelfristig ist mit einem verstärkten Einsatz von PtH (Verknüpfung des Wärmebereichs mit dem Stromsektor) und Elektromobilität (direkte Kopplung des Stromsektors mit dem Verkehr) zu rechnen. Langfristig werden durch Nutzung von PtG/PtL darüber hinaus alle Energiemärkte (Strom, Brennstoffe und Kraftstoffe) sowie der Markt für regenerative Rohstoffe miteinander verbunden.

Zusätzlich erhöhen diese neuen Stromverbraucher die Flexibilität im Stromsystem und können so die Integration fluktuierender erneuerbarer Stromerzeugung unterstützen. Auch bei einer Treibhausgasreduzierung um 80 % gegenüber 1990 werden PtX-Optionen eine signifikante Rolle spielen. Daher ist die Sektorkopplung ein zentraler Baustein der Energiewende und im Klimaschutz.

Der THG-Minderungsbeitrag der PtX-Optionen ist im höchsten Maße vom genutzten Strom, also dem CO<sub>2</sub>-Gehalt im Strommix (2013: 584 g CO<sub>2</sub>-Äq./kWh)<sup>25</sup>, abhängig. Wichtig ist, die überwiegende oder ausschließliche Nutzung von erneuerbarem Strom. Das bedeutet, dass kurz- und mittelfristig prioritär die PtX-Potentiale, welche mittels energetisch effizienteren Techniken (z. B. PtH) versorgt werden können und damit einen hohen Substitutionseffekt bezogen auf fossile Energieträger und THG-Minderungsbeitrag erzielen können, erschlossen werden sollten. Gleich-zeitig sind Technikentwicklungen von energetisch weniger effizienten PtX-Techniken (PtG/PtL) voranzutreiben, um deren langfristige Verfügbarkeit für hohe THG-Minderungen zu gewährleisten.<sup>26</sup>

*Umsetzung*

- ▶ Förderung der PtG/PtL-Technik bis zu einer deutschlandweit installierte Leistung von insgesamt 500 MW in den nächsten Jahren. Dabei muss jedoch gewährleistet werden, dass dies nicht zu einer erhöhten fossilen Stromerzeugung führt und nur Strom aus zusätzlichen erneuerbaren Energieanlagen genutzt wird.
- ▶ In Abhängigkeit von Investitionszyklen und Marktdurchdringungsraten sind entsprechende Umstrukturierungen in den Anwendungsbereichen zu adressieren:
  - Verstärkte Integration der Elektromobilität ab etwa 700 g CO<sub>2</sub>-Äq./kWh Bezugsstrom.
  - Verstärkte Integration von PtH in Verbindung mit Wärmepumpen ab einem CO<sub>2</sub>-Gehalt im Bezugsstrom von rund 650 g CO<sub>2</sub>-Äq./kWh.
  - Die Substitution fossilen Erdgases durch PtG-CH<sub>4</sub> zur Wärmeversorgung ist in den nächsten Jahren nicht zu unterstützen, da dieser Pfad energetisch und im Hinblick auf die Substitutionseffizienz ineffizient ist. Vorbehaltlich der Wirtschaftlichkeit ist frühestens ab einem CO<sub>2</sub>-Gehalt des Bezugsstromes von ca. 120 g CO<sub>2</sub>-Äq./kWh ein großtechnischer Einsatz sinnvoll.
- ▶ siehe Maßnahmenblatt „Weiterentwicklung des Energiemarktes“

<p><b>Erhöhung der Ausbauziele der erneuerbaren Energien für die Stromerzeugung</b></p>
<p><b>Schlüsselmaßnahme</b></p>
<p><i>Inhaltliche Beschreibung</i></p> <p><b>Die Umstellung der Stromerzeugung auf regenerative Energie hat im Rahmen des Transformationsprozesses eine zentrale Bedeutung. Erneuerbare Energien (eE) in der Stromerzeugung ermöglichen nicht nur dort sondern durch die sog. PtX-Techniken auch in anderen Anwendungsbereichen effektive THG-Minderungen.</b></p> <p>Windenergieanlagen an Land und Photovoltaik (PV) sind mit ihren geringen Stromgestehungskosten (auch im Vergleich zu konventionellen Erzeugungstechniken) und großen nationalen Potenzialen die entscheidenden Energieerzeugungstechniken der Zukunft. Ihr Ausbau muss den Ausstieg aus der Kohleverstromung begleiten und ermöglichen. Sollten zudem die im Energiekonzept anvisierten THG-Minderungen an anderer Stelle (z. B. durch Energieeffizienz) verfehlt werden, könnte dies ein verstärkter Ausbau der erneuerbaren Energien ausgleichen.</p> <p>Das aus Sicht des UBA notwendige Klimaschutzziel einer Minderung der THG-Emissionen um 95 % bis 2050 erfordert eine Stromversorgung ausschließlich auf Basis erneuerbarer Energien. Der direkte Stromverbrauch an Endenergie inkl. neuer Verbraucher beträgt lt. UBA-Studie zum THGND 600 TWh, das Klimaschutz 95-Scenario des BMUB setzt einen Wert von 750 TWh an. Bei einer linearen Fortschreibung der Ausbaukorridore im EEG bis 2050 wäre dieses Niveau erreichbar, wenn der jährliche Ausbau der Windenergie an Land und der PV netto jeweils 2,5 GW beträgt. Wird der PV-Ausbau wie bisher im EEG verankert als Brutto-Wert interpretiert, wird ein Zielniveau von 600 TWh in 2050 verfehlt. Tatsächlich ist ein jährlicher Ausbau von netto jeweils 2,5 GW ein <b>Mindestausbaupfad</b> für die Windenergie an Land und die PV. Denn für die angenommene Zielerreichung ist gleichzeitig ein ambitionierter Ausbau für die Windenergie auf See von jährlich 0,8 GW bis 2050 und substantielle Fortschritte bei der Energieeffizienz notwendig. Sobald es hier zu Verfehlungen kommt, sollen die Windenergie an Land und die PV stärker ausgebaut werden.</p> <p>Um eine für die Energiewende energetisch sinnvolle Nutzung von PtG und PtL zu ermöglichen, sollte der eE-Ausbau in den beiden kommenden Dekaden nicht linear, sondern überproportional erfolgen. Nur so ist eine wirksame Treibhausgas-minderung durch eine tatsächliche Substitutionswirkung von fossilen zu erneuerbare Energien zu realisieren. Würde z. B. der Strommix in Deutschland mit Emissionen von 584 g CO<sub>2</sub>-Äq./kWh (2013) bei einem eE-Anteil von 25 % unterstellt, so müsste der eE-Anteil auf etwa 80 % erhöht werden, um die Emissionen des Bezugsstroms auf den für Methan aus PtG sinnvollen Wert von etwa 120 g CO<sub>2</sub>-Äq./kWh zu reduzieren. Für das Klimaziel bis 2050 sind im EEG ambitioniertere eE-Zwischenziele ebenso erforderlich wie eine Erhöhung der Ausbaupfade für Windenergie an Land und PV.</p>
<p><i>Umsetzung</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Umwandlung des PV-Ausbaupfades von 2,5 GW brutto in 2,5 GW netto</li> <li>▶ Monitoring der sektoralen Zielerreichung und entsprechende Erhöhung der Zubaumengen der Windenergie an Land und der PV.</li> <li>▶ Ab 2030-2040: Anpassung der eE-(Zwischen)ziele und der entsprechenden Ausbaupfade, um den eE Ausbau zur Sektor übergreifenden THG-Emissionsminderung vorzuziehen</li> </ul>

## Ausbau von effizienten Energienetzen

### Schlüsselmaßnahme mit flankierender Wirkung

#### *Inhaltliche Beschreibung*

**In einem zunehmend auf erneuerbaren Energien basierenden Energiesystem sind leistungsfähige Energienetze eine Voraussetzung für eine effiziente Verknüpfung von Erzeugung und Verbrauch sowie die Gewährleistung hoher Versorgungssicherheit. Dies betrifft vor allem die Strom-, Gas- und Fernwärmenetze, wobei erstere aufgrund bereits heute auftretender Netzengpässe akut den höchsten Handlungsbedarf aufweisen.**

Im Stromnetz führen derzeit vor allem die weiten Entfernungen zwischen erzeugungs- und lastintensiven Regionen, die Überführung eines Systems mit wenigen zentralen in eines mit sehr vielen dezentralen Erzeugern sowie die zunehmende fluktuierende Einspeisung zu einem höheren Bedarf an Übertragungs- und Verteilungskapazitäten. Die Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ) bietet eine verlustarme Möglichkeit, die nötige Übertragungsleistung über große Entfernungen sowie Systemdienstleistungen (z. B. Blindleistungsmanagement) bereitzustellen. Für den großräumigen Ausgleich von Leistungsschwankungen sowie die europaweite Nutzung der erneuerbaren Energien sind die Grenzkuppelleitungen auszubauen. Im Verteilnetz sind neben dem Netzausbau vor allem die Flexibilitätspotenziale in den verschiedenen Bereichen (Erzeuger, Verbraucher, Speicher, Netz) zu erschließen (siehe Maßnahme *Flexibilisierung der Stromnachfrage*). Dazu ist u.a. der Einsatz moderner Mess- und Kommunikationstechnik notwendig (Digitalisierung/ Smart Grid).

Der geplante Ausbau des Stromnetzes ist mit erheblichen Auswirkungen auf Mensch, Umwelt, Natur und Landschaft verbunden. Beim Netzausbau ist in transparenten Verfahren stets nach umwelt-, ressourcen- und sozialverträglichen Lösungen zu suchen.

Im Allgemeinen stellt der Stromnetzausbau gegenüber Speichern die wirtschaftlichere Möglichkeit dar, die Fluktuation von Erzeugung und Verbrauch zu glätten. Vor dem Hintergrund einer Versorgung mit regenerativem Gas, der langfristigen Notwendigkeit von Langzeitspeichern in einem Stromsystem mit hohen Anteilen erneuerbarer Energien und ggf. sinkender Akzeptanz bei Stromnetzausbau ist eine effiziente Verknüpfung der Strom- und Gasinfrastrukturen vorzunehmen.

Neben Strom- und Gasnetzen bietet die leitungsgebundene Wärmeversorgung in Verbindung mit erneuerbaren Energien und Abwärme im kommunalen, städtischen und regionalen Bereich ein großes Potenzial, fossile Energieträger zu verdrängen und eine umweltschonende Energieversorgung zu gewährleisten.

#### *Umsetzung*

- ▶ Zügige Umsetzung der Maßnahmen des EnLAG und BBPIG 2013 zum Netzausbau
- ▶ Fortschreibung und Kopplung der Netzentwicklungspläne Strom und Gas ab 2025
- ▶ Fortlaufender Ausbau und Digitalisierung des Stromverteilnetzes unter Berücksichtigung der Daten- und Systemsicherheit
- ▶ vorausschauender Infrastrukturaufbau zur Versorgung mit regenerativem Gas
- ▶ Umsetzung multinational bedeutsamer Infrastrukturprojekte (vgl. Projects of Common Interest der Entso-E)
- ▶ Abbau technischer Hemmnisse und Schaffung klarer rechtlicher Rahmenbedingungen für den Zugang erneuerbarer Energien zu Wärmenetzen

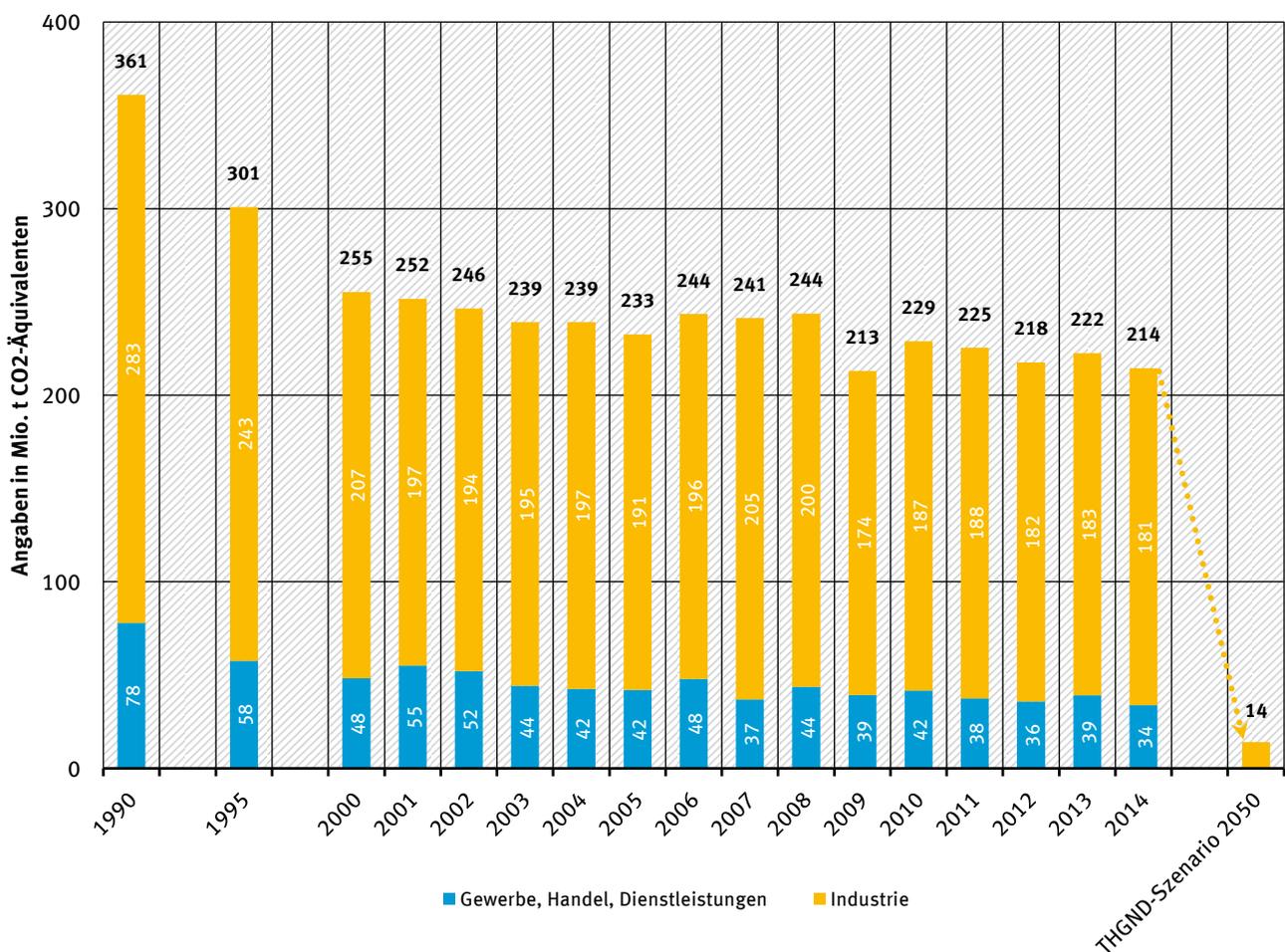
<p><b>Weiterentwicklung der Energiemärkte</b></p>
<p><b>Schlüsselmaßnahme mit übergreifender Wirkung</b></p>
<p><i>Inhaltliche Beschreibung</i></p> <p><b>Mit der Umstellung der Stromerzeugung und der zunehmenden Verknüpfung des Strom-, Brennstoff-, Kraftstoff- und Rohstoffmarktes im Zuge der Energiewende sind Rahmensetzungen notwendig, welche eine effiziente Integration der EE, den Erhalt der Versorgungssicherheit und ein Sektor übergreifendes, effizientes Zusammenspiel der Verbraucher und Erzeuger aus system-analytischer Gesamtsicht ermöglichen.</b></p> <p>Durch die bereits fortgeschrittene Umstellung im Strombereich und dessen besondere Bedeutung in einer treibhausgasarmen Energieversorgung sind hier entsprechende regulatorische Rahmensetzungen zeitnah notwendig. Es muss sichergestellt werden, dass durch die erneuerbaren Energien fossile Erzeugung dauerhaft ersetzt werden kann. Hemmnisse bei der Nutzung von Flexibilitätsoptionen (z. B. Lastmanagement) zum Ausgleich von Abweichungen zwischen Verbrauch und Erzeugung müssen abgebaut werden. Zudem muss die Bereitstellung der für die Versorgungssicherheit relevanten Systemdienstleistung durch technische Alternativen (z. B. erneuerbare Erzeuger) zur Substitution fossile Mindesterzeugung (Must-run) ermöglicht werden. Gleichzeitig sollte durch eine gestärkte europaweite Kopplung der nationalen Übertragungsnetze bessere länderübergreifende Flexibilitätsmöglichkeiten für die Integration erneuerbarer Energien erschlossen werden.</p> <p>Mit den sogenannten Power to X-Techniken besteht die Möglichkeit, alle Anwendungsbereiche mit regenerativen Energieträgern und Rohstoffen zu versorgen und die energiebedingten Treibhausgasemissionen auf nahezu Null und die prozessbedingten Treibhausgasemissionen im erheblichen Maße zu reduzieren. Diese neuen Stromverbraucher können darüber hinaus zusätzliche Flexibilitätsoptionen für den Stromsektor bereitstellen. Daher sollte aus systemischer Gesamtsicht die Energiemärkte weiterentwickelt und angepasst werden, so dass sektorübergreifend ein effizientes Zusammenspiel der Verbraucher und Erzeuger ermöglicht wird.</p>
<p><i>Umsetzung</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Zügige Umsetzung der Leitlinien zum Strommarkt 2.0 hinsichtlich der Integration von EE Strom zur Substitution fossiler Erzeugung.</li> <li>▶ Auch über das Strommarktgesetz hinaus ist der rechtliche Rahmen für Steuern, Abgaben, Entgelte und Umlagen weiterzuentwickeln, um eine effiziente Sektorkopplung und verzerrungsfreien Wettbewerb zur Erschließung von Flexibilitätsoptionen zu ermöglichen. Rahmenbedingungen sollten so gesetzt werden, dass Marktverzerrungen zwischen einzelnen Techniken verhindert und eine aus Klimaschutzgründen notwendige, energetisch effiziente und volkswirtschaftlich sinnvolle Nutzung der Techniken ermöglicht wird. Alle Marktakteure aller Anwendungsbereiche sollten flexibel auf Strompreissignale reagieren können.</li> <li>▶ Darüber hinaus ist eine ganzheitliche Anpassung der regulatorischen Rahmenbedingungen im Strom-, Kraftstoff-, Brennstoff- und Rohstoffmarkt für ein effizientes Zusammenspiel notwendig.</li> </ul>

<p><b>Stromverbrauchsminderung in den Haushalten</b></p>
<p><b>Schlüsselmaßnahme</b></p>
<p><i>Inhaltliche Beschreibung</i></p> <p>Zahlreiche EU-Richtlinien und Verordnungen machen Vorgaben zur Stromeffizienz und weiteren Gebrauchseigenschaften sowie zur Kennzeichnung des Stromverbrauches von Elektrogeräten. Dies betrifft nicht nur die üblicherweise in Haushalten eingesetzten Geräte sowie sektorübergreifend der Beleuchtung, sondern auch Geräte in Gewerbe, Handel und Dienstleistung: Elektromotoren, Klimaanlage, Pumpen, usf. Daraus ergeben sich nennenswerte Stromverbrauchsminderungen – in der Theorie. Die Praxis zeigt jedoch ein anderes Bild: So belegen etwa Studien, dass Herstellerangaben zum Stromverbrauch von Elektrogeräten vielfach nicht korrekt sind. Auch bei der Einhaltung stromverbrauchsrelevanter Vorgaben bei der Produktgestaltung gibt es wesentliche Lücken. Das bisherige Wirken der Marktaufsicht – in Deutschland liegt die Zuständigkeit bei den Ländern – baut offensichtlich nicht genügend Druck auf die Hersteller auf, die gesetzlichen Anforderungen an Produkteigenschaften und Kennzeichnung in ausreichendem Maße einzuhalten.</p> <p>Damit die Klimaschutzinstrumente zur Minderung des Energieverbrauches ihre Wirkung entfalten können, muss der Druck auf die Hersteller erheblich erhöht werden. Erreicht werden soll dies dadurch, dass für den Verursacher die Wahrscheinlichkeit deutlich größer wird, dass eine Nichteinhaltung der Vorschriften entdeckt wird und negative Folgen für ihn hat. Dafür soll zum einen die Zahl der von der Marktaufsicht durchgeführten Prüfungen steigen, und zum anderen sollen Fälle von Nichteinhaltung in der Öffentlichkeit bekanntgemacht werden. Dies übt von zwei Seiten Druck auf die Hersteller aus. Selbst wenn von der Marktaufsicht verhängte Strafzahlungen für einen Hersteller verschmerzbar sein sollten, wirken doch Negativmeldungen auf sein Ansehen und können das Kaufverhalten der Verbraucher beeinflussen.</p> <p>Der Stromverbrauch kann und muss kurz-, mittel und langfristig durch weitere Maßnahmen zur Steigerung der Produktenergieeffizienz und zur Ausweitung der Energieverbrauchskennzeichnung reduziert werden.</p>
<p><i>Umsetzung</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ kurzfristige Entwicklung von Möglichkeiten, die Marktüberwachung der Länder bei den 5 Gerätegruppen mit den größten Stromverbrauchsminderungspotentialen durch den Bund ausreichend zu unterstützen und Schaffung eines Instrumentes zur Information der Verbraucher über Fälle der Nichteinhaltung.</li> <li>▶ mittel- bis langfristig (drei und mehr Jahre): Ausdehnung auf weitere bereits von Vorschriften betroffene Gerätegruppen; danach Ergänzung um neuhinzukommende Gerätegruppen</li> <li>▶ Förderung der Entwicklung innovativer, hoch energieeffizienter Produkte</li> <li>▶ Ausweitung der Energieverbrauchskennzeichnung auf alle relevanten Elektrogeräte</li> <li>▶ Finanzielle Förderung extrem energieeffizienter Geräte zur schnelleren Marktdurchdringung</li> </ul>

## 4.2 Handlungsfeld Industrie und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen

Im Sektor Industrie sind die Emissionen aus Verbrennungsprozessen und der Eigenstromversorgung des produzierenden Gewerbes sowie die Emissionen aus gewerblichen und industriellen Prozessen (Produktion und Produktverwendung<sup>vi</sup>) erfasst. Die durch Fremdstrombezug verursachten Emissionen sind dem Quellprinzip zufolge im Sektor Energiewirtschaft erfasst. Der Sektor umfasst auch die Emissionen aus Verbrennungsprozessen in Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD; auch als „Kleinverbrauch“ bezeichnet), die im Wesentlichen zur Wärmebereitstellung<sup>vii</sup> dienen. Die Emissionsentwicklung des Sektors ist vor allem durch den Strukturwandel sowie durch konjunkturelle Schwankungen geprägt.

Abbildung 4: Entwicklung der Treibhausgasemissionen der Sektoren Industrie und GHD in der Abgrenzung der Sektoren des Aktionsprogrammes Klimaschutz 2020 (ohne den Teil der Emissionen aus Industrie und GHD, die gemäß der Leitfäden für die Emissionsberichterstattung als „energiebedingt“ berichtet werden)



Wie auch in den Vorjahren verursachte die Industrie – nach der Energiewirtschaft – die meisten Emissionen. Während die Gesamtemissionen über alle Sektoren bis 2014 rückläufig waren, veränderten sich die absoluten Werte für den Industriesektor in den letzten Jahren kaum.

<sup>vi</sup> unter anderem auch von fluorierten Treibhausgasen, den sogenannten F-Gasen

<sup>vii</sup> Brennstoffe für Raumwärme, Kochen und Warmwasser

Um das nationale Minderungsziel hinsichtlich der Treibhausgasemissionen zu erreichen, müssen auch die im Sektor Industrie und GHD noch vorhandenen Potentiale so weit wie möglich ausgeschöpft werden, z. B. durch die Verbesserung der Energieeffizienz von Querschnittstechniken, die Umstellung auf treibhausgasneutrale Energieträger, Rohstoffe und Produktionsverfahren, die Flexibilisierung der Stromnachfrage, den Ausbau der Nutzung industrieller Abwärme und die effiziente Nutzung von kohlenstoffhaltigen Reststoffen.

Abbildung 5: Visualisierung der Schlüsselmaßnahmen und Umsetzungsschritte im Handlungsfeld Industrie und GHD



## Energieeffizienz in Querschnittstechniken

### Schlüsselmaßnahme

#### *Inhaltliche Beschreibung*

**Die Einsparung von Elektroenergie in der Industrie ist zu einem erheblichen Teil bei Querschnittstechniken möglich, während die Einsparpotenziale bei thermischer Energie hauptsächlich branchenspezifisch sind.**

Etwa 75 % des industriellen Stromverbrauchs, der etwa 40 % des gesamtwirtschaftlichen Stromverbrauchs in Deutschland ausmacht, ist auf die Nutzung und den Betrieb von Querschnittstechniken wie Druckluft, Pumpen, Ventilatoren oder Kältekompressoren zurückzuführen. Daher sind die Querschnittstechniken sehr wichtig im Hinblick auf die Einsparung von Strom und die Steigerung der Energieeffizienz im Industriesektor sowie die Erreichung der Klimaschutzziele der Bundesregierung.

Um bis 2030 und 2050 bei den Querschnittstechniken ein möglichst hohes Stromeinsparpotenzial zu erreichen, sind bestehende Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz der Querschnittstechniken weiter zu entwickeln und noch stärker auszubauen.

Wegen der teilweise langen Lebensdauer von Querschnittstechniken ist es wichtig, dass verfügbare Höchsteffizienzstechniken möglichst schnell zum Einsatz kommen.

Für das Jahr 2030 wurde für den Bereich der industriellen Querschnittstechniken ein wirtschaftliches Stromeinsparpotenzial von 36,0 TWh geschätzt (Metastudie Uni Stuttgart 2013).

#### *Umsetzung*

- ▶ Anspruchsvolle Weiterentwicklung der Energieeffizienzanforderungen für Querschnittstechniken im Rahmen der Ökodesign-Richtlinie (nach einer Übergangszeit sollte nur noch beste verfügbare Technik in den Verkehr gebracht werden dürfen).
- ▶ Förderung der anwendungsorientierten Forschung zur mittel- und langfristigen Steigerung der Energieeffizienz bei Querschnittstechniken
- ▶ Weiterführung der Förderung des Einsatzes hocheffizienter Querschnittstechniken
- ▶ Verbindliche Einführung von Energiemanagementsystemen in Nicht-KMU

## Umstellung auf treibhausgasneutrale Energieträger und Rohstoffe

### Schlüsselmaßnahme

#### *Inhaltliche Beschreibung*

**Mittel- und langfristig ist eine Umstellung der Industrieprozesse auf regenerative Energieträger und Rohstoffe notwendig. Notwendige Voraussetzung für eine wirksame Treibhausgasminde- rung ist die Umstellung der Energieversorgung, so dass treibhausgas-neutrale Energieträger und Rohstoffe im ausreichenden Umfang zur Verfügung stehen.**

Für die Erreichung ambitionierter Treibhausgasminde- rungsziele ist auch ein wesentlicher Beitrag in der Industrie und im GHD durch die Umstellung auf regenerative Energieträger und Rohstoffe notwendig. In einem nahezu vollständigen regenerativen Energiesystem ist es sinnvoll, Prozess- wärme für Industrie und GHD direkt mit Strom zu erzeugen (Power to Heat, PtH), sofern der koh- lenstoffhaltige Energieträger nicht als Reaktionsmittel benötigt wird. Dafür sind jedoch techni- sche Weiterentwicklungen der Prozesse und Wärmebereitstellungsverfahren notwendig. Insbe- sondere für Niedertemperaturprozesswärme sollte PtH in Verbindung mit Wärmepumpen erfol- gen. Hier sind bereits heute THG-Emissionsminderungen im Vergleich zum Einsatz von Erdgas denkbar. Auch bei einem Gesamttreibhausgasemissionsminderungsziel von 80 % gegenüber 1990 ist diese Umstellung der Prozesswärmeversorgung effizient und notwendig.

Mit Hilfe der PtG/PtL-Technik (Power to Gas/Power to Liquid) besteht mittel- und langfristig die Möglichkeit, auf Basis von regenerativem Strom treibhausgasneutrale Energieträger für Indust- rieprozesse bereitzustellen, die nicht auf Strom umgestellt werden können oder bei denen der Energieträger zugleich als Kohlenstoffquelle dient. Darüber hinaus können so auch treibhausgas- neutrale Kohlenstoffträger z. B. für chemische Synthesen bereitgestellt werden. In einigen Pro- zessen kann auch CO<sub>2</sub> direkt als Kohlenstoffquelle genutzt werden.<sup>27</sup>

Die erste Prozessstufe von PtG ist die Erzeugung von regenerativem Wasserstoff. Wasserstoff wird in der chemischen Industrie als Ausgangsstoff für die Ammoniakproduktion sowie als wichti- ger universell einsetzbarer Grundstoff zur Synthese chemischer Verbindungen eingesetzt. In der Metallurgie kann Wasserstoff als Reduktionsmittel genutzt werden. Auch bei der Verarbeitung von Rohöl zu Kraft- und Brennstoffen und hochwertigen Chemieprodukten wird Wasserstoff ein- gesetzt. Wasserstoff wird zurzeit noch in energieintensiven Prozessen erzeugt, kann aber mittel- und langfristig durch regenerativen Wasserstoff ersetzt werden. Durch Substitution der fossilen Wasserstoffwirtschaft können bei ausschließlicher Nutzung von regenerativem Strom ca. 5,8 Mio. t CO<sub>2</sub> pro Jahr in Deutschland eingespart werden.<sup>28</sup>

#### *Umsetzung*

- ▶ Verstärkte Nutzung von PtH zur Prozesswärmeversorgung, insbesondere in Verbindung mit Wärmepumpen sowie entsprechend vorlaufende Forschungsförderung
- ▶ Förderung von Demonstrations- und Pilotvorhaben zur Umstellung auf treibhausgasneutrale Energieträger und Rohstoffe im Industriesektor
- ▶ Substitution der fossilen Wasserstoffwirtschaft durch Integration von PtG (Wasserstofferzeu- gung) und damit Nutzung der Lernkurveneffekte aus der zentralen PtG/PtL-Technik (ab einem CO<sub>2</sub>-Gehalt im Bezugsstrom von 180 g CO<sub>2</sub>-Äq./kWh
- ▶ Entwicklung einer Roadmap zur Umstellung der Industrie auf THG-neutrale Energieträger und Rohstoffe
- ▶ Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen für den Umstellungsprozess, z. B. durch Bereit- stellung von Investitionszuschüssen oder andere ökonomische Anreize

<p><b>Umstellung von Prozesstechniken</b></p>
<p><b>Schlüsselmaßnahme</b></p>
<p><i>Inhaltliche Beschreibung</i></p> <p><b>Um die THG-Emissionen aus Industrie und GHD deutlich reduzieren zu können, ist teilweise eine Umstellung von Prozesstechniken und somit ein weitgehender Umbau des bestehenden Anlagenparks erforderlich. Hierfür müssen langfristig geeignete Rahmenbedingungen geschaffen werden.</b></p> <p>Ein Großteil der Emissionen aus Industrieprozessen stammt aus der Verwendung bestimmter kohlenstoffhaltiger Rohstoffe und Energieträger wie der Zementherstellung oder des Hochofenprozesses. Die daraus resultierenden Emissionen können nicht ohne weiteres durch eine Umstellung auf kohlenstoffarme Rohstoffe, regenerative Energieträger oder Strom gemindert werden. Gleichzeitig ist innerhalb der bestehenden Prozessketten nur noch eine begrenzte weitere Minderung der THG-Emissionen durch Verbesserungen in der Energie- und Materialeffizienz möglich. Eine weitergehende Minderung der THG-Emissionen lässt sich nur durch eine Umstellung der Prozesstechniken erreichen. Beispiele hierfür werden z. B. in der UBA-Studie THGND 2050 für verschiedene Branchen genannt. Dabei zeigt diese Studie, wie die THG-Emissionen aus den betrachteten Industriesektoren mit heute bereits bekannten Techniken bis zum Jahr 2050 um bis zu 99,7 % gemindert werden könnten, sofern diese großtechnisch in der Breite eingesetzt würden. Der hierfür notwendige Umbau des bestehenden Anlagenparks ist mit folgenden Herausforderungen verbunden:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Da es sich bei diesen Anlagen in der Regel um sehr langlebige Investitionsgüter handelt, muss frühzeitig (spätestens 2030) mit der Umstellung der Produktionsverfahren begonnen werden, um diese bis 2050 abschließen zu können.</li> <li>2. Dabei ist in der Umstellungsphase zu gewährleisten, dass die kohlenstoffarmen Rohstoffe, regenerativen Energieträger oder der regenerative Strom im benötigten Umfang zur Verfügung stehen, da sonst im Transformationsprozess nicht die gewünschte THG-Minderungswirkung erfolgt.</li> <li>3. Es besteht weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf, um die in Frage kommenden Produktionsverfahren zur Anwendungsreife zu führen oder ihren Anwendungsbereich zu erweitern.</li> <li>4. Der Investitionsbedarf für den notwendigen Umbau des Anlagenparks wird deutlich größer sein als anderenfalls für Re-Investitionen benötigt würde.</li> <li>5. Die Anwendung der weitgehend THG-neutralen Produktionsverfahren ist unter Umständen in der Übergangszeit mit höheren laufenden Kosten für Rohstoffe und Energie verbunden, so dass Betreiber, die frühzeitig ihre Anlagen umrüsten, wirtschaftliche Nachteile gegenüber ihren Konkurrenten haben könnten.</li> </ol>
<p><i>Umsetzung</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Förderung der Weiterentwicklung von THG-neutralen Produktionsverfahren sowie von entsprechenden Demonstrationsvorhaben</li> <li>▶ Entwicklung einer Roadmap, wie die Industrie bis 2050 auf THG-neutrale Produktionsverfahren umgestellt werden soll</li> <li>▶ Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen für den Umstellungsprozess, z. B. durch Bereitstellung von Investitionszuschüssen oder andere ökonomische Anreize</li> </ul>

## Flexibilisierung der Stromnachfrage

### Schlüsselmaßnahme mit flankierender Wirkung

#### *Inhaltliche Beschreibung*

**In einem Energiesystem, welches zu einem großen Teil von fluktuierenden Erneuerbaren gespeist wird, ist die Flexibilisierung der Stromnachfrage eine effiziente und wirtschaftliche Maßnahme, um in der Übergangszeit die nötige Mindesterzeugung aus fossilen konventionellen (langfristig regenerativ befeuerten) Kraftwerken zu reduzieren, den zukünftigen Bedarf an erneuerbaren Stromerzeugungsanlagen zu begrenzen und gleichzeitig eine hohe Systemsicherheit zu bewahren.**

In zahlreichen industriellen Bereichen (z. B. Papierindustrie, Chlor- und Aluminiumelektrolyse, Lichtbogenöfen, Zementmühlen...) bestehen technische Potentiale zur Flexibilisierung der Stromnachfrage durch Demand-Side-Management (DSM). Diese Potentiale werden bereits heute teilweise zum Ausgleich von Stromerzeugung und -nachfrage sowie zur Behebung von lokalen Netzengpässen genutzt. Somit trägt das DSM dazu bei, den Anteil konventioneller Kraftwerke zur Bereitstellung von Systemdienstleistungen zu reduzieren und folglich insbesondere im Transformationsprozess Treibhausgasemissionen zu mindern.

Mit dem weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien ist es notwendig, die technischen Potentiale zur Flexibilisierung der Stromnachfrage weiter zu erschließen. Wesentliche Ursachen weshalb bestehende DSM-Potentiale noch nicht genutzt werden, sind organisatorische, wirtschaftliche Hemmnisse sowie regulatorische Hemmnisse, welche aus dem Design der Regelleistungsmärkte sowie der Stromnetzentgeltverordnung (StromNEV) erwachsen. Der Abbau von Hemmnissen im Design der Energiemärkte ist ein zentraler Baustein zur Erschließung von Flexibilitätspotentialen und damit zur Integration erneuerbarer Energien ins Energiesystem.

Im Laufe des Transformationsprozesses erfolgt eine zunehmende Kopplung des Strom-, Brennstoff-, Kraftstoff- und Rohstoffmarktes, so dass sich einerseits die Stromnachfrage durch neue Verbraucher, aber andererseits auch das zur Verfügung stehende technische Flexibilitätspotential, z. B. durch die Umstellung der Industrieprozesse auf regenerativen Strom, erhöht. Gleichzeitig könnte die Einbeziehung neuer strombasierter Anlagen in die verschiedenen Strommärkte einen wichtigen Beitrag liefern, um die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für den Umbau der Industrieprozesse zu verbessern.

Im Zuge der fortschreitenden Digitalisierung des Energiesystems (z. B. Smart-Meter-Rollout) könnten variable Stromtarife ermöglichen, dass auch kleinere Verbraucher zu einer Flexibilisierung der Stromnachfrage beitragen.

#### *Umsetzung*

- ▶ Überarbeitung der StromNEV, um sicherzustellen, dass privilegierten Netznutzer (nach §19) durch systemdienliche Flexibilität keine betriebswirtschaftlichen Nachteile entstehen (so schnell wie möglich)
- ▶ Zeitnahe Umsetzung der Leitlinien zum Strommarkt 2.0, namentlich in Hinblick auf den Abbau von Eintrittsbarrieren für EE an der Regelleistungsmärkten
- ▶ Erschließung von Flexibilitätspotentialen für kleine Verbraucher (ab sehr hohen Anteil EE)

## Ausbau der Nutzung industrieller Abwärme

### Schlüsselmaßnahme mit flankierender Wirkung

#### *Inhaltliche Beschreibung*

**Abwärme fällt grundsätzlich bei nahezu allen industriellen Prozessen an, insbesondere jedoch bei der Nutzung von Prozesswärme in z. B. Thermoprozessanlagen. Die breite und konsequente Rückgewinnung und Nutzung dieser Abwärme birgt ein erhebliches Energieeinspar- und Treibhausgas-minderungspotenzial. Aufgrund ungünstiger wirtschaftlicher und umweltpolitischer Rahmenbedingungen wird dieses aktuell jedoch nur teilweise gehoben.**

Hauptströme der Abwärme aus industriellen Prozessen sind heiße Prozessmedien (Abgas, Prozess- und Kühlwasser) oder heiße Produkte sowie diffuse Verluste über Wände, Leitungen, Türen und Öffnungen an den Anlagen. Bisher wird vorrangig der Ansatz verfolgt, Abwärme aus heißen Abgasen zu nutzen, indem sie teilweise in den Prozess zurückgeführt wird, z. B. zur Vorwärmung von Verbrennungsluft. Bei erdgasbefeuerten Anlagen kann durch Rekuperatoren die im Abgas verbleibende Abwärme bezogen auf Energieinput von ca. 50 % auf 30 % reduziert werden; durch regenerative Wärmetauscher sogar auf 15 %.<sup>29</sup> Vergleichbare Ansätze zur Abwärmenutzung gibt es auch bei koksbeheizten Thermoprozessanlagen oder für die Abwärmenutzung aus Prozesswasser. Aus thermodynamischen Gründen ist die vollständige Rückführung der Abwärme in den jeweiligen Thermoprozess mittels dieser Maßnahmen nicht möglich. Durch zusätzliche nachgeschaltete Systeme könnte ein Großteil der noch verbleibenden Abwärme dennoch genutzt werden, z. B. zur Bereitstellung von Prozesswärme mit geringerer Temperatur, von Heiz- und Warmwasser, Fernwärme oder zur Stromerzeugung. Letzteres ermöglicht am Ort des Anfalls thermisch nicht nutzbare Abwärme dennoch einer nahezu universellen Nutzung in Form von elektrischem Strom zuzuführen. Bei elektrischen Thermoprozessanlagen, z. B. Induktionsöfen, werden 20–30 % der eingesetzten elektrischen Energie über das Kühlwasser abgeführt, welches für Heizzwecke (z. B. Fußbodenheizung) oder Warmwasser verwendet werden kann.

Es gibt zwar viele Einzelbeispiele für die Nutzung von industrieller Abwärme, in der Breite der Anlagen wird das Potential aber bei weitem nicht ausgeschöpft, u.a. weil es kaum Standardlösungen gibt und sich die nötigen Investitionen oft nur langfristig amortisieren.

Zur Nutzung der in den heißen Produkten und Materialien enthaltenen Abwärme (bei allen Thermoprozessen 30-60 % der eingesetzten Energie) existieren bisher meist nur Forschungsansätze in einzelnen Branchen sowie zwei Beispielanlagen zur Verstromung von Abwärme. Die Rückgewinnung und Nutzung dieser Abwärme gewinnt besonders bei der nötigen Umstellung von fossilen Brennstoffen auf elektrischen Strom als Energieträger an Bedeutung, weil der Abwärmestrom über das Abgas entfällt oder extrem minimiert wird.

#### *Umsetzung*

- ▶ Konkretisierung der Betreibergrundpflicht zur sparsamen und effizienten Energieverwendung gemäß § 5 Abs. 1 Nr. 4 BImSchG einschließlich einer Verpflichtung zur Umsetzung von Maßnahmen zur Abwärmenutzung.
- ▶ Verbesserung der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für die Rückgewinnung und Nutzung industrieller Abwärme einschließlich der Stromerzeugung aus Abwärme bei kaskadenartiger Abwärmenutzung
- ▶ Erweiterung der KWK-Definition, so dass eine industrielle Thermoprozessanlage inkl. einer Abwärmeverstromungsanlage als eine KWK-Anlage gilt.

<p><b>Effiziente Nutzung von kohlenstoffhaltigen Reststoffen</b></p>
<p><b>Schlüsselmaßnahme</b></p>
<p><i>Inhaltliche Beschreibung</i></p> <p><b>Kohlenstoffhaltige Reststoffe von produzierenden Unternehmen in fester und flüssiger Form sowie in Abgas- und Abwasserströmen sollten nach Möglichkeit auch zur Energiegewinnung genutzt werden, wenn höherwertige Verwendungen bzw. Verwertung im Sinne einer Biomassenkaskadennutzung ausgeschöpft sind. Auch in einer weitgehend treibhausgasneutralen Wirtschaft wird dies noch dazu beitragen, den Bedarf an anderen Energieträgern zu begrenzen.</b></p> <p>Zur Zielgruppe gehören produzierende Unternehmen, in denen kohlenstoffreiche Reststoff- oder Abluft- und Abwasserströme anfallen. Beispielbranchen sind die Nahrungsmittelindustrie, die holzbasierten Branchen (Zellstoff-, Papier-, Säge- und Holzwerkstoffindustrie), die Textilindustrie, die Chemische Industrie sowie die Abfallwirtschaft. Konkrete Anwendungsbeispiele sind die anaerobe Behandlung von hochbelasteten Abwasserströmen oder Restflotten aus der Textilindustrie (CSB &gt;2000 mg/l) oder die Vergärung von organischen Reststoffen, z. B. von getrennt erfassten Bioabfällen, zur Gewinnung von Biogas, oder die Nutzung von Produktionsrückständen aus den genannten Branchen, z. B. von Rinde, Spänen oder faserhaltigen Sortierreststoffen als Brennstoff zur Produktion von Prozesswärme und Strom<sup>30, 31</sup>. Die genannten Reststoffströme werden zum Teil bereits heute energetisch genutzt. Zum Beispiel werden in der Papierindustrie 12,47 TWh<sup>32</sup> pro Jahr aus kohlenstoffhaltigen Reststoffen gewonnen. In allen genannten Branchen werden noch weitere Potentiale gesehen, diese Massenströme und Energieausbeuten zu erhöhen. Zum Beispiel scheitert eine anaerobe Abwasserbehandlung bei geringeren Kohlenstoffgehalten oder bei geringen Volumenströmen bisher oft noch an der Wirtschaftlichkeit. In der Papierindustrie fallen pro Jahr ca. 4,8 Mio. t feuchte Reststoffe<sup>33</sup> an. Der hohe Wassergehalt von Reststoffschlämmen wirkt sich ungünstig auf die Energieausbeute bei der direkten Verbrennung aus. Für 70% dieser niederkalorischen Schlämme mit hohem biogenem Anteil, wäre die Vergärung unter Gewinnung von Biogas die geeignetere Verwertungsmethode.</p> <p>Getrennt gesammelte Bioabfälle werden heute zu 75 % direkt kompostiert, obwohl im EEG 2014 Bioabfallvergärungsanlagen bereits gefördert werden. Nur 25 % werden in Vergärungsanlagen zur Biogasgewinnung in Kombination mit der anschließenden Kompostierung der Reststoffe genutzt. Das zusätzliche Potenzial wird vom UBA auf etwa 1,5 bis 3,7 TWh Strom pro Jahr geschätzt. Um dieses Potenzial zu nutzen, müssen bestehende Kompostierungsanlagen mit einer Vergärungsstufe nachgerüstet werden. Diese Nachrüstung erfordert erhebliche Investitionen, die nicht alleine durch die Vergütung durch das EEG ausgelöst werden können. Um einen Anreiz für die Nachrüstung zu schaffen, ist eine Investitionsförderung sinnvoll.</p>
<p><i>Umsetzung</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Anreize zum Ausbau und Weiterentwicklung der anaeroben Behandlung von kohlenstoffreichen Abwasserströmen</li> <li>▶ Anreize zur Nachrüstung von Bioabfallkompostierungsanlagen durch eine Vergärungsstufe z. B. durch Investitionshilfe aus Mitteln der Nationalen Klimaschutzinitiative</li> </ul>

### 4.3 Handlungsfeld Gebäude

Der Gebäudebereich hat einen erheblichen Anteil am gesamten Endenergieverbrauch in Deutschland. Dieser Anteil lag im Jahr 2013 bei 37,6 %. Hierin enthalten sind 29,4 % für Raumwärme und -kühlung, 5,5 % für die Warmwasserbereitung, 2,6 % für Beleuchtung. Im Vergleich zum Basisjahr 2008 hat sich der Endenergieverbrauch im Gebäudebereich von 960,3 TWh um 0,8 % auf 967,8 TWh erhöht. Mitverantwortlich für dieses Ergebnis sind zwei gegenläufige Tendenzen: Im Wohngebäudebereich ist seit 2008 eine Reduzierung des temperaturbereinigten durchschnittlichen auf die Wohnfläche bezogenen spezifischen Endenergieverbrauchs von 161 kWh/(m<sup>2</sup>a) auf 141 kWh/(m<sup>2</sup>a) festzustellen. Dies entspricht einer Verringerung um ca. 11 %. Gleichzeitig ist die bewohnte Wohnfläche von 2,9 Milliarden Quadratmeter (1996) auf fast 3,4 Milliarden Quadratmeter (2013) gestiegen. Deshalb ist auch nach Wegen zu suchen, den stetigen Zuwachs der Gebäude-Nutzflächen zu dämpfen indem eine effizientere Nutzung im Bestand gefördert wird.

Der Gebäudebereich ist wegen der nach wie vor bestehenden großen Energieeinsparpotenziale eine wichtige Säule deutscher Klimaschutzpolitik. Ziel der Bundesregierung ist es daher, bis zum Jahr 2050 einen nahezu klimaneutralen Gebäudebestand zu erreichen. Hierzu sollen die Gebäude nur noch einen geringen Energiebedarf haben, der überwiegend durch erneuerbare Energien gedeckt wird. Konkret wird eine Senkung des Primärenergiebedarfs des Gebäudebestands um rund 80 % bis 2050 und eine Verdopplung der Sanierungsrate auf 2 % pro Jahr angestrebt. Das angestrebte Ziel lässt sich nur mit einem Bündel von Maßnahmen erreichen. Die Darstellung des Emissionsverlaufs entsprechend der für den Klimaschutzplan 2050 abgesteckten Kategorien ist nicht möglich. Ein Teil der Emissionen (Wohngebäude) ist bereits im Handlungsfeld Energiewirtschaft dargestellt. Im Handlungsfeld „Gebäude“ werden neben Wohngebäuden auch die Gebäude des GHD-Sektors adressiert.

Abbildung 6: Visualisierung der Schlüsselmaßnahmen und Umsetzungsschritte im Handlungsfeld Gebäude



## **Energetische Sanierung von Stadtquartieren**

### **Schlüsselmaßnahme mit flankierender Wirkung**

#### *Inhaltliche Beschreibung*

Stadtquartiere eignen sich besonders gut für die Anwendung integrierter, gebietsbezogener und ökologisch nachhaltiger Strategien zur Umsetzung von Maßnahmen zur Verbesserung des Klimaschutzes. Durch abgestimmte Maßnahmen zur Gebäudesanierung und zur effizienten Energieversorgung einschließlich des Einsatzes erneuerbarer Energien lassen sich grundsätzlich große Treibhausgasminderungspotenziale heben. Allerdings gilt es, in der Praxis mehrere Akteure nicht nur für entsprechende Maßnahmen zu motivieren, sondern auch deren Aktivitäten zu koordinieren. Hierfür eignet sich die Einsetzung eines Koordinators. Die Managementleistung wird derzeit von der KfW über maximal drei Jahre gefördert (KfW-Programm 432). Das ist in der Regel nicht ausreichend und kann zur eingeschränkten Umsetzung der geplanten Sanierungsmaßnahmen oder sogar zum Scheitern führen.

#### *Umsetzung*

- ▶ Anpassung des KfW-Programms 432 durch Förderung der Managementleistung über den gesamten Zeitraum der geplanten Sanierungsmaßnahmen.  
Zielgruppe: Kommunen, private und öffentliche Wohnungsunternehmen

## Langfristige Planung der energetischen Sanierung im Gebäudebereich

### Schlüsselmaßnahme

#### *Inhaltliche Beschreibung*

**Gebäude und Gebäudeteile haben eine vergleichsweise lange Lebensdauer. Es ist daher notwendig, bei der energetischen Sanierung von Gebäuden langfristige Ziele zu verfolgen, um einen nahezu klimaneutralen Gebäudebestand zu erreichen. Um Planungssicherheit für die Investoren zu bieten, muss der rechtliche Rahmen sowie die finanzielle Förderung auf eine verlässliche Grundlage gestellt werden.**

#### *Umsetzung*

Einführung eines Sanierungsfahrplans für Gebäude

Der Sanierungsfahrplan wird im Energiekonzept 2010 der Bundesregierung genannt. Eine Konkretisierung fehlt. Ein wirksamer Sanierungsfahrplan sollte folgende Kernelemente enthalten:

- ▶ Beschreibung des energetischen Zustands von Gebäuden
- ▶ Formulierung des Zielniveaus für Einzelgebäude und für den Gebäudebestand
- ▶ Erarbeitung von Sanierungspfaden für Einzelgebäude oder Quartiere
- ▶ Erarbeitung von Maßnahmen und Instrumenten um eine effizientere Nutzung von Gebäuden zu fördern

## Anpassung der finanziellen Förderung im Gebäudebereich

### Schlüsselmaßnahme

#### *Inhaltliche Beschreibung*

**Gebäude und Gebäudeteile haben eine vergleichsweise lange Lebensdauer. Es ist daher notwendig, dass auch durch die finanzielle Förderung langfristig ein CO<sub>2</sub>-neutraler Gebäudebestand erreicht werden kann. Durch die finanzielle Förderung ist es möglich, zielgenau die notwendigen Emissionsminderungsmaßnahmen anzustoßen. Nicht zuletzt zur Finanzierung von Förderprogrammen muss jedoch eine Balance zwischen der Förderung auf der einen Seite und der fiskalischen Belastung von CO<sub>2</sub>-Emissionen auf der anderen Seite gewahrt werden. Rechnung zu tragen ist auch den Verteilungswirkungen und den sozialen Wirkungen der Gebäudesanierung.**

#### *Umsetzung*

Neugestaltung der Förderprogramme und -möglichkeiten<sup>viii</sup>

- ▶ Gesetzlicher Anspruch auf finanzielle Förderung. Insbesondere für die Sanierung des Gebäudebestandes sind zusätzliche und verlässliche finanzielle Anreize zu schaffen.
- ▶ Für Sanierungen sollte der Schwerpunkt der KfW-Förderprogramme mindestens auf dem KfW-70-Effizienzhaus (2009) oder besser liegen.
- ▶ Für Neubauten sollte bei der KfW ein Förderbaustein für klimaneutrale Gebäude eingerichtet werden.
- ▶ Einzelmaßnahmen sind nur förderwürdig, wenn sie aus einem umfassenden Gebäudekonzept stammen, das zu den Zielen des Sanierungsfahrplans passt, und mittelfristig zu einer vollständigen energetischen Sanierung des Gebäudes führen.
- ▶ Zur Finanzierung des gesetzlichen Förderanspruches zur Gebäudesanierung sollte kurzfristig die Energiebesteuerung erhöht werden, um zu einer besseren Internalisierung von Klimakosten beizutragen (vgl. auch Maßnahmenblatt zur Weiterentwicklung der Energiebesteuerung).
- ▶ Mittelfristig ist zudem eine Gebäude-Klimaabgabe einzuführen. Sie adressiert zielgerichtet Eigentümer, die auch für die Gebäudesanierung verantwortlich sind. Ihre Höhe hängt vom energetischen Zustand des Gebäudes ab. Wichtig ist auch ein sachgerechtes Zusammenspiel der Abgabe mit der Energiebesteuerung und anderen klimapolitischen Instrumenten.
- ▶ Einkommenssteuervergünstigung für Investitionen zur energetischen Gebäudesanierung als einkommensunabhängige Gutschrift. Die steuerliche Vergünstigungen sollten sich an vergleichbaren energetischen Anforderungen (bspw. die der Förderprogrammen der KfW) orientieren
- ▶ Schnellere Absetzbarkeit von Kosten für energetisch sinnvolle Instandsetzungs- und Modernisierungsmaßnahmen, die in den ersten drei Jahren nach Erwerb eines bestehenden Wohngebäudes entstehen. „Anschaffungsnahe Herstellungskosten“ sollten sofort oder über zwei bis fünf Jahre steuerlich berücksichtigt werden können.
- ▶ Finanzielle Verstärkung und Anpassung des Marktanzreizprogramms

<sup>viii</sup> weiterführende Literatur: z. B. Konzepte für die Beseitigung rechtlicher Hemmnisse des Klimaschutzes im Gebäudebereich; UBA: Climate Change 11/13

<p><b>Anpassung des Ordnungsrechts</b></p>
<p><b>Schlüsselmaßnahme</b></p>
<p><i>Inhaltliche Beschreibung</i></p> <p><b>Die Bundesregierung strebt bis 2050 einen nahezu klimaneutralen Gebäudebestand in Deutschland an. Hierzu sind ein sehr niedriger Nutzenergiebedarf und eine möglichst vollständige Deckung des verbleibenden Energiebedarfs mit erneuerbaren Energien notwendig. Das ambitionierte Ziel kann aus Sicht des Umweltbundesamtes nur mit einem Bündel von Instrumenten erreicht werden, das auch Anpassungen des Ordnungsrechts einschließt.</b></p>
<p><i>Umsetzung</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Verschärfung der Anforderungen der Energieeinsparverordnung (EnEV) (ggf. schrittweise, dann aber jetzt schon planbar/absehbar, wie die Schritte aussehen werden)             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Einführung des Passivhausstandards für Neubauten ab 2020.</li> <li>- Senkung des Jahresprimärenergiebedarfs im Bestand auf das Niveau eines Niedrigstenergiegebäudes (30 kWh/a), Steigerung der Nachrüstverpflichtungen für Heizkessel bzw. Heizungssysteme im Bestand.</li> </ul> </li> <li>▶ Stärkung des Vollzugs der EnEV durch die Bundesländer<sup>ix</sup></li> <li>▶ Flankierend zur Anpassung des Ordnungsrechts sollte der Vollzug der EnEV gestärkt werden. Hierzu gehören:             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verbesserte Kontrolle bzw. Vollzug der Dokumentation nach Abschluss der Arbeiten durch Unternehmer- oder Eigentümererklärungen.</li> <li>- Hierzu ggf. (finanzielle) Unterstützung der Bundesländer durch den Bund. (wegen Budgetrestriktionen und Personalknappheit).</li> <li>- Steigerung der Qualifikation von gebäudeplanenden Architekten und Ingenieure durch bundeseinheitliche Regelungen zur Fort- und Weiterbildung, um die Qualität der Energieausweise zu verbessern:</li> <li>- Als Grundlage für die Änderung der EnEV ist im EnEG eine Verordnungsermächtigung zur „Fachkunde für Energieausweise“ zu schaffen.</li> <li>- Entwicklung von alternativen Vollzugskonzepten durch Übertragung der Verantwortung und Kontrolle auf private Dritte (Monitoring/Verifizierung), soweit eine wissenschaftliche Prüfung ergibt, dass sich diese für die Verbesserung des Vollzugs eignen.</li> </ul> </li> <li>▶ Ausdehnung des Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetzes (EEWärmeG) auf Bestandsgebäude</li> <li>▶ Festlegung von Ausbauzielen für die erneuerbaren Energien im Wärmebereich über 2020 hinaus</li> </ul>

<sup>ix</sup> weiterführende Literatur: Energiebezogene Qualifikation der Planerinnen und Planer für Gebäude Teilbericht 1: Rechtliche Hemmnisse für den Klimaschutz bei der Planung von Gebäuden Climate Change14 /2015

<p><b>Regionale Beratungsnetzwerke für die Gebäudesanierung</b></p>
<p><b>Schlüsselmaßnahme mit flankierender Wirkung</b></p>
<p><i>Inhaltliche Beschreibung</i></p> <p><b>Um die Ziele, die die Bundesregierung im Rahmen der Energiewende für den Gebäudebestand festgelegt hat zu erreichen, reichen Sanierungsquote und Sanierungstiefe nicht aus. Die Ursachen hierfür sind vielfältig. Eine wichtige Rolle spielen informatorische Hemmnisse.</b></p> <p>Die Verbreitung regionaler Beratungsnetzwerke für die Gebäudesanierung kann informatorische Hemmnisse beheben oder abschwächen, die vollständige „Beratungskette“ von der Erstansprache bis zur Evaluation abdecken sowie die Anzahl und Qualität energetischer Sanierungen verbessern. Ein Beratungsnetzwerk nimmt eine gewerkeübergreifende, beratende und qualitätssichernde Funktion wahr, indem es Verbraucherinformationen bündelt, gezielte Öffentlichkeitsarbeit entlang der gesamten Beratungskette durchführt und die Weiterbildung seiner Mitglieder sicherstellt.</p> <p>Solche Netzwerke gibt es bereits in einzelnen Regionen, in denen günstige Umstände zu deren Gründung und Weiterentwicklung führten; von den positiven Erfahrungen (z. B. konnte in Detmold die Sanierungsquote auf 8 % gesteigert werden) sollten auch andere Regionen im Bundesgebiet profitieren. Daher sollten regionale Beratungsnetzwerke für die Gebäudesanierung mit zwei Schwerpunkten gefördert werden:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Aufbau, Etablierung und Weiterentwicklung eines regionalen Beratungsnetzwerkes,</li> <li>2) Durchführung von Maßnahmen bei Erstansprache oder Initialberatung.</li> <li>3) Unterstützung von Initiativen zur Förderung des Wohnungstauschs oder neuer Wohnformen, die eine effizientere Belegung von Wohnraum begünstigen. <sup>x</sup></li> </ol>
<p><i>Umsetzung</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Pilotphase mit der Förderung von z. B. 5 bis 6 Netzwerken, um ausreichend Erfahrung zu sammeln (Auswahl in Bewerbungsverfahren).</li> <li>▶ Bundesweite Förderung der Netzwerke.</li> </ul>

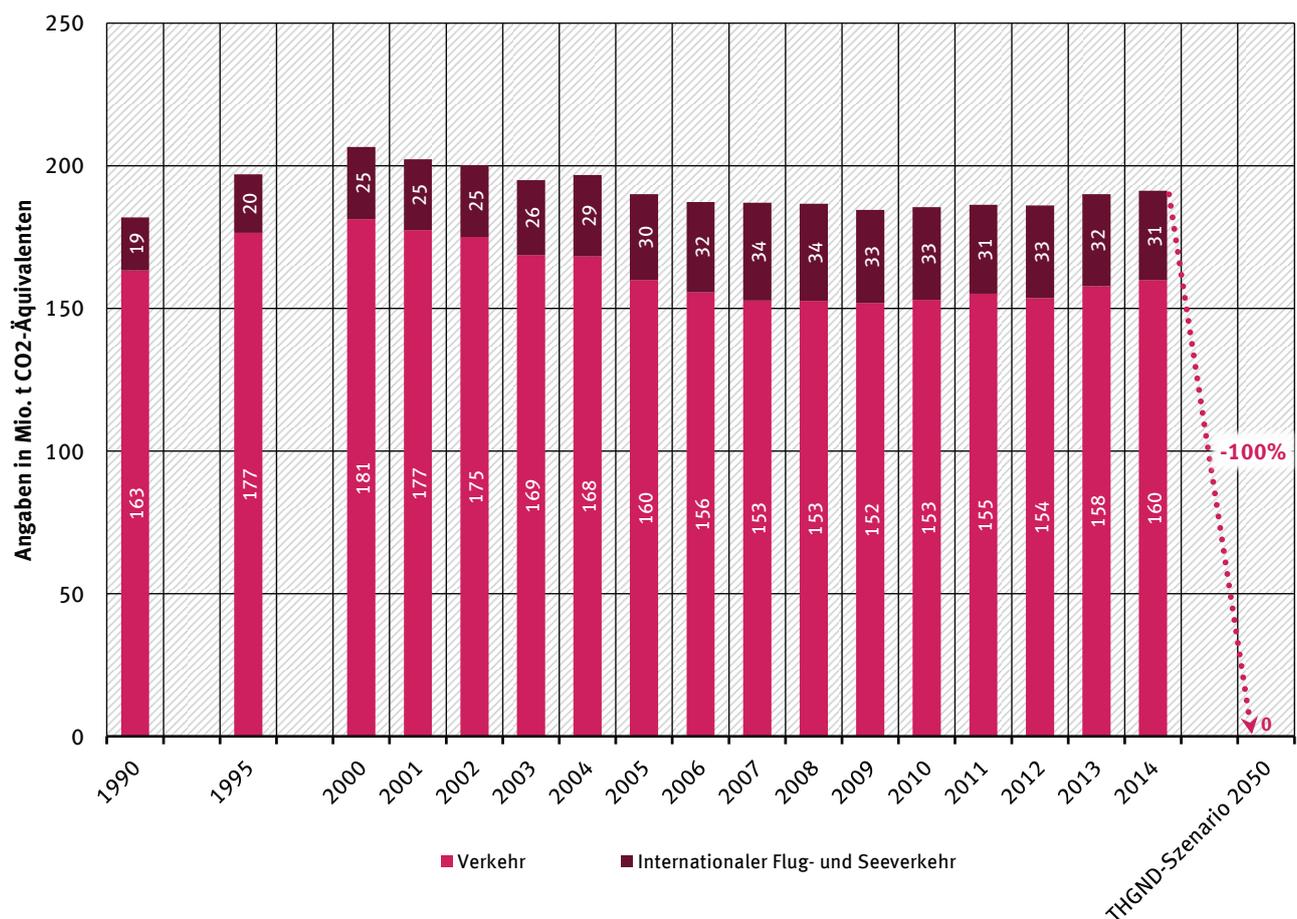
<sup>x</sup> weitere Informationen: NABU-Leitfaden zum Aufbau regionaler Beratungsnetzwerke ([http://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/energie/nabu-leitfaden\\_energetische\\_geb\\_\\_udesanierung.pdf](http://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/energie/nabu-leitfaden_energetische_geb__udesanierung.pdf)); Ecofys/Wuppertal Institut, Wirkungsanalyse bestehender Klimaschutzmaßnahmen und -programme (FKZ 3711 41 118), noch unveröffentlicht; UBA-Bericht „Regionale Beratungsnetzwerke für die Gebäudesanierung“ (August 2015)

## 4.4 Handlungsfeld Verkehr

Emissionen im Sektor Verkehr resultieren aus der Kraftstoffverbrennung im Straßen-, Schienen- sowie dem nationalen Schiffs- und Flugverkehr. Im Sektor Verkehr ist sowohl der landwirtschaftliche Kraftstoffeinsatz nicht enthalten<sup>xi</sup>, als auch die THG-Emissionen des internationalen Luftverkehrs und der Seeschifffahrt nicht erfasst. Für letztere wird jedoch ein kontinuierliches Wachstum prognostiziert. Deshalb ist es notwendig, auch diese Bereiche in nationale Zielfestlegungen sowie in die Diskussion der Maßnahmen einzubeziehen. Wesentlichen Einfluss auf die Treibhausgasemissionen in diesem Sektor haben der Verkehrsaufwand, der Energieverbrauch sowie die eingesetzten Kraftstoffe.

Der nationale Verkehr hatte 1990 mit 163 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. einen Anteil von 13 % an den nationalen THG-Emissionen. Zwischen 1990 und 1999 stiegen die Verkehrsemissionen bis zum Höchstwert von 185 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. an. Nach einem zwischenzeitlichen Rückgang, nehmen die Emissionen seit 2010 wieder kontinuierlich zu und haben 2014 mit 160 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. das Niveau von 1990 leicht unterschritten. Der Anteil an den Gesamtemissionen hat sich – aufgrund der Minderungserfolge in den anderen Sektoren – von 13 % auf mittlerweile 18 % erhöht.

Abbildung 7: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor in der Abgrenzung der Sektoren des Aktionsprogrammes Klimaschutz 2020 sowie aus dem internationalen Flug- und Seeverkehr von Deutschland ins Ausland



Im Gegensatz zu anderen Sektoren sind somit die vom Verkehr ausgehenden CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland seit 1990 nicht gesunken. Der Anstieg des Verkehrsaufwands kompensiert die erfolgsfahrzeugspezifischer Emissionsminderungen vollständig. Speziell der Flugverkehr und der Güterverkehr verzeichnen dauerhaft hohe Wachstumsraten. Die erhöhte Klimawirkung des Flugverkehrs

<sup>xi</sup> Dieser wird im Sektor Landwirtschaft bilanziert.

durch Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekte in großen Flughöhen bleibt bei konventioneller Technik (Verbrennung von Kraftstoffen in Turbinen) bestehen und verschärft den Handlungsdruck.

Um sektorübergreifend eine THG-Minderung von 95 % bis zum Jahr 2050 in Deutschland zu erreichen, muss der Verkehr nahezu THG-neutral sein. Voraussetzung hierfür ist *erstens*, dass der Verkehr seinen Endenergieverbrauch deutlich senkt. Daher müssen bereits heute weitergehende Maßnahmen zur Senkung seines Energiebedarfs ergriffen werden. Das bereits bestehende Endenergieverbrauchsziel für den Verkehr in Deutschland (-40% bis 2050 gegenüber 2005) sollte die Bundesregierung daher weiter verschärfen und zusätzliche ambitionierte Zwischenziele für die Jahre 2030 und 2040 formulieren. Anspruchsvolle Endenergieverbrauchsziele im Verkehr sind jedoch alleine mit fahrzeugseitigen Effizienzsteigerungen nicht erreichbar. Erst die Kombination mit Maßnahmen zur Verkehrsvermeidung und -verlagerung im Rahmen einer „Verkehrswende“ ermöglicht, die Energienachfrage des Verkehrs bis 2050 in erforderlicher Weise abzusenken.

*Zweitens* muss der Verkehr auf treibhausgasneutrale Energieträger umgestellt werden. Fossile Energieträger wie Benzin, Kerosin und Diesel haben langfristig ausgedient. Die Zukunft liegt bei der direkten Nutzung von regenerativem Strom für Elektromobilität und –bei der Nutzung von stromgenerierten Kraftstoffen (PtG und PtL), wo Elektromobilität nicht realisierbar ist (z. B. internationaler Flug- und Seeverkehr) oder zur Sicherung hoher Fahrweiten zusätzlich zum Elektromotor ein Verbrennungsmotor notwendig ist. Mit diesen THG-neutralen Energieträgern muss jedoch sparsam umgegangen werden, da diese nur begrenzt verfügbar sind und zudem sehr teuer sein werden.

Ein enges Zusammenspiel von Verkehrswende (Vermeiden/Verlagerung/Verbessern der Effizienz) einerseits und der Energiewende im Verkehr andererseits ist somit entscheidend für die Erreichung anspruchsvoller Klimaschutzziele.

Abbildung 8: Visualisierung der Schlüsselmaßnahmen und Umsetzungsschritte im Handlungsfeld Verkehr



<p><b>Verkehrsvermeidung</b></p> <hr/> <p><b>Schlüsselmaßnahme</b></p> <hr/> <p><i>Inhaltliche Beschreibung</i></p> <p><b>Verkehrsvermeidung steht nicht zwingend für Verzicht. Vielmehr sollen Wege durch veränderte Siedlungs- und Produktionsstrukturen verkürzt oder die Anzahl der Fahrten durch eine höhere Fahrzeugauslastung reduziert werden. Weniger und kürzere Wege tragen nicht nur zum Klimaschutz bei, sondern erhöhen die Lebensqualität gerade in Städten. Verkehrsvermeidung erfordert aber auch den richtigen Rahmen: Eine integrierte, flächensparende Stadt-, Raum und Verkehrsplanung, ordnungspolitische Vorgaben sowie finanzielle Anreize.</b></p> <p>Ein bestimmtes Maß an Mobilität und Güterversorgung lässt sich mit einem hohen oder auch geringen Verkehrsaufwand erreichen. Entscheidend sind nicht die gefahrenen Kilometer, sondern alleine die Erreichbarkeit der aufgesuchten Ziele. Aufgabe der Politik ist daher, die Aktivitätsziele der Menschen wohnortnah zu gestalten („Stadt und Region der kurzen Wege“). Denn wo wir wohnen, arbeiten und einkaufen bestimmt ganz entscheidend, wie weit unsere täglichen Ziele auseinander liegen. In einer „Stadt und Region der kurzen Wege“ können alltägliche Wege mit geringem Zeitaufwand auch ohne Auto bewältigt werden – beispielsweise gesund mit dem Rad oder zu Fuß oder umweltfreundlich mit Bussen und Bahnen.</p> <p>Nötig ist dazu eine kompakte Siedlungsstruktur, eine umweltverträgliche Nutzungsmischung und die attraktiven Gestaltung des Wohnumfelds und der öffentlichen Räume – etwa durch Verkehrsberuhigung, reduzierte Geschwindigkeiten (Regelgeschwindigkeit von 30 km/h in Städten) und Parkraummanagement. Neben einer integrierten Stadt-, Raum- und Verkehrsplanung unterstützt das Flächenschutzziel von „30 ha/Tag bis 2020“<sup>34</sup> das Leitkonzept „Stadt und Region der kurzen Wege“. Denn neue Siedlungsflächen führen i.d.R. zu weiten Wegen und damit zu mehr Verkehr.</p> <p>Auch im Güterverkehr entlasten kürzere Transporte das Klima: Finanzielle Anreize für regionale Produktions- und Versorgungsstrukturen helfen Güterverkehre zu vermeiden. Die Wirtschaftsförderung sollte so ausgerichtet sein, dass Verkehre vermieden werden. Da Maßnahmen zur Veränderung der Siedlungs- und Produktionsstrukturen nur sehr langsam Wirkung zeigen, ist es erforderlich schon heute politisch zu handeln, um langfristig – bis 2050 – Raum- und Produktionsstrukturen, die den Verkehrsaufwand durch kürzere Wege und Transportweiten mindern, zu schaffen.</p> <p>Höhere Auslastung reduzieren die Anzahl der Fahrten und Transporte und tragen zur Verkehrsvermeidung bei. Zwar kann durch eine gezielte Förderung (z. B. von Fahrgemeinschaften oder innovative City-Logistikkonzepte) der Rahmen hierfür gelegt werden. Entscheidender sind aber finanzielle Anreize. Eine Erhöhung der Energiesteuer auf Kraftstoffe sowie eine fahrleistungsabhängige Maut, die Wegekosten und externe Kosten vollständig anlastet, unterstützen nicht nur die Verkehrsverlagerung, sondern vermeiden unnötige Fahrten und erhöhen die Auslastung der Fahrzeuge.</p> <hr/> <p><b>Umsetzung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Neuorientierung der Raum- und Verkehrsplanung hin zur „Stadt und Region der kurzen Wege“</li> <li>▶ Einführung von Tempo-30 als Regelgeschwindigkeit in Städten bis 2030</li> <li>▶ Stärkung der Städte bei der Umsetzung einer weitreichenden Parkraumbewirtschaftung</li> <li>▶ Stärkung regionaler Wirtschaftskreisläufe durch finanzielle Anreize für regionale Produktions- und Versorgungsstrukturen sowie Wirtschaftsförderung mit Verkehrsauswirkungsprüfung</li> <li>▶ Förderung von Fahrgemeinschaften und innovativen City-Logistikkonzepten</li> <li>▶ Handel mit Flächenzertifikaten als bundeseinheitliches Instrument zum Flächensparen</li> <li>▶ Erhöhung der Energiesteuer auf Kraftstoffe (Bemessung auf Basis des Kohlenstoffgehalts)</li> <li>▶ Weiterentwicklung der Maut: fahrleistungsabhängig, nach Wege- und Umweltkosten gespreizt, für Lkw, Reisebus und Pkw auf allen Straßen</li> </ul>
---

<b>Verkehrsverlagerung</b>
<b>Schlüsselmaßnahme</b>
<p><i>Inhaltliche Beschreibung</i></p> <p><b>Fahrten im Umweltverbund (Fuß, Fahrrad, Carsharing, Bus, Bahn) verursachen deutlich weniger Treibhausgasemissionen als mit dem Auto. Gütertransporte mit Schiff und Bahn sind klimafreundlicher als mit Lkw und Flugzeug. Ziel der Politik muss daher sein, möglichst viele Transporte auf energiearme und damit THG-arme Verkehrsmittel zu verlagern. Neben attraktiven Angeboten sind hierzu die notwendigen Kapazitäten – speziell im Schienenverkehr – zu schaffen.</b></p> <p>Verkehr kann nur dann verlagert werden, wenn auch die entsprechenden Angebote vorhanden sind – dies gilt für den Personen- und Güterverkehr gleichermaßen. Speziell der Umweltverbund sollte stärker als bisher gefördert und besser miteinander verknüpft werden. Um den Umstieg vom Pkw auf Fahrrad, Pedelec oder Lastenrad zu erleichtern, muss die Radverkehrsinfrastruktur in Deutschland besser werden. Es fehlen vielerorts Radschnellwege und gut ausgebaute Radwege in hoher Qualität. Parallel können steuerliche und ordnungsrechtliche Anreize – z. B. eine Fahrrad-Stellplatzpflicht helfen, den Radverkehr attraktiver zu machen.</p> <p>Ein kostengünstiger ÖPNV im Verbund mit Fuß- und Radverkehr sowie Car-Sharing sowie ein wettbewerbsfähiger Bahnfernverkehr sind unverzichtbare Bestandteile einer klimafreundlichen Mobilität. Dies setzt eine leistungsfähige Infrastruktur und eine planungssichere und ausreichende Finanzierung auf Bundes- und Länderebene voraus. Die Empfehlungen der „Daehre-Kommission und der Bodewig-Kommission“ sind daraufhin zu prüfen. Konkret schlagen diese einen Infrastrukturfond zur Finanzierung für Straße, Schiene und Wasserstraße vor. Dabei soll sich die Finanzierung künftig zuerst auf den Erhalt der Infrastruktur und erst danach auf Neu- oder Ausbaumaßnahmen konzentrieren. Um die verschiedenen Verkehrsmittel wie Bus, Bahn, Carsharing und Fahrrad besser zu verknüpfen, sind die Fördergelder zur Einrichtung von Schnittstellen und Verbesserung der Umstiege aus der so genannten „Kommunalrichtlinie“ bis 2030 zu verstetigen.</p> <p>Die Verlagerung von Gütertransporten auf die Schiene setzt die Ertüchtigung und den Ausbau des Schienennetzes voraus. Kurzfristig können betriebliche Maßnahmen (z. B. optimierte Leit- und Sicherungstechnik, Blockverdichtungen oder Harmonisierung der Geschwindigkeiten) und kleinere infrastrukturelle Maßnahmen (z. B. Bau von Überholgleisen oder Verbindungskurven) die Netzkapazitäten erhöhen. Mittelfristig müssten über 700 Strecken-km neu gebaut und über 800 Strecken-km elektrifiziert werden, um eine Verdopplung des Schienenverkehrs bis zum Jahr 2030 zu ermöglichen. Dazu sind Finanzmittel von rund 11 Mrd. € nötig. Allerdings setzt eine stärkere Verlagerung auf die Schiene auch Gleisanschlüsse und Umschlagsterminals im kombinierten Verkehr als auch verstärkte Anstrengungen zum Lärmschutz voraus (zusätzlich zur Bremsen-Umrüstung).</p>
<p><i>Umsetzung</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Stärkung des Umweltverbundes: Ausbau und Verbesserung des ÖPNV-Angebots, bessere Vernetzung der Verkehrsmittel, Förderung Rad- und Fußverkehr durch Radverkehrsinfrastruktur und steuerliche Anreize/ordnungspolitische Vorgaben, Einrichtung von Mobilitätszentralen</li> <li>▶ Förderung des betrieblichen und kommunales Mobilitätsmanagements</li> <li>▶ Netzausbau im Schienengüterverkehr, Verstetigung der Förderung von Kombinierten Verkehr und Gleisanschlüssen</li> <li>▶ Weiterentwicklung der Maut: fahrleistungsabhängig, nach Wege- und Umweltkosten gespreizt, für Lkw, Reisebus und Pkw auf allen Straßen</li> <li>▶ Abbau von klimaschädlichen Subventionen (Befreiung von Kerosin von der Energiesteuer, Mehrwertsteuerbefreiung im internationalen Flugverkehr, Anpassung der Dienstwagenbesteuerung, Abschaffung der Entfernungspauschale)</li> </ul>

<p><b>Verbesserung der technischen Effizienz der Verkehrsträger</b></p>
<p><b>Schlüsselmaßnahme</b></p>
<p><i>Inhaltliche Beschreibung</i></p> <p><b>Die Bundesregierung soll sich dafür einsetzen, dass ordnungsrechtliche Instrumente ähnlich den technikneutralen Flottenzielwerten bei neu zugelassenen Pkw und leichte Nutzfahrzeug (LNfz) EU-weit insbesondere auch für schwere Nutzfahrzeuge (SNfz), weltweit für Flugzeuge und Schiffe eingeführt werden, um deren Effizienzpotenziale auszuschöpfen. Das Ziel den Endenergieverbrauch um 40 % bis 2050 gegenüber 2005 zu senken ist ambitionierter auszugestalten (-60%) und durch ein Zwischenziel für 2030 zu ergänzen (-30 % bis 40%).</b></p> <p>Im Land-, Luft- und Seeverkehr sollte durch verbindliche Instrumente (z. B. des Ordnungsrechtes) die Effizienz der Verkehrsträger schon bis 2030 deutlich schneller und zu einem ambitionierteren Zielwert hin verbessert werden, als nach aktuellem Trend. Die Verbesserung der technischen Effizienz der einzelnen Verkehrsträger spart Energie, vermeidet CO<sub>2</sub>-Emissionen und ist eine Grundvoraussetzung für die Erreichung des langfristigen Zieles der Dekarbonisierung des Verkehrs.</p> <p>Bei Pkw und LNfz mit konventionellen Antrieben besteht langfristig ein Potenzial von bis ca. 50 % zur Senkung des spezifischen Endenergieverbrauchs. Schlüsseltechniken sind eine teilweise Elektrifizierung des Antriebsstrangs, hocheffiziente Antriebe und konsequenter Leichtbau. Diese Entwicklungen können durch eine Verschärfung der Flottenzielwerte gefördert werden. Weiterhin soll eine umfassende Regulierung des Gesamtenergieverbrauchs bei Neuzulassungen unter realen Fahrbedingungen erfolgen und ein effizienter Stromverbrauch von (teil-)elektrischen Pkw gefordert werden. Aufgrund des Wachstums des Straßengüterverkehrs muss die technische Energieeffizienz der SNfz zeitnah verbessert werden. Selbst ohne alternative Antriebe und Kraftstoffe ergeben sich technische Energieeinsparpotenziale von bis zu 20 % im Fernverkehr gegenüber Neufahrzeugen des Jahres 2015. Ansätze sind z. B. die Optimierung von Antriebstrang, Fahrzeuggewicht und Nebenverbrauchern sowie die Verbesserung von Aerodynamik und Rollwiderstand.</p> <p>Der Flugverkehr verursacht inkl. nicht-CO<sub>2</sub>-Effekten ca. 5 % des globalen Effektes zur Erderwärmung. Im Luftverkehr reicht die Kraftstoffverbrauchsminderung derzeit nicht aus, um die weltweit wachsende Zahl der Flüge zu kompensieren. Die Internationalen Zivilluftfahrtorganisation ICAO prognostizierte einen jährlichen Anstieg des Verkehrsaufwandes von ca. 4 - 5 % bis 2030. Einsparpotentiale und klimaverträglichere Techniken, wie z. B. klimaoptimierte Flugzeugdesigns, langsames Fliegen und angepasste Flugrouten werden international nicht hinreichend berücksichtigt und könnten weitere Minderungen ermöglichen. Der Schiffsverkehr werden die jährlichen Wachstumsraten für den Verkehrsaufwand von der IMO auf 2 bis 3 % geschätzt. Durch technische und operative Maßnahmen gibt es noch große Energieeffizienzpotenziale von ca. 40-60 %.</p>
<p><i>Umsetzung</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Der CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwert für die Pkw-Neuwagenflotte sollte EU-weit für das Jahr 2025 auf 65 bzw. 75 g CO<sub>2</sub> pro km und für LNfz auf 95 bis 110 g CO<sub>2</sub> pro km festgelegt werden (im WLTP)</li> <li>▶ Festlegung von ambitionierten CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwerte für SNfz bis 2030 (basierend auf VECTO; -20% geg. 2015) und Differenzierung der Lkw-Maut auf Basis der CO<sub>2</sub>-Emissionen</li> <li>▶ Zur Bewertung der Effizienz von Elektrofahrzeugen sollte die bestehende CO<sub>2</sub>-Regulierung mittelfristig zu einer Energieeffizienzregulierung weiterentwickelt bzw. um diese ergänzt werden<sup>xii</sup></li> <li>▶ Förderung einer ambitionierten Effizienzentwicklung im Luft- und Seeverkehr durch EU-weite/ weltweite Einführung ordnungsrechtlicher Instrumente oder marktbasierter Maßnahmen</li> </ul>

<sup>xii</sup> UBA-Texte 95/2013: Konzept zur zukünftigen Beurteilung der Effizienz von Kraftfahrzeugen

## Umstellung auf alternative Antriebe (insbesondere Elektromobilität)

### Schlüsselmaßnahme mit flankierender Wirkung

#### *Inhaltliche Beschreibung*

**Einige alternative Antriebe können den Endenergiebedarf des Verkehrs deutlich reduzieren. Elektrofahrzeuge ermöglichen neben synthetischen, stromerzeugten Kraftstoffen eine Transformation hin zu einer treibhausgasneutralen Energieversorgung des Verkehrs. Die direkte Nutzung erneuerbar erzeugten Stromes in Elektrofahrzeugen ist im Allgemeinen der effizienteste und kostengünstigste Pfad, so dass landgebundene Fahrzeuge – soweit technisch möglich – auf elektrische Antriebe umgestellt werden sollten.**

Die Elektrifizierung bietet aufgrund der hohen Effizienz der Motoren ein großes technisches Minderungspotential des Endenergiebedarfs. Schon heute ergibt sich ein Vorteil für Elektrofahrzeuge gegenüber konventionellen Fahrzeugen, solange der CO<sub>2</sub>-Gehalt im Bezugsstrom unter 700 g CO<sub>2</sub>-Äq./kWh liegt. Eine Förderung der Elektromobilität, die über das EmoG hinausgeht, wird empfohlen, um das Ziel der Bundesregierung von 6 Millionen Elektrofahrzeugen in 2030 sicher zu erreichen. Die rechtzeitige Elektrifizierung des bodengebundenen Verkehrs ist erforderlich, um den notwendigen Bedarf an erneuerbar erzeugtem Strom zur Erreichung einer THG-neutrale Versorgung des Verkehrs zu minimieren. Auch der Einsatz von Plug-in-Hybriden im Nah- und Lieferverkehr mit Lkw soll im Zeitrahmen bis 2030 initiiert werden. Flankierende Maßnahmen z. B. der Aufbau einer Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge sollten intensiv weiter verfolgt werden.

Bis 2030 soll die Technik des Oberleitungshybrid-Lkw (OH-Lkw) für den Straßengüterfernverkehr weiterentwickelt und praktische Erfahrungen gesammelt werden, da auch diese eine effiziente THG-neutrale Versorgung ermöglicht. Sollte sich die Technik in Feldversuchen bewähren, sollte der Aufbau der Oberleitungsinfrastruktur vor 2030 begonnen werden. Die Entwicklung des OH-Lkw sollte nicht dazu führen, dass der Schienenverkehr schlechter finanziert wird. Insbesondere dürfen Investitionen für den Aufbau Infrastruktur für den OH-Lkw nicht zu Minderinvestitionen in die Schiene führen. Beide Systeme sollten aufgebaut bzw. weiter ertüchtigt werden um das langfristig zu erwartende, starke Wachstum im Güterfernverkehr langfristig THG-neutral zu transportieren.

Durch die Elektrifizierung des Verkehrs ergibt sich eine Kopplung mit dem Stromsektor. Diese ist für leitungsgebundene Fahrzeuge deutlich direkter als für Elektrofahrzeuge mit Batterien. Der Strombedarf der Elektromobilität in all ihren Formen sollte von Anfang an durch zusätzliche erneuerbare Energieerzeugungsanlagen bereitgestellt werden, da nur dann verhindert werden kann, dass der Einsatz von Elektrofahrzeugen zu mehr CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland führt.

Auch für andere Verkehrsträger kann eine Umstellung auf alternative Antriebe notwendig werden (z. B. verflüssigter Wasserstoff oder Erdgas im Straßengüterfernverkehr – insoweit OH-Lkw sich nicht durchsetzen – oder bei der Seeschifffahrt), wenn die THG-neutrale Energieversorgung dieses Pfades besonders energie- oder kosteneffizient ist.

#### *Umsetzung*

- ▶ Einführung bzw. Fortführung von finanziellen Fördermaßnahmen zum Markthochlauf der Elektromobilität (Pkw/LNfz/Lkw-Nahverkehr) für den Zeitraum bis 2030 (aufkommensneutral z. B. in Form eines Bonus-Malus-Systems, ggf. in Kombination mit Quoten für Neuzulassungen)
- ▶ Die Bundesregierung sollte die Weiterentwicklung des OH-Lkw zur umsetzbaren Option fördern und diese Technik bei weiterhin guten Aussichten umsetzen; dazu sollte mit dem Infrastrukturaufbau deutlich vor 2030 begonnen werden (ohne Nachteile für Schieneninfrastruktur)
- ▶ Wo notwendig, sollte die Bundesregierung die Umstellung auf alternative Antriebe für nicht elektrifizierbare Verkehrsträger in Abhängigkeit der Investitionszyklen und Marktdurchdringungsraten fördern, um diese langfristig THG-neutral versorgen zu können.

## Umstellung auf eine treibhausgasneutrale Energieversorgung des Verkehrs

### Schlüsselmaßnahme

#### *Inhaltliche Beschreibung*

**Die THG-Minderungslücke im Verkehr bis zum Jahr 2050, die sich nach der Anwendung nicht-technischer Ansätze und technischer Maßnahmen zur Effizienz ergibt, sollte durch den Einsatz erneuerbar erzeugten Stromes und stromerzeugter, synthetischer Kraftstoffe (PtG und PtL) geschlossen werden. Unter den THG-neutralen Energieversorgungsoptionen des Verkehrs sollten energie-, kosten- und ressourceneffiziente Pfade umgesetzt und rechtzeitig vorbereitet werden, dies gilt national aber auch vor dem Hintergrund globaler Wirtschaftsnetzungen international.**

Im Fall der direkten Stromnutzung sollte die Umstellung auf eine THG-neutrale Versorgung erfolgen, indem der Strom für Elektrofahrzeuge perspektivisch ausschließlich aus erneuerbaren Quellen stammt. Für andere Verkehrsträger, die aus technischen Gründen nicht ausschließlich direkt elektrisch versorgt werden können, d.h. für Plug-in-Hybride, ggf. auch Lkw im Straßengüterfernverkehr sowie den Flug- und Schiffsverkehr werden stromgenerierte synthetische Energieträger (PtG oder PtL) benötigt. Als flankierende Maßnahme ist es wichtig die Fahrzeugflotten rechtzeitig auf die notwendigen, ggf. alternativen Antriebe umzustellen (siehe Maßnahme *Umstellung auf alternative Antriebe*). Nach aktuellem Kenntnisstand erscheinen im Verkehr v.a. die Nutzung von PtG-Methan und PtL kosteneffiziente Pfade zu sein, die intensiv weiter verfolgt werden sollten. Biogene Kraftstoffe aus Reststoffen können nach aktuellem Kenntnisstand die notwendigen THG-Minderungsraten nicht erfüllen. Kraftstoffe, hergestellt aus Anbaubiomasse, sind zudem aus Sicht des UBA keine Option für eine nachhaltige Energieversorgung des Verkehrs.

Schon heute ist vorherzusehen, dass sich große Kraftstoffbedarfe insbesondere für den internationalen Verkehr (Luft- und Seeschifffahrt) ergeben, die durch die nationalen Klimaziele bisher nicht erfasst werden. Die Bundesregierung sollte auch für diese Verkehre eigene Klimaschutzziele erarbeiten und umsetzen, um diese stark wachsenden Bereiche nicht aus den Bemühungen um den Klimaschutz auszuklammern. Auf internationaler Ebene sollte sie sich dafür einsetzen, dass auch international ambitionierte Ziele für diese Verkehrsmittel vereinbart und Strategien für deren treibhausgasneutrale Versorgung entwickelt werden.

Der THG-Minderungsbeitrag der Energieversorgungsoptionen ist im höchsten Maße vom genutzten Strom abhängig. Wichtig ist, langfristig die ausschließliche Nutzung von erneuerbarem Strom. Die Entwicklungen von weniger effizienten Techniken zur Bereitstellung von Endenergie, wie PtG und PtL, ist aufgrund ihrer Notwendigkeit im Verkehr mittelfristig bis 2030 intensiv voranzutreiben, um deren langfristige Verfügbarkeit zu gewährleisten.<sup>35</sup> Gleichwohl können große Anteile der benötigten stromerzeugten Kraftstoffe an EE-Gunststandorten hergestellt und importiert werden.

#### *Umsetzung*

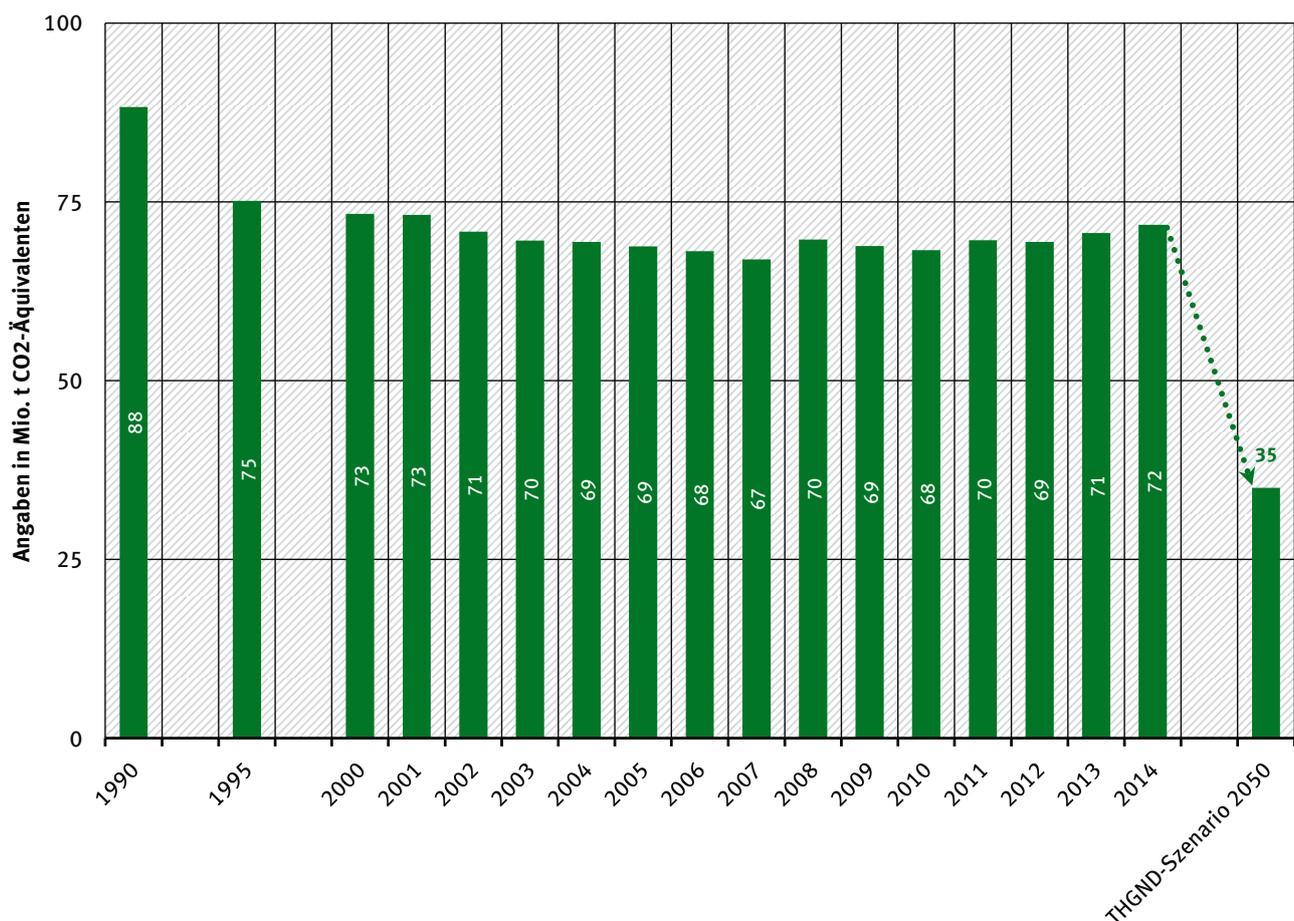
- ▶ Die Bundesregierung sollte die aus Effizienzgründen sinnvolle und rechtzeitige Verfügbarkeit der stromerzeugten Kraftstoffe und der entsprechenden Verkehrsträger, die diese nutzen können, sicherstellen. Siehe auch Förderung der PtG/PtL-Technik in Maßnahme „Sektorkopplung“.
- ▶ Initiierung eines rechtzeitigen Aufbaus der benötigten Infrastrukturen durch die Bundesregierung (Ladesäulen, Tankstellen), mindestens wie im Rahmen der RL 2014/94/EU empfohlen
- ▶ Verstärkte Integration von PtG und PtL im Verkehr ab einem CO<sub>2</sub>-Gehalt im Bezugsstrom von unter 120 g CO<sub>2</sub>-Äq./kWh.
- ▶ Es sollten international ambitionierte Ziele für den internationalen Verkehr vereinbart, eine Strategien entwickelt und darauf aufbauend eine internationale treibhausgasneutrale Versorgung im Verkehr umgesetzt werden.

## 4.5 Handlungsfeld Landnutzung, Land- und Forstwirtschaft

Zu den landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen gehören die verdauungsbedingten Methan-Emissionen aus der Tierhaltung, die Düngerwirtschaft, d.h. Methan und Lachgasemissionen aus der Wirtschaftsdüngerlagerung sowie Lachgas-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden. Hierzu gehören Lachgasemissionen aus der Düngung, aus der Umsetzung von Ernterückständen, aus gasförmigen N-Verlusten sowie N-Austrägen ins Grund- und Oberflächenwasser und Lachgasemissionen aus der Mineralisierung von Moorböden. Hinzu kommen Kohlendioxidemissionen landwirtschaftlicher Betriebe und des Kraftstoffeinsatzes.

Von 1990 bis 2013 sind die THG-Emissionen im Sektor Landwirtschaft von 88 auf 71 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq und damit um 19 % zurückgegangen. Dies ist vor allem Folge der abnehmenden Tierbestände in Ostdeutschland nach der Wiedervereinigung. Im Jahr 2014 betragen sie insgesamt rund 72 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Damit hat sich der Anteil der Landwirtschaft an den Gesamtemissionen an THG von 7 auf 8 % erhöht. Durch die Reduktion der THG-Emissionen in anderen Sektoren wird der Anteil landwirtschaftlicher Emissionen an den Gesamtemissionen künftig steigen. Für die Landwirtschaft besteht daher dringender Handlungsbedarf hinsichtlich der Erreichung der Klimaschutzziele.

Abbildung 9: Entwicklung der Treibhausgasemissionen in der Landwirtschaft in der Abgrenzung der Sektoren des Aktionsprogrammes Klimaschutz 2020



Die Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden (zum Beispiel durch Grünlandumbruch) sowie die Emissionen und Einbindung durch Kohlenstoffspeicherung in der Forstwirtschaft werden bisher nicht in die Bewertung der Zielerreichung beim Klimaschutz einbezogen. Mittelfristig sollten die Potenziale für zusätzliche Klimaschutzmaßnahmen in diesem Bereich in den Blick genommen werden. Dabei sollten solche Maßnahmen im Mittelpunkt stehen, die besonders effizient sind, positive Beiträge zu anderen agrarumweltpolitischen Zielen leisten und für die bereits politische Ziele festgelegt

worden sind. Die Bilanzierung der Emissionen in diesem Bereich ist jedoch – verglichen mit den anderen Sektoren – mit erheblichen methodischen Schwierigkeiten verbunden.

Effiziente Klimaschutzmaßnahmen in der Landwirtschaft zeichnen sich ganz allgemein durch geringe THG-Minderungskosten bei nachhaltiger Maßnahmenwirkung aus. Besonders effizient sind Maßnahmen, mit denen die Effizienz des Stickstoffeinsatzes erhöht wird. Denn dadurch können nicht nur Produktionskosten eingespart werden, sondern es bestehen außerdem Synergien mit anderen großen landwirtschaftlich verursachten Umweltproblemen wie der Belastung von Grund- und Oberflächengewässer mit Nitrat, Stickstoffemissionen sowie negative Effekte auf die biologische Vielfalt durch Überdüngung.

Maßnahmen, die die landwirtschaftliche Flächennutzung und den Torfabbau fokussieren, zielen auf den Erhalt des Kohlenstoffspeichers und damit auf die Senkenleistung des Bodens ab. Der Erhalt, die Wiederherstellung bzw. nachhaltige Verbesserung der Kohlenstoff-Senken-Funktion der Böden leisten darüber hinaus einen wichtigen Beitrag für eine verbesserte Struktur und Wasserspeicherfähigkeit der Böden und somit für höhere Ertragspotentiale. Besonders unter den Bedingungen der zu erwartenden Klimaänderungen können optimal mit organischer Substanz versorgte Böden den Einfluss von Witterungsextremen besser abpuffern, als Böden in schlechtem Kulturzustand. Maßnahmen zum Erhalt des Kohlenstoffspeichers erbringen darüber hinaus nicht nur positive Leistungen für den Klimaschutz, vor allem der Boden- und Gewässerschutz sowie die Biodiversität profitieren davon.

Die Tierhaltung ist in Deutschland einer der Hauptverursacher von landwirtschaftlichen THG-Emissionen. Der schrittweise und konsequente Abbau der Tierbestände birgt entsprechend ein erhebliches Treibhausgasminderungspotenzial mit weiteren Synergieeffekten zum Schutz weiterer Umweltmedien (Boden, Luft, Wasser).

Auch der Ökolandbau leistet durch seinen Verzicht auf mineralische Düngemittel, deren Herstellung sehr energieintensiv ist, einen Beitrag zum Klimaschutz. Gleichzeitig wird durch den Anbau von Leguminosen und Zwischenfrüchten die Humusanreicherung gefördert und somit gleichzeitig mehr Kohlenstoff im Boden gespeichert. Die Umstellung auf den Ökolandbau bringt sowohl bezogen auf die Fläche als auch (wenn auch in geringerem Maße) auf die Produkteinheit Einsparungen bei den THG-Emissionen. Das in der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie verankerte Ziel von 20% Flächenanteil des Ökolandbaus an der gesamten Landwirtschaftsfläche (LF) geht daher in die richtige Richtung, muss aber mit einem konkreten Zeithorizont unterlegt werden.

Grundsätzlich müssen Instrumente zum Klimaschutz in der Landwirtschaft die Multifunktionalität vieler Maßnahmen beachten. Viele Maßnahmen, die mit Blick auf nur ein Umweltziel unwirtschaftlich erscheinen, sind aus volkswirtschaftlicher Sicht sehr vorteilhaft. Deshalb bedürfen Klimaschutzmaßnahmen flankierender Instrumente um effektiv und effizient zu wirken. Dabei ist zu beachten, dass in der Agrarpolitik bislang nicht nur dem Klimaschutz, sondern auch anderen Umweltproblemen zu wenig Rechnung getragen wurde. Verbesserungen sind vor allem dann möglich, wenn neue Politikansätze sachgerecht auf dem bestehenden Instrumentarium aufbauen und auf dieses abgestimmt sind.

Abbildung 10 Visualisierung der Schlüsselmaßnahmen und Umsetzungsschritte im Handlungsfeld Landnutzung, Land- und Forstwirtschaft

### Steigerung der N-Effizienz und Reduzierung von N-Überschüssen

Überarbeitung und wirksamer Vollzug ordnungsrechtlicher Instrumente

Gezielter Einsatz von flankierenden ökonomischen Instrumenten

Keine Genehmigung von neuen Tierställen in Regionen mit Tierbesatzdichten > 2 GVE/ha

### Erhalt der Vorräte an organischer Bodensubstanz

Etablierung eines flächenscharfen Grünlandumbruchverbots

Strenger Schutz von Moorböden

Ausbau von Förderprogrammen zur Regeneration von Mooren

Stärkung öffentlicher Kampagnen für Torfersatzstoffe

Verbot von Torferden im Hobbygartenbau

### Reduzierung der Tierbestände

Vollständige Umsetzung der Vorgaben der NE(R)C-Richtlinie

Restriktionen bei der Genehmigung beim Neu- oder Ausbau von Tierhaltungsanlagen

Verursachungsgerechte Anlastung von Umweltkosten der Tierhaltung durch ökonomische Instrumente

### Weitere Maßnahmen in der Landwirtschaft - Ökolandbau

Ausbau und Beibehaltung der Förderung des Ökolandbaus

Stärkung der 2.Säule der GAP

Volle Umschichtung von 15% der Gelder von erster in die zweite Säule



<p><b>Steigerung der N-Effizienz und Reduzierung von N-Überschüssen</b></p>
<p><b>Schlüsselmaßnahme</b></p>
<p><i>Inhaltliche Beschreibung</i></p> <p><b>Lachgasemissionen gehören zu den wichtigsten Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft. Eine Stickstoffüberschussvermeidung und die Effizienzsteigerung der eingesetzten Düngemittel stellen somit einen wichtigen Beitrag zur Treibhausgasreduzierung dar. Die Nachhaltigkeitsstrategie definiert einen bis 2010 zu erreichenden Gesamtbilanzüberschuss von 80 kg/ha LF. Um den Zielwert zu erreichen, muss durch ein Bündel an Maßnahmen der N-Gesamtüberschuss um 20 kg/ha gesenkt werden. Dies ist kurzfristig erreichbar. Mittelfristig ist ein deutlich niedrigerer Zielwert anzustreben. Mit einer Reduzierung der Stickstoffüberschüsse werden weitere positive Auswirkungen auf andere Umweltziele erreicht und Betriebskosten reduziert.</b></p> <p>Die Anwendung von Stickstoffdüngern ist verbunden mit direkten N<sub>2</sub>O-Emissionen aus den gedüngten Böden und indirekten N<sub>2</sub>O-Emissionen, die eine Folge des Austrags reaktiver Stickstoffverbindungen wie Nitrat und Ammoniak sind. Hinzu kommen Emissionen, die im Zuge der energieaufwändigen Herstellung von N-Mineraldünger entstehen. Die Höhe der Emissionen hängt neben der Höhe des N-Eintrags von einer Vielzahl von standortörtlichen, klimatischen, pflanzenbaulichen, technischen und managementabhängigen Faktoren ab, deren Kenntnis Voraussetzung für die Nutzung von Einsparpotenzialen ist. Die Maßnahme zielt auf eine Erhöhung der N-Effizienz und eine Senkung der N-Überschüsse ab. Die Anpassung erfolgt u.a. durch die Optimierung der Düngelplanung und der Düngerausbringungstechniken, -mengen und -zeitpunkte. Wenn die Senkung des N-Überschusses über den Ersatz von N-Mineraldünger durch Gülle und andere Wirtschaftsdünger erfolgt, können nach Berechnungen des Thünen-Instituts (Thünen Report 11) ca. 330.000 t N eingespart werden. Es ergibt sich eine Emissionsminderung von insgesamt 5,77 Mio.t CO<sub>2</sub>-Äq/Jahr. Auf die N-Mineraldüngerproduktion entfallen dabei knapp 2,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq, der größere Teil entsteht also durch direkte und indirekte N<sub>2</sub>O-Emissionen der landwirtschaftlichen Düngung. Weitere Minderungspotenziale bestehen in der teilflächenspezifischen Düngung (0,3 t CO<sub>2</sub>-Äq/ha), in der Stickstoffangepassten Mehrphasenfütterung bei Geflügel, Rindern und Schweinen (0,3 t CO<sub>2</sub>-Äq/Jahr) und in der Optimierung der Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern (0,6 t CO<sub>2</sub>-Äq/Jahr). Auch mit einem effizienten Energieeinsatz in landwirtschaftlichen Betrieben können etwa 15-20% THG-Emissionen eingespart werden. Für die Erreichung der Minderungsziele ist ein Mix aus ordnungsrechtlichen und ökonomischen Instrumenten sinnvoll.</p>
<p><i>Umsetzung</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Überarbeitung und wirksamer Vollzug ordnungsrechtlicher Instrumente (insbesondere Düngegesetz und DüV), Einführung der Hoftorbilanz</li> <li>▶ Gezielter Einsatz von flankierenden ökonomischen Instrumenten (beispielsweise über die Adressierung von N-Aspekten in der gemeinsamen Agrarpolitik der EU oder Einführung einer Stickstoffüberschussabgabe)</li> <li>▶ Keine Genehmigung von neuen Tierställen in Regionen mit Tierbesatzdichten &gt; 2 GVE/ha.</li> </ul>

## Erhalt der Vorräte an organischer Bodensubstanz

### Schlüsselmaßnahme mit flankierender Wirkung

#### *Inhaltliche Beschreibung*

**Der Verlust von organischer Bodensubstanz durch verstärkte Mineralisation führt zur Emission der Treibhausgase CO<sub>2</sub> und N<sub>2</sub>O. Allein die landwirtschaftliche Nutzung von Moorböden als Acker- und Grünland verursacht Emissionen von 27 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq., das entspricht etwa 4 % der gesamten deutschen Treibhausgasemissionen. Hier besteht erhebliches Minderungspotenzial. Der Erhalt der organischen Kohlenstoffvorräte in Böden ist daher eine Schlüsselmaßnahme für den landwirtschaftlichen Klimaschutz.**

In der Landwirtschaft treten Verluste an organischer Bodensubstanz insbesondere durch die Entwässerung hydromorpher Böden (z. B. Moore) sowie durch den Umbruch von Dauergrünland auf. Zu den zentralen Aktionsfeldern der Verringerung der Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft zählen daher der Erhalt von Dauergrünland und die Vermeidung des umwelt- und klimabelastenden Umbruchs dieser Flächen (Minderungspotenzial von 2,5 bis 3,1 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq./Jahr), sowie die Verringerung stark erhöhter CO<sub>2</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten, entwässerten Mooren durch Renaturierung und Anheben des Wasserspiegels (Minderungspotenzial in Höhe von 30-35 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq./Jahr bei Wiedervernässung von 75% bzw. 900.000 ha Moorfläche). Die Mineralisation des Torfkörpers kann weiterhin auch durch Änderung der Bewirtschaftung verringert werden. Hier sind insbesondere die Umwandlung von Acker zu Grünland sowie die Grünlandextensivierung in Kombination mit einer Anhebung des Wasserstandes wichtige Maßnahmen. Auch ein saisonales Anheben des Wasserspiegels im Winterhalbjahr in Kombination mit der Etablierung von Zeitfenstern mit für die Bewirtschaftung ausreichend niedrigen Wasserständen im Frühsommer und Herbst ermöglicht eine Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Mit einer Umwandlung von Acker zu extensiv genutztem Grünland, ohne Veränderung des Wasserstandes können die Emissionen um ca. 5 t CO<sub>2</sub>Äq./ha/Jahr reduziert werden. Auch der industrielle Torfabbau und die Verwendung von Torf als Pflanz- und Kultursubstrat führen zu Treibhausgasemissionen. Die Einschränkung des Torfeinsatzes als Pflanz- und Kultursubstrat bietet aus Sicht des Klimaschutzes ebenfalls ein erhebliches Potenzial Emissionen zu reduzieren.

#### *Umsetzung*

- ▶ Etablierung eines flächenscharfen Umbruchverbots von Dauergrünland. Kontrolle und Sanktionen bei Nichtbefolgung.
- ▶ Ausschluss von Torfmoorböden unter Ackernutzung von den Direktzahlungen. Eine ackerbauliche Nutzung von Moorstandorten dient nicht dem Erhalt der Flächen im „guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand“.
- ▶ Ausrichtung des Moorschutzes auch auf den Klimaschutz und Ausbau von Förderprogrammen zur Regeneration von Mooren. Bestehende Programme zum Schutz von Hochmooren sollten um Konzepte zur Bestandssicherung
- ▶ und Regeneration von Niedermooren ergänzt werden. Realisierung in der Flurneuordnung, Agrar-Umwelt- und Klimaschutzmaßnahmen und investiver Förderung. Kofinanzierung des Bundes z. B. über die GAK. Förderung von Pilotprojekten.
- ▶ Beratungs- und Informationsmaßnahmen zur Nutzung von Torfersatzstoffen im Gartenbau und Verbot von Torferden im Hobbygartenbau. Vorgabe der Verwendung von Torfersatzstoffen in den Vergaberichtlinien für öffentliche Aufträge im Garten und Landschaftsbau.

<p><b>Reduzierung der Tierbestände</b></p>
<p><b>Schlüsselmaßnahme mit flankierender Wirkung</b></p>
<p><i>Inhaltliche Beschreibung</i></p> <p><b>Die Tierhaltung ist in Deutschland einer der Hauptverursacher von landwirtschaftlichen THG-Emissionen. Zu den Emissionen gehören Lachgas aus Wirtschaftsdüngern und Methan, das insbesondere während des Verdauungsvorgangs von Wiederkäuern entsteht und bei der Lagerung von Wirtschaftsdüngern (Festmist, Gülle) sowie bei deren Ausbringung freigesetzt wird. Der Abbau der Tierbestände birgt entsprechend ein erhebliches Treibhausgasminderungspotenzial und steht in engem Zusammenhang mit der Steigerung der N-Effizienz und der Reduktion der N-Überschüsse.</b></p> <p>Die Methan-Emissionen aus der Fermentation sind nahezu vollständig auf die Rinderhaltung zurückzuführen; darunter sind Milchkühe die bedeutendsten Emittenten. Der Anteil der Methan-Emissionen aus der Verdauung an der gesamten Methan-Emission aus der deutschen Landwirtschaft lag 2013 bei 76,8 %. 2013 machte das Wirtschaftsdünger-management (Lagern und Ausbringen von Gülle und Festmist) 19,7 % der gesamten Methan-Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft aus. Der größte Anteil des Methans aus Wirtschaftsdünger geht auf die Exkremente von Rindern – und in geringerem Maße von Schweinen – zurück. Die anderen Tiergruppen (zum Beispiel Geflügel, Esel, Pferde) sind dagegen vernachlässigbar. Im Zuge des Abbaus der Tierbestände nach der deutschen Wiedervereinigung verminderten sich die tierhaltungsbedingten Treibhausgasemissionen zwischen 1990 und 2013 um rund 37%. Seit 2006 stagnieren sie jedoch bei etwa 1,24 Mio. Tonnen Methan pro Jahr.</p> <p>Ein weiteres entscheidendes Minderungspotenzial besteht also im schrittweisen, aber konsequenten Abbau der Tierbestände in Deutschland. Insbesondere in den Intensivtierhaltungsregionen Nordwestdeutschlands würde dies auch zur Verringerung der N-Überschüsse und damit zum Schutz von Wasser und Boden beitragen und THG-Emissionen reduzieren. Auch der Bedarf an N-haltigen Futtermitteln (v.a. Soja) würde sinken. Diese werden in Deutschland zu einem großen Anteil aus Übersee (v.a. Brasilien und Argentinien) importiert. In den Herkunftsländern fehlt der betriebseigene Dünger und muss durch künstlichen Mineraldünger ersetzt werden, außerdem werden häufig wertvolle Regenwälder, Grünland oder Savannen für den Sojaanbau umgebrochen, wodurch Kohlenstoff freigesetzt wird. Auch diese Umweltwirkungen würden reduziert.</p> <p>Kurzfristig können für den Abbau der Tierbestände die Exportüberschüsse der landwirtschaftlichen Tierproduktion abgebaut werden, mittel- bis langfristig ist eine Änderung der gesellschaftlichen Ernährungsgewohnheiten in Richtung der Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE) (die eine deutliche Reduktion des Konsums tierischer Produkte empfiehlt) essentiell.</p>
<p><i>Umsetzung</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Umsetzung der Vorgaben der NE(R)C-Richtlinie</li> <li>▶ Restriktionen bei der Genehmigung beim Neu- oder Ausbau von Tierhaltungsanlagen</li> <li>▶ Verursachungsgerechte Anlastung von Umweltkosten der Tierhaltung durch ökonomische Instrumente. Z.B ist zu prüfen, ob ein Emissionshandel in der Intensivtierhaltung langfristig umsetzbar ist, um dort die THG-Emissionen zu begrenzen.</li> </ul>

<p><b>Weitere Maßnahmen in der Landwirtschaft</b></p>
<p><b>Ergänzende Maßnahmen flankierender Wirkung</b></p>
<p><i>Inhaltliche Beschreibung</i></p> <p><b>Neben den beschriebenen Schlüsselmaßnahmen gibt es eine Reihe weiterer Minderungsmaßnahmen mit zahlreichen Synergieeffekten zum Boden-, Gewässer- und Artenschutz.</b></p> <p>Der Erhöhung des Anteils des Ökologischen Landbaus (bei einer Ausweitung auf 20% der Fläche beläuft sich das Einsparpotenzial auf 0,4-0,9 Mio.t CO<sub>2</sub>-Äq/Jahr) kommt eine weitere entscheidende Bedeutung zu. Ökologischer Landbau ist zwar nicht vorrangig als Maßnahme für den Klimaschutz anzusehen. Flächenbezogen sind im ökologischen Landbau die THG-Emissionen und der fossile Energiebedarf aber geringer und auch produktbezogen können niedrigere Werte als in konventionellen Systemen erzielt werden. Jedoch besteht hier eine enorme Abhängigkeit vom einzelbetrieblichen Management. Als besonders positiv sind die N-Bindung mit Leguminosen, die C-Sequestrierung durch den Weidezwang und der damit verbundene Grünlanderhalt, die vielfältigeren Fruchtfolgen (vor allem Kleeergrasbau) im Ackerbau, der niedrigere Energiebedarf in der Vorkette der Produktion, sowie der hohe Anteil hofeigener Futterkomponenten anzusehen. Der Anteil des Ökologischen Landbaus sollte gemäß Nachhaltigkeitsstrategie auf 20% bis 2030 ausgebaut werden und mittelfristig weiter erhöht werden.</p> <p>Weitere THG-Minderungspotenziale mit positiven Synergieeffekten zum Bodenschutz bestehen in der</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Wiederherstellung, dem Erhalt bzw. nachhaltige Verbesserung des organischen Kohlenstoffgehalts in Ackerböden durch eine standortangepasste Bodenbewirtschaftung. Wie z.B. Direktsaatverfahren, Anbau von Zwischenfrüchten, Fruchtfolgegestaltung und Rückführung von Ernteresten von Ackerböden.</li> <li>▶ Vermeidung von Bodenverdichtungen durch Fahrspuren und Unterlassung der N-Düngung in den Fahrspuren</li> <li>▶ Substitution von importierten Sojafuttermitteln durch im Inland erzeugte Körnerleguminosen.</li> </ul> <p>Diese Maßnahmen zielen auf den Erhalt der Bodenstruktur und auf die Kohlenstoffspeicherung in landwirtschaftlichen Böden ab. Der Anbau von Leguminosen fördert die Bodenstruktur und ermöglicht durch die Stickstofffixierung eine Einsparung von Mineraldüngern. Eine Quantifizierung der Minderungspotenziale für den Klimaschutz dieser Maßnahmen wurde aufgrund der Komplexität bislang jedoch nicht vorgenommen.</p>
<p><i>Umsetzung</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Ausbau und Beibehaltung der Förderung des Ökologischen Landbaus und Ausweitung auf 20% Flächenanteil. Förderung solcher Systeme, die durch Tierhaltung, eine intensive Kreislaufwirtschaft und durch Futterbau sowie Grünlanderhalt eine C-Bindung im Boden und eine Minimierung von Futtermittelimporten gewährleisten.</li> <li>▶ Förderung von Forschungsvorhaben zur Umsetzung, Etablierung und Optimierung ganzheitlicher landwirtschaftlicher Betriebe und Systeme</li> <li>▶ Stärkung der Zweiten Säule: Volle Umschichtung der 15% der Gelder von der ersten in die zweite Säule und gezielte Förderung von Agrarumweltmaßnahmen mit Boden- und Klimaschutzeffekten.</li> </ul>

## 4.6 Handlungsfeldübergreifende Maßnahmen

Eine treibhausgasneutrale Wirtschaft und Gesellschaft verlangt eine Transformation des Energieversorgungs- und Energiekonsumsystems unter den Nebenbedingungen einer vorhandenen Energieinfrastruktur, Wirtschaftsstruktur und Lebenskultur, die ein soziales Kapital darstellen, das im Wesentlichen erhalten bleiben soll.

Neben sektoralen Maßnahmen sind auch übergreifende Maßnahmen erforderlich, die sicherstellen, dass über die verschiedenen Sektoren hinweg verzerrungsarm vor allem die volkswirtschaftlich kostengünstigen Maßnahmen gewählt werden. Ökonomische Instrumente, insbesondere die Energiebesteuerung, klimaschädliche Subventionen und der Emissionshandel prägen die ökonomischen Rahmenbedingungen für den Such- und Findungsprozess für technische und soziale Innovationen, für Investitionen in die erforderliche Infrastruktur, und ebenso für Standortentscheidungen der Wirtschaft sowie für Pfadentscheidungen mit Blick auf den individuellen Energiekonsum. Eine langfristig orientierte Politik vermeidet Strukturbrüche, um gesellschaftliche Kosten zu begrenzen. Stabile Rahmenbedingungen werden auch durch klare gesetzliche Regelungen, insbesondere gesetzlich verankerte Klimaschutzziele geschaffen. Sie unterstützen auch die Bereitschaft von Investoren, Kapitalverwaltern und auch Bürgern in den Klimaschutz zu investieren sowie die Bereitschaft der Bürger sich für den Klimaschutz im öffentlichen und privaten Raum zu engagieren. Übergreifende Instrumente dürfen dabei nicht zu einer bloßen Verlagerung von THG-Emissionen (carbon leakage) führen. Gerade die Einbettung der nationalen Politik in die europäische Klimaschutzpolitik (insbesondere den Emissionshandel) erfordert eine angepasste Ausgestaltung, eröffnet aber auch zusätzliche Spielräume für nationale Maßnahmen.

Die gegenwärtige Gestaltung der ökonomischen Instrumente, die Transparenz von Klimarisiken bei Kapitalgesellschaften, die gegenwärtige rechtliche Verankerung von Klimaschutzziele und die aktuellen Rahmenbedingungen bürgerschaftlichen Engagements erfüllen ihre Potentiale für den Klimaschutz noch nicht. Im Einzelnen werden folgende Maßnahmen und Instrumente vorgeschlagen.

Abbildung 11: Visualisierung der Schlüsselmaßnahmen und Umsetzungsschritte der handlungsfeldübergreifenden Maßnahmen



<p><b>Weiterentwicklung Emissionshandel</b></p>
<p><b>Schlüsselmaßnahme mit übergreifender Wirkung</b></p>
<p><i>Inhaltliche Beschreibung</i></p> <p><b>Der EU-Emissionshandel (EU-ETS) ist das zentrale europäische Klimaschutzinstrument und erfasst den überwiegenden Teil der Emissionen in den Handlungsfeldern Energiewirtschaft (vgl. Abschnitt 4.1) und Industrie (vgl. Abschnitt 4.2). Für die Realisierung der deutschen und europäischen THG-Minderungsziele ist ein starker EU-ETS damit von zentraler Bedeutung.</b></p> <p>Mit dem Beschluss zur Einführung der Marktstabilitätsreserve (MSR) ist ein erster, wichtiger Schritt zur Stärkung des EU-ETS getan. Das kurz- und mittelfristig zu erwartende Preissignal des EU-ETS wird aber voraussichtlich allein nicht genügen, um insbesondere in der fossilen Stromerzeugung ausreichende Minderungsbeiträge zu den nationalen THG-Zielen anzureizen. Daher muss der EU-ETS auf europäischer Ebene konsequent weiterentwickelt und mit ambitionierten Obergrenzen (Caps) ausgestattet werden. Flankierende nationale Klimaschutzinstrumente sollten so ausgestaltet werden, dass sie keine Verwerfungen im EU-ETS verursachen (vgl. Abschnitte 4.1 und 4.2). Insbesondere mit flankierenden Instrumenten einhergehende Nachfrageausfälle im EU-ETS sollten entsprechend ihrer zusätzlichen Emissionsminderung kompensiert werden, um eine Schwächung der Anreizwirkung des EU-ETS zu verhindern (vgl. Abschnitt 3). Der vom BMWi im März 2015 vorgeschlagene Klimabeitrag für die Stromerzeugung zeigt, wie sich der EU-ETS sinnvoll um ein sektorspezifisches Instrument ergänzen ließe. Ferner sollte geprüft werden, ob über die MSR hinaus Möglichkeiten zur Kompensation flankierender, nationaler Instrumente innerhalb des EU-ETS zu schaffen sind.</p>
<p><i>Umsetzung</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ <b>Möglichkeit zur Ambitionssteigerung im Emissionshandel verankern</b> Der Ratsbeschluss von Oktober 2014 zur europäischen Klima- und Energiepolitik für 2030 bietet die Möglichkeit zur Anhebung des EU-weiten THG-Minderungsziels für 2030 (mind. 40 % ggü. 1990). Im Rahmen des Paris Abkommens von Dezember 2015 wurde ein fünfjähriger Überprüfungszyklus der nationalen freiwilligen Minderungsverpflichtungen (INDCs) festgeschrieben. Eine Ambitionssteigerung sollte auch im EU-ETS verankert werden. Im Zuge der laufenden Novellierung der EH-Richtlinie empfehlen wir der Bundesregierung sich dafür einzusetzen, dass in der Richtlinie eine Möglichkeit zur Anhebung des linearen Kürzungsfaktors (LKF) verankert wird. Der LKF legt die jährliche Senkung des Cap im EU-ETS fest. Er soll ab 2021 2,2 % betragen. Eine Fortschreibung bis zum Jahr 2050 würde im EU-ETS lediglich zu einer Minderung von etwa 84 % ggü. 2005 führen. Laut Klima-Roadmap der Kommission sollten die Emissionen der ETS-Sektoren bis 2050 jedoch um mindestens 90 % ggü. 2005 reduziert werden, um zumindest eine EU-weite THG-Emissionsminderung von 80 % ggü. 1990 zu erreichen. Bei einer 95 %-Minderung bis 2050 müsste der Beitrag der ETS-Sektoren daher höher ausfallen. Ein LKF von 2,2 % ist in keinem Fall ausreichend, um einen hinreichenden Beitrag der ETS-Sektoren für die Absicherung der deutschen und europäischen Klimaziele zu leisten.</li> <li>▶ <b>Übertragung von Überschüssen vermeiden</b> Eine Ausschüttung von Emissionsberechtigungen aus der MSR gefährdet die Erreichung der mittel- und langfristigen Klimaziele, da hierdurch die künftig verfügbaren Emissionsbudgets im EU-ETS erhöht würden. In der MSR gebundene Emissionsberechtigungen sollten daher in signifikantem Umfang stillgelegt werden. Wir empfehlen, dass sich die Bundesregierung im Rahmen der bis 2021 vorgesehenen Überprüfung der MSR für eine anteilige Löschung von Überschüssen einsetzt. Dies stärkt das Preissignal am Kohlenstoffmarkt und kann damit einen Beitrag zur Erreichung der deutschen Klimaziele leisten.</li> </ul>

► **Stärker Minderungsanreize in den Industriesektoren setzen**

Mit dem Ratsbeschluss vom Oktober 2014 vereinbarten die EU-Mitgliedstaaten für die Industrietätigkeiten im EU-ETS eine Fortschreibung der kostenlosen Zuteilung bis mindestens 2030 und die stärkere Berücksichtigung wechselnder Produktionsniveaus bei der Zuteilungshöhe (dynamische Allokation). Durch die Dynamisierung der Allokation wird das Opportunitätskostenprinzip erheblich geschwächt, da für die Unternehmen Anreize verloren gehen, die CO<sub>2</sub>-Kostenkomponente ihrer Produkte, auf ihre Kunden zu überwälzen. Dies schützt einerseits effektiv vor der Abwanderung von Produktionen und der damit verbundenen Emissionen in Länder ohne strikte Klimaschutzregime (Carbon Leakage – CL). Andererseits gehen hierdurch auf den Produktmärkten Anreize zur Produktsubstitution verloren. Wir empfehlen daher, dass sich die Bundesregierung bei der Novellierung der EHRL für eine stärkere CL-Differenzierung bei der Zuteilung einsetzt, um so zumindest in den weniger CL-gefährdeten Branchen eine teilweise CO<sub>2</sub>-Einpreisung zu ermöglichen. Um mittelfristig stärkere Minderungsanreize in den Industrietätigkeiten zu setzen, sollte für den Zeitraum ab 2030 kritisch geprüft werden, welche Spielräume für eine weitere Reduzierung der kostenlosen Zuteilung bestehen.

<p><b>Weiterentwicklung Energiebesteuerung</b></p>
<p><b>Schlüsselmaßnahme mit übergreifender Wirkung</b></p>
<p><i>Inhaltliche Beschreibung</i></p> <p><b>Ein effektiver und effizienter Klimaschutz erfordert, dass der Ausstoß von CO<sub>2</sub> ausreichend bepreist wird. Eine weiterentwickelte Energiebesteuerung kann hierzu, insbesondere für die nicht vom EU-ETS erfassten Bereiche, einen Beitrag leisten.</b></p> <p>Die aktuelle Besteuerung von Energieträgern bietet für die nicht vom EU-ETS erfassten Bereiche Ansatzpunkte, Anreize für einen effizienteren Energieeinsatz zu setzen. Um die langfristigen Minderungsziele für THG-Emissionen effizient zu erreichen, sind jedoch analog zur Weiterentwicklung des EU-ETS Anpassungen der Energiebesteuerung erforderlich, so dass sich der Preis für den Ausstoß von CO<sub>2</sub> an ambitionierten Zielszenarien für Deutschland und die EU orientiert. Zudem sollte der Preis von CO<sub>2</sub> sektorübergreifend konsistent festgelegt werden – dabei ist zu berücksichtigen, dass die Energiebesteuerung neben dem Klimaschutz auch anderen Zielen dient. Deshalb ist es zu begrüßen, dass die Bundesregierung in Folge der G7-Beschlüsse von Elmau die Frage der CO<sub>2</sub>-Bepreisung auch im internationalen Kontext vorantreibt.</p> <p>Für eine effiziente Reduktion von THG-Emissionen ist es erforderlich, die Struktur der Energiesteuer zu ändern. Derzeitig sind die Steuersätze nicht nach einheitlichen, konsistenten Kriterien bemessen. Energieträger mit einem hohen CO<sub>2</sub>-Gehalt werden teilweise erheblich geringer besteuert als solche mit einem niedrigen CO<sub>2</sub>-Gehalt. Dies gilt z. B. für die Energiebesteuerung von Heizöl im Vergleich zu Gas. Daher ist eine Änderung erforderlich, die systematisch Anreize zur Senkung der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen gibt. Hierfür empfehlen wir, die Steuersätze nach dem Energie- und CO<sub>2</sub>-Gehalt der Energieträger zu bemessen. Eine solche Reform würde u.a. auch die steuerliche Begünstigung von Diesel im Vergleich zu Ottokraftstoff aufheben. Sinnvoll wäre es auch, diese Bemessungsgrundlage nach dem Energie- und CO<sub>2</sub>-Gehalt der Energieträger in der EU-Energiesteuererrichtlinie festzuschreiben. Ein dementsprechender Vorschlag von 2011 wurde jedoch nicht beschlossen.</p> <p>Mittelfristig ist es notwendig, die Energiebesteuerung an aktuelle Entwicklungen wie der zunehmenden Energieeffizienz und der verstärkten Sektorkopplung, beispielsweise durch Elektromobilität, anzupassen. Um ungewollte Verteilungswirkungen zu vermeiden, sind ggf. flankierende Maßnahmen sinnvoll.</p>
<p><i>Umsetzung</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Automatische, regelmäßige Anpassung der Energiesteuer an die Inflation, da die Anreizwirkung der Ökologische Steuerreform 1999 bis 2003 durch die Inflation inzwischen erheblich abgenommen hat.</li> <li>▶ Reform bestehender Ausnahmeregelungen von Unternehmen bei der Energiesteuer (zielgerichtete Begünstigung der Unternehmen, die im internationalen Wettbewerb stehen und durch die Energiesteuer unzumutbar belastet würden, so dass ihre Existenz gefährdet wäre).</li> <li>▶ Bemessungsgrundlage der Energiesteuer an dem Energie- und CO<sub>2</sub>-Gehalt der Energieträger ausrichten.</li> <li>▶ Ambitionierte Preise für den Ausstoß von CO<sub>2</sub> im Zusammenspiel mit anderen Instrumenten.</li> <li>▶ Anpassung der Energiebesteuerung an zukünftige Entwicklungen (Energieeffizienz, Elektromobilität)</li> </ul>

<p><b>Abbau klimaschädlicher Subventionen</b></p>
<p><b>Schlüsselmaßnahme mit übergreifender Wirkung</b></p>
<p><i>Inhaltliche Beschreibung</i></p> <p><b>In Deutschland gibt es zahlreiche Regelungen, die den Verbrauch oder die Gewinnung von fossilen Energieträgern begünstigen. Der Abbau oder die Reform dieser klimaschädlichen Subventionen würde nicht nur das Klima, sondern auch die öffentlichen Kassen entlasten.</b></p> <p>Im Jahr 2010 beliefen sich die umweltschädlichen Subventionen in Deutschland auf mehr als 52 Mrd. Euro, wobei ein Großteil der Subventionen direkt klimaschädliche Wirkungen entfaltet. Betrachtet man die Verteilung der analysierten Subventionen auf einzelne Sektoren, so stand der Verkehr – insbesondere wegen der Steuerbefreiungen für den Luftverkehr – mit 24,2 Mrd. Euro an der Spitze, gefolgt vom Bereich Energie mit 21,6 Mrd. Euro.</p> <p>Klimaschädliche Subventionen belasten die öffentlichen Haushalte zum einen direkt durch Mindereinnahmen oder Mehrausgaben, zum anderen aber auch indirekt, denn es entstehen Folgekosten für den Staat durch die verursachten Klima- und Gesundheitsschäden. Sie verzerren zudem den Wettbewerb zu Lasten klimafreundlicher Techniken und Produkte, so dass der Staat in erhöhtem Maße klimagerechte Techniken und Produkte fördern muss, damit sie im Wettbewerb eine faire Chance haben und sich im Markt durchsetzen können. Der Abbau klimaschädlicher Subventionen entlastet somit nicht nur das Klima, sondern auch die öffentlichen Kassen in mehrfacher Hinsicht. Wir empfehlen, umgehend eine verbindliche Roadmap zum systematischen Abbau klimaschädlicher Subventionen zu erarbeiten und umzusetzen.</p> <p>Darüber hinaus empfehlen wir, auch Bemühungen auf internationaler Ebene verstärkt zu unterstützen. Dies ist notwendig, da die Rahmenbedingungen einiger nationaler klimaschädlicher Subventionen international oder auf EU-Ebene geändert werden müssten, um einen Abbau zu ermöglichen (dies ist z. B. im Luftverkehr der Fall). Für internationale Aktivitäten gibt es bereits verschiedene Ansatzpunkte:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Das Kyoto-Protokoll fordert explizit die Abschaffung von Subventionen, die die Reduktion von Treibhausgasen behindern.</li> <li>▶ Im Rahmen der G20-Beschlüsse in Pittsburgh im September 2009 verpflichteten sich die Regierungschefs, Subventionen für fossile Energieträger, die den verschwenderischen Verbrauch fördern, mittelfristig auslaufen zu lassen.</li> <li>▶ Im Abschlussdokument der Rio+20 Konferenz im Jahr 2012 steht das Bekenntnis zum Abbau umweltschädlicher und ineffizienter Subventionen für fossile Energieträger.</li> <li>▶ Die Abschlusserklärung des G7-Gipfels in Elmau 2015 bekräftigt, dass die beteiligten Staaten der Abschaffung ineffizienter Subventionen für fossile Brennstoffe verpflichtet bleiben.</li> </ul>
<p><i>Umsetzung</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Erarbeitung und Umsetzung einer verbindlichen Roadmap zum Abbau klimaschädlicher Subventionen.</li> <li>▶ Im Energiesektor sollten vorrangig pauschale Ausnahmeregelungen für Unternehmen bei der Energie- und Stromsteuer reduziert werden.</li> <li>▶ Im Verkehrsbereich sollte die Energiesteuerbegünstigung für Diesel, die Entfernungspauschale und das Dienstwagenprivileg reformiert werden.</li> <li>▶ Unterstützung von Aktivitäten zum Abbau klimaschädlicher Subventionen auf europäischer und internationaler Ebene, insbesondere um dann die Subventionen für den Luftverkehr abzubauen zu können.</li> </ul>

## Finanzierungshemmnisse bei klimafreundlichen Investitionen abbauen

### Schlüsselmaßnahme mit flankierender Wirkung

#### *Inhaltliche Beschreibung*

**Finanzwirtschaftliche Leistungsindikatoren müssen Finanzrisiken, welche aus Klimarisiken resultieren (wie die sog. Carbon Bubble) adäquat erfassen, so dass sie Eingang in das Risikomanagement finden. Auch die Ausgestaltung der Klimaregulierung hat erheblichen Einfluss auf eine volkswirtschaftlich effiziente Bewältigung von Finanzierungsrisiken.**

Ein großer Teil der bereits erkundeten fossilen Reserven darf nicht gefördert und verbrannt werden, wenn die globale Erwärmung langfristig auf 2 °C begrenzt werden soll. Trotzdem fließt weiterhin der überwiegende Teil des weltweit investierten Kapitals entweder direkt in Unternehmen der fossilen Energiebranche oder in solche Unternehmen, deren Produktion auf der Nutzung fossiler Energieträger beruht. Dies führt zur Entstehung der sog. „Carbon Bubble“. Einer der Gründe für deren Entstehung ist, dass bis dato die Preise für fossile Energieträger geringer sind als deren gesamtgesellschaftliche Kosten, und dadurch die Renditen für Investitionen in fossile Energien oftmals höher liegen als die von Investitionen in klimafreundliche Projekte.

Die Umsetzung der weiter oben genannten regulatorischen Instrumente zur Internalisierung externer Klimaeffekte (Emissionshandel, Energiebesteuerung, Abbau umweltschädlicher Subventionen) hätte eine Verlagerung von Kapitalströmen weg von klimaschädigenden hin zu klimafreundlichen Aktivitäten zur Folge, und damit eine Verringerung des Ausstoßes von Treibhausgasen.

Eine solch ambitionierte Klimapolitik muss durch geeignete Praktiken und Regulierungen der Finanz- und Realwirtschaft flankiert und ermöglicht werden. Eine wichtige Funktion können dabei Leistungsindikatoren in der Unternehmensberichterstattung, sowie Anforderungen an Risikomanagement und Eigenkapitalunterlegung bei Banken und Versicherungen übernehmen.

Daneben gewinnen Ausgestaltungsfragen des klimapolitischen Instrumenten-Mix an Bedeutung. Sei es im Strommarktdesign, beim Ausschreibungsdesign von Förderansätzen oder bei überlappenden Regulierungen: Überall gilt es eine volkswirtschaftlich günstige Finanzierbarkeit von Klimaschutzinvestitionen zu erreichen und vermeidbare regulatorische Risiken zu begrenzen.

#### *Umsetzung*

- ▶ **Klima- und umweltbezogene Leistungsindikatoren verpflichtend berichten:** Die Umlenkung von Kapitalströmen hin zu klimafreundlichen Investitionsprojekten kann gefördert werden, indem Unternehmen dazu verpflichtet werden, klima- und umweltbezogene Leistungsindikatoren (key performance indicators, KPI) quantitativ, umfassend und standardisiert zu berichten. Dies würde es Investoren und Kapitalverwaltern erleichtern, umweltbezogenen Risiken und Chancen von Investitionen einzuschätzen und ihre Anlageentscheidung (auch) daran auszurichten.
- ▶ **Carbon Bubble Risiken im Risikomanagement und bei den Eigenkapitalanforderungen berücksichtigen:** Einen ähnlichen Effekt hätte die Berücksichtigung umweltbezogener KPI in den Anforderungen an Risikomanagementsysteme und Eigenkapitalunterlegung bei Banken und Versicherungen. Das finanzielle Risiko, welches in Folge der „Carbon Bubble“ aus Anlagen in fossile Energieträger resultiert, würde bei entsprechenden Eigenkapitalanforderungen zu hohen Kosten und damit zu einem Abzug von Kapital aus klimaschädlichen Anlagen führen.
- ▶ **Finanzierung von Klimaschutz als Querschnittsaufgabe begreifen:** Zu prüfen ist, durch welchen institutionellen und regulatorischen Rahmen die Beteiligung eines möglichst großen Kreises an Investoren bei der Finanzierung klimafreundlicher Projekte erreicht werden kann. Dazu zählt nicht zuletzt die Entwicklung innovativer Finanzierungsinstrumente, die es sowohl Unternehmen als auch bspw. Kleinanlegern und Kommunen ermöglichen, sich im Rahmen ihrer jeweiligen Anforderungen und Möglichkeiten an klimafreundlichen Investitionen zu beteiligen.

<p><b>Zusammenfassendes Klimagesetz</b></p>
<p><b>Schlüsselmaßnahme mit übergreifender Wirkung</b></p>
<p><i>Inhaltliche Beschreibung</i></p> <p><b>Ein einheitliches, harmonisierendes Klimagesetz würde eine gute Orientierung und stabile Rahmenbedingungen für die Politik, Gesetzgeber, Wirtschaft und Öffentlichkeit zur Klimapolitik des Bundes bieten und klare gesetzliche Regelungen, insbesondere gesetzlich verankerte Klimaschutzziele schaffen sowie den Vollzug klimarelevanter Regelungen erleichtern.</b></p> <p>Trotz wachsender Bedeutung ist das deutsche Klimaschutzrecht auf viele Einzelgesetze verteilt und damit heterogen und unübersichtlich. Die Weiterentwicklung, aber auch das Auffinden, Anwenden und Vollziehen der Vorschriften wird hierdurch erschwert. Das UBA befürwortet deshalb, ein Klimagesetz zu schaffen. Ein solches Gesetz würde als ordnender Rahmen fungieren, welcher auf das gesamte klimaschutzrelevante Fachrecht (z. B. Energierecht, Baurecht, Planungsrecht) ausstrahlt. Inhalt des Gesetzes sollen allgemeine und übergreifende Vorschriften sein, die für alle Klimaschutzregelungen Geltung haben – also auch für Regelungen außerhalb eines Klimagesetzes.</p> <p>Ein Klimagesetz sollte – neben allgemeinen Grundätzen - eine zeitlich gestaffelte, gesetzliche Festlegung von Klimaschutzzielen (als Reduktionsziele für Treibhausgasemissionen, ggf. auch sektorbezogen) umfassen, über deren Einhaltung die Bundesregierung regelmäßig berichten muss. Dies würde eine verbindliche Orientierung für die Politik, Gesetzgeber und die Öffentlichkeit sowie Planungssicherheit für Investoren schaffen. In Zusammenarbeit mit Bundesländern und Kommunen kann der Bundesgesetzgeber auch Klimaschutzziele für Gebietskörperschaften festlegen. Das Klimagesetz sollte Maßnahmen für deren Umsetzung, Vorgaben für die Zielkontrolle und das Monitoring sowie für die Kommunikation der Ergebnisse des Monitorings umfassen. Es soll zudem ein klimafreundliches Verwaltungshandeln auf allen Ebenen festschreiben (z. B. Klimaneutralität bis zu einem bestimmten Zeitpunkt). Eine Verpflichtung, den Klimaschutzplan – unter Beteiligung der Öffentlichkeit – fortzuschreiben, soll auch in dem Klimagesetz verankert werden.</p> <p>Da Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel zwei wichtige und komplementäre Säulen der Klimapolitik sind, sollte in einem Klimagesetz neben Klimaschutz auch die Anpassung an den Klimawandel verankert werden. Risiken für nachteilige Auswirkungen des Klimawandels sind Realität. Daher sollte ein deutsches Klimagesetz auch Anforderungen zur Anpassung an diese Risiken beinhalten. Ein solches Gesetz könnte den Rahmen setzen für Strategien und Maßnahmen zur Klimawandelanpassung – als klassische Querschnittsaufgabe für gemeinsame Anstrengungen von Bund, Ländern und Kommunen – , würde Orientierung für die Politik, Wirtschaft und die Öffentlichkeit schaffen, notwendige Reformen in anderen Umweltrechtsbereichen und in deren Vollzug – wie Bau- und Planungsrecht – befördern und Fehlinvestitionen in Infrastrukturen vorbeugen. Wichtiges Ziel des Gesetzes sollte sein, dass verpflichtend vom Bund Strategien und Instrumente erarbeitet werden, die darauf abzielen, die Verwundbarkeit natürlicher, gesellschaftlicher und ökonomischer Systeme zu vermindern. Die Umsetzung solcher Strategien und Instrumente sollte regelmäßig beobachtet, evaluiert und über die Ergebnisse sollte berichtet werden.</p>
<p><i>Umsetzung</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Im Zuge der Verabschiedung des Klimaschutzplans 2050 sollte die Erarbeitung eines Klimagesetzes angestoßen werden.</li> </ul>

## Bürgerschaftliches Engagement

### Schlüsselmaßnahme mit flankierender Wirkung

#### *Inhaltliche Beschreibung*

**Bürgerschaftliches Engagement ist essentiell für den Klimaschutz. Seine Potenziale werden bisher von der Klimaschutzpolitik nur unzureichend genutzt. Bürgerschaftliches Engagement muss deshalb als eigenständige Säule der Klimaschutzpolitik ausgebaut werden.**

Bürgerschaftliches Engagement spielt schon heute beim Klimaschutz eine wichtige Rolle. Die Potenziale des bürgerschaftlichen Engagements in seinen vielfältigen Ausprägungen sind aber bisher nur unzureichend als strategisches Element der nationalen Klimaschutzpolitik aufgegriffen worden.<sup>36</sup> Während Klimaschutz im Alltag für immer mehr Bürgerinnen und Bürger „normal“ ist, setzen sich bisher nur 2,8 % der Bevölkerung gesellschaftsübergreifend - z. B. durch Mitwirkung an Projekten und Initiativen - für Belange des Klima- und Umweltschutzes ein (BMFSFJ 2012).<sup>37</sup> Für eine Erhöhung dieses Anteils müssen die strukturellen Rahmenbedingungen zur Förderung des bürgerschaftlichen Engagements geändert werden. Es bedarf der Etablierung neuer institutioneller Arrangements (z. B. durch die Schaffung zentraler Anlaufstellen zur Vernetzung, Aktivierung und Koordination oder durch die Bereitstellung öffentlicher Räume und Ressourcen für Klimaschutzinitiativen), die bürgerschaftliches Engagement als eigenständige Säule der Klimaschutzpolitik ausbauen. Mit den vorhandenen Instrumenten – wie z. B. der Nationalen Klimaschutzinitiative und Verbändeförderung – können erste Schritte in diese Richtung gestärkt werden.

#### *Umsetzung*

##### Kurzfristig

- ▶ Erweiterung des Klimaschutzplans 2050 um eine „Strategie und Allianz des bürgerschaftlichen Engagements für Klimaschutz“
- ▶ Schaffung einer zentralen Anlaufstelle zur Erschließung neuer gesellschaftlicher Kreise und Bevölkerungsteile, z. B. durch Schaffung eines landesweiten Netzwerks von Teilhabestrukturen auf unterschiedlichen Ebenen
- ▶ Weiterentwicklung des bestehenden Förderinstrumentariums zum Aufbau notwendiger Rahmenbedingungen und Infrastrukturen des bürgerschaftlichen Engagements

##### Mittelfristig

- ▶ Entwicklung und Institutionalisierung neuer Finanzierungsinstrumente und Kooperationsmodelle für das bürgerschaftliche Engagement, z. B. Innovationsfonds „Zivilgesellschaft und Klimaschutz“, um geeignete soziale Innovationen für mehr Klimaschutz voranzubringen
- ▶ Rechtliche/ökonomische Besserstellung des bürgerschaftlichen Engagements im Spannungsfeld zwischen Ehrenamt und Profession
- ▶ Stärkung und Aufwertung spezifischer Engagementformate (z. B. Freiwilliges Ökologisches Jahr) als Baustein für ein System von Angeboten des lebenslangen Engagements (professionelles Volunteering)

## Quellen

- 1 BMUB (2015): Impulspapier des BMUB für den Auftakt des Beteiligungs- und Dialogprozesses. [www.klimaschutzplan2050.de/wp-content/uploads/2015/05/150610-BMUB-Impulspapier-Klimaschutzplan-2050.pdf](http://www.klimaschutzplan2050.de/wp-content/uploads/2015/05/150610-BMUB-Impulspapier-Klimaschutzplan-2050.pdf)
- 2 ebd.
- 3 ebd.
- 4 UBA (2015): Monitoringbericht 2015 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/monitoringbericht-2015>
- 5 IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2014): Summary for Policymakers. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report. Cambridge, New York: Cambridge University Press.
- 6 WBGU (2014): Sondergutachten Klimaschutz als Weltbürgerbewegung. [http://www.wbgu.de/fileadmin/templates/dateien/veroeffentlichungen/sondergutachten/sn2014/wbgu\\_sg2014.pdf](http://www.wbgu.de/fileadmin/templates/dateien/veroeffentlichungen/sondergutachten/sn2014/wbgu_sg2014.pdf)
- 7 Jacob, K., Bär, H. & Graaf, L. (2015): Was sind Transformationen? Begriffliche und theoretische Grundlagen zur Analyse von gesellschaftlichen Transformationen. <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/was-sind-transformationen-begriffliche-theoretische>
- 8 Destatis (2015): Bevölkerung Deutschlands bis 2060, 13. koordinierte Bevölkerungsvoraus-berechnung, Variante 4. Wiesbaden. [https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Bevoelkerung/VorausberechnungBevoelkerung/BevoelkerungDeutschland2060Presse5124204159004.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Bevoelkerung/VorausberechnungBevoelkerung/BevoelkerungDeutschland2060Presse5124204159004.pdf?__blob=publicationFile)
- 9 United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2015): World Population Prospects: The 2015 Revision. New York: United Nations. [http://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/Key\\_Findings\\_WPP\\_2015.pdf](http://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/Key_Findings_WPP_2015.pdf)
- 10 Destatis (2015): Bevölkerung Deutschlands bis 2060, 13. koordinierte Bevölkerungsvoraus-berechnung, Variante 4. Wiesbaden. [https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Bevoelkerung/VorausberechnungBevoelkerung/BevoelkerungDeutschland2060Presse5124204159004.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Bevoelkerung/VorausberechnungBevoelkerung/BevoelkerungDeutschland2060Presse5124204159004.pdf?__blob=publicationFile)
- 11 UBA (2015): Daten zur Umwelt 2015 [http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/daten\\_zur\\_umwelt\\_2015.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/daten_zur_umwelt_2015.pdf); UBA (2012): Energieeffizienzdaten für den Klimaschutz. <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/energieeffizienzdaten-fuer-den-klimaschutz>
- 12 BBSR (2015): Wohnungsmarktprognose 2030, BBSR-Analysen KOMPAKT 07/2015. [http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/AnalysenKompakt/2015/DL\\_07\\_2015.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=5](http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/AnalysenKompakt/2015/DL_07_2015.pdf?__blob=publicationFile&v=5)
- 13 Destatis (2011): Bevölkerung und Erwerbstätigkeit, Entwicklung der Privathaushalte bis 2030, Ergebnisse der Haushaltsvorausberechnung. Wiesbaden.
- 14 Kleinhüchelkotten, S.; Moser, S.; Neitzke, H.-P. (2016): Repräsentative Erhebung von Pro-Kopf-Verbräuchen natürlicher Ressourcen in Deutschland (nach Bevölkerungsgruppen). Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes (in Druck).
- 15 Bilharz, M. (2008): „Key Points“ nachhaltigen Konsums. Ein strukturpolitisch fundierter Strategieansatz für die Nachhaltigkeitskommunikation im Kontext aktivierender Verbraucherpolitik. Marburg: Metropolis.
- 16 Bundesregierung (2012): Nationale Nachhaltigkeitsstrategie – Fortschrittsbericht 2012; S. 29 und S. 60; Bundesregierung [Hrsg.]. [http://www.bundesregierung.de/Content/DE/\\_Anlagen/Nachhaltigkeit-wiederhergestellt/2012-05-21-fortschrittsbericht-2012-barrierefrei.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](http://www.bundesregierung.de/Content/DE/_Anlagen/Nachhaltigkeit-wiederhergestellt/2012-05-21-fortschrittsbericht-2012-barrierefrei.pdf?__blob=publicationFile&v=1)
- 17 EU-COM (2011): Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen – Fahrplan für ein ressourcenschonendes Europa vom 20.09.2011; <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011DC0571&from=EN>.

- 18 DIW Econ (2015): Turning point: Decoupling Greenhouse Gas Emissions from Economic Growth. Berlin, Germany. <https://us.boell.org/2015/09/22/turning-point-decoupling-greenhouse-gas-emissions-economic-growth>
- 19 SRU (2011): Wege zur 100 % erneuerbaren Stromversorgung. Erich Schmidt Verlag, Berlin. [http://www.umwelt-rat.de/SharedDocs/Downloads/DE/02\\_Sondergutachten/2011\\_07\\_SG\\_Wege\\_zur\\_100\\_Prozent\\_erneuerbaren\\_Stromversorgung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.umwelt-rat.de/SharedDocs/Downloads/DE/02_Sondergutachten/2011_07_SG_Wege_zur_100_Prozent_erneuerbaren_Stromversorgung.pdf?__blob=publicationFile)
- 20 Umweltbundesamt (2014): Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050. In: Climate Change 07/2014. Dessau-Roßlau.
- 21 Öko-Institut/IFEU (2010): Klimaschutzpotenziale der Abfallwirtschaft – Am Beispiel von Siedlungsabfällen und Altholz. Ufoplanvorhaben 3708 31 302. <http://www.uba.de/uba-info-medien/3907.html>; Umweltbundesamt (2011): Klimarelevanz der Abfallwirtschaft. Hintergrundpapier. <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/klimarelevanz-abfallwirtschaft>
- 22 Umweltbundesamt (2014): Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050. <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/treibhausgasneutrales-deutschland-im-jahr-2050-0>
- 23 Umweltbundesamt (2013): Globale Landflächen und Biomasse nachhaltig und ressourcenschonend nutzen. Dessau-Roßlau.
- 24 Umweltbundesamt (2014): Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050. <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/treibhausgasneutrales-deutschland-im-jahr-2050-0>
- 25 Umweltbundesamt (2016): Strom- und Wärmeversorgung in Zahlen. <http://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energieversorgung/strom-waermeversorgung-in-zahlen>.
- 26 Umweltbundesamt (2016): Integration von Power to Gas/Power to Liquid in den laufenden Transformationsprozess, Dessau-Roßlau
- 27 Umweltbundesamt (2016): Integration von Power to Gas/Power to Liquid in den laufenden Transformationsprozess, Dessau-Roßlau.
- 28 ebd.
- 29 gwi (2011) gaswärme international · Heft 01-02/2011 · Seite 25-28.
- 30 Bartelmai, Carmen und Lambion, Axel (2011): Biogene Reststoffe & Abfälle: Brennstoffe zur Energieerzeugung. Müll & Abfall. S. 541-546.
- 31 DWA. Merkblatt DWA-M 713 (2007): Abwasser aus der Zuckerindustrie. Hennef : Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
- 32 VDP: Papier( 2014) Ein Leistungsbericht, Verband Deutscher Papierfabriken.
- 33 Jung, Kappen, Hesse, Götz (2014): Rückstandsumfrage (2013) – Aufkommen und Verbleib der Rückstände aus der Zellstoff- und Papierindustrie; Wochenblatt für Papierfabrikation 10/2014, S. 628-630.
- 34 Bundesregierung (2002): Perspektiven für Deutschland. Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung. [https://www.bundesregierung.de/Content/DE/\\_Anlagen/Nachhaltigkeit-wiederhergestellt/perspektiven-fuer-deutschland-langfassung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.bundesregierung.de/Content/DE/_Anlagen/Nachhaltigkeit-wiederhergestellt/perspektiven-fuer-deutschland-langfassung.pdf?__blob=publicationFile&v=3)
- 35 Umweltbundesamt (2016): Integration von Power to Gas/Power to Liquid in den laufenden Transformationsprozess, Dessau-Roßlau.
- 36 WBGU (2014): Klimaschutz als Weltbürgerbewegung. Berlin.
- 37 BMFSFJ (2012): Erster Engagementbericht 2012. Berlin.



► Diese Broschüre als Download  
[www.uba.de](http://www.uba.de)

 [www.facebook.com/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)  
 [www.twitter.com/umweltbundesamt](https://www.twitter.com/umweltbundesamt)



**POSITION // MÄRZ 2016**

# **Integration von Power to Gas/Power to Liquid in den laufenden Transformationsprozess**

Für Mensch & Umwelt

**Umwelt   
Bundesamt**



# Inhalt

<b>1</b>	<b>Kernthesen</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Einleitung</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Kurzbeschreibung der PtG/PtL - Technik</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Rolle und Perspektive für PtG/PtL im Energiesystem</b>	<b>8</b>
	Strom	8
	Wärme	9
	Verkehr	10
	Industrie	10
<b>5</b>	<b>Derzeitige ökonomische Rahmenbedingungen in Deutschland</b>	<b>11</b>
<b>6</b>	<b>Systemische Herausforderungen bei der Integration von Power to Gas/Power to Liquid im Transformationsprozess</b>	<b>13</b>
	Substitutionswirkung von neuen Stromverbrauchern im Transformationsprozess	13
	Kohlenstoffquelle für PtG/PtL-Anlagen	15
<b>7</b>	<b>Empfehlungen für die nächsten Jahre</b>	<b>16</b>
	Schrittweise Integration in bestehende Strukturen	17
	Forschungsbedarf	19
<b>8</b>	<b>Fazit</b>	<b>20</b>

# 1 Kernthesen

Ziel dieses Positionspapiers ist es, aus dem derzeitigen Kenntnisstand des Umweltbundesamts die Rolle und Perspektive von Power to Gas/Power to Liquid (PtG/PtL) in einem vollständig regenerativen Energiesystem einzuschätzen und insbesondere die Herausforderungen bei der Integration und Weiterentwicklung dieser Technik im laufenden Transformationsprozess in den nächsten Jahren zu benennen. Dabei wird auch der Vergleich zu anderen Power to X-Optionen und deren Treibhausgasminderungswirkung dargestellt. Der geografische Fokus der Betrachtungen liegt dabei auf Deutschland, wohlwissend, dass eine vollständige regenerative Energieversorgung Deutschlands insbesondere aus ökonomischen Gründen langfristig in eine internationale Energiepolitik eingebettet sein muss.

Unsere zentralen Botschaften sind:

- ▶ Um die bestehenden langfristigen deutschen Klimaschutzziele (Reduktion der Treibhausgase um 95 Prozent gegenüber 1990) sicher zu erreichen, ist eine regenerative treibhausgasneutrale Energieversorgung über alle Sektoren und Anwendungen in Industrie, Haushalten und Verkehr notwendig. Zur Bestimmung, wann und in welchem Maße PtG/PtL-Techniken notwendig und sinnvoll sind, ist eine ganzheitliche Betrachtung des Energiesystems und seiner Entwicklung notwendig.
- ▶ In einem Energiesystem, das ausschließlich regenerative Energieträger nutzt und in dem gleichzeitig Anbaubiomasse nicht energetisch genutzt wird, müssen zur Erreichung eines 95-prozentigen Klimaschutzzieles auch der Wärmebereich und der Verkehrssektor mit strombasierter Energie versorgt werden. Die klimafreundliche Integration der neuen Verbraucher in das Gesamtenergiesystem sollte oberste Prämisse sein.
- ▶ Nur durch die Nutzung von PtG/PtL besteht langfristig die Möglichkeit, eine vollständige regenerative Energieversorgung ohne die energetische Nutzung von Anbaubiomasse zu realisieren. Die langfristige Verfügbarkeit der PtG/PtL-Technik ist daher von zentraler Bedeutung und muss bei der Gestaltung des Transformationsprozesses bedacht werden. (siehe Abschnitt 4, S.8)
- ▶ Perspektivisch müssen die EE-Ausbauziele und die im Energiekonzept der Bundesregierung gesetzten Stromeinsparziele so an die Integration der neuen zusätzlichen Stromverbraucher angepasst werden, dass die Klimaschutzziele sicher erreicht werden. (siehe Abschnitt 6, S.13 ff)
- ▶ Für eine regenerative, strombasierte Energieversorgung im Bereich Wärme und für Teile des Verkehrsbereiches stehen bereits jetzt Techniken wie Power to Heat (PtH) und Elektromobilität zur Verfügung. Diese sind marktreif, erzielen höhere CO<sub>2</sub>-Einsparungen pro kWh bereitgestellte Endenergie und sind zumindest kurz- und mittelfristig kostengünstiger als PtG/PtL. (siehe Abschnitt 6, S.13 ff)
- ▶ Die derzeitigen EE-Überschüsse reichen bei weitem nicht für den wirtschaftlichen Betrieb von PtG/PtL-Anlagen aus. Unter den derzeitigen Rahmenbedingungen würde der Betrieb großtechnischer PtG/PtL-Anlagen in Deutschland daher zu einer höheren Auslastung der konventionellen Stromerzeugung und zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit fossiler Kraftwerke führen. Dies würde faktisch einer Energiewandlung fossiler Energieträger zu Gas (Coal/Gas-to-Gas) oder flüssige Kraftstoffe (Coal/Gas to Liquid) gleichkommen. Die CO<sub>2</sub>-Belastung der aus Strom erzeugten Brenn-, Roh- und Kraftstoffe würde ein Mehrfaches im Vergleich zur direkten Nutzung der fossilen Energieträger betragen. Dies würde die Erreichung der Klimaschutzziele im erheblichen Maße gefährden und muss vermieden werden. Daher empfehlen wir, dass PtG/PtL-Anlagen in den nächsten Jahren, insbesondere in Deutschland, nur dann großtechnisch zum Einsatz kommen wenn sie die Klimaschutzziele nicht gefährden. (siehe Abschnitt 6, S.13 ff)

- ▶ Um eine höhere fossile Stromerzeugung zu vermeiden und die Erreichung der Klimaschutzziele zu gewährleisten, sollten PtG/PtL-Anlagen zur Bereitstellung von Brenn-, Roh- und Kraftstoffen nur Strom aus zusätzlichen erneuerbaren Energieanlagen beziehen. (siehe Abschnitt 6, S.13 ff)
- ▶ Der rechtliche Rahmen für Steuern und Umlagen sollte so gesetzt werden, dass er Marktverzerrungen zwischen Techniken zur Stromspeicherung und solchen zur Bereitstellung von Kraft-, Brenn- und Rohstoffen verhindert, unter anderem indem er unterschiedliche Bedingungen für Anlagen als Speicherlösung und solche als Stromverbraucher zur Bereitstellung von Brenn-, Roh- und Kraftstoffen setzt. (siehe Abschnitt 7, S. 16 ff)
- ▶ Wir empfehlen, in den nächsten Jahren die PtG/PtL-Technik mithilfe von Pilot- und Demonstrationsanlagen im energiewirtschaftlichen Maßstab über alle Anwendungsbereiche hinweg weiterzuentwickeln. Es ist sinnvoll, hierfür Kriterien zu deren Förderwürdigkeit zu entwickeln. Wir schlagen außerdem vor, bei der Integration von PtG mit der Substitution der fossilen Wasserstoffwirtschaft zu beginnen. (siehe Abschnitt 7, S. 16 ff)
- ▶ Insbesondere im Flugverkehr, wo die International Civil Aviation Organisation (ICAO) sich das Ziel gesetzt hat, den Zuwachs des Flugverkehrs ab 2020 treibhausgasneutral zu gestalten, besteht dringender Handlungsbedarf. Neben einer globalen marktbasierteren Maßnahme verfolgt die ICAO derzeit als zentrale Strategie zur Erreichung des treibhausgasneutralen Wachstums den Einsatz von Biokraftstoffen aus Anbaubiomasse. Dies lehnen wir aus klima- und umweltpolitischen Gründen ab und sprechen uns im Flugverkehr zur Erreichung der langfristigen Klimaschutzziele für PtL als Kraftstoff aus. Unseres Erachtens kann die PtL-Technik als prinzipielle Alternative hierzu für den Zeithorizont 2020 jedoch nur einen kleinen Beitrag leisten. Um zu verhindern, dass Anbaubiomasse mittelfristig im Flugverkehr genutzt wird, ist es dringend notwendig Pilot- und Demonstrationsvorhaben zu fördern, eine Markteinführung zu ermöglichen und die langfristige Verfügbarkeit der Technik zu gewährleisten. (siehe Abschnitt 7, S.16 ff)
- ▶ Wir empfehlen, bei der Integration von PtG schrittweise mit der Substitution der fossilen Wasserstoffwirtschaft, ggf. mit einer zeitnahen Fokussierung auf die Petrochemie, zu beginnen. Die regenerativen PtG/PtL-Produkte können durch die Beimischung zu fossilen Brenn- und Kraftstoffen einen ersten Schritt hin zu einem treibhausgasneutralen Verkehr darstellen. (siehe Abschnitt 7, S.16 ff)
- ▶ Wir empfehlen, eine Substitution fossilen Erdgases durch PtG-Methan zur Wärmeversorgung in den nächsten Jahren nicht zu unterstützen, da dieser Pfad energetisch und im Hinblick auf die Substitutionswirkung ineffizient ist. (siehe Abschnitt 4, S.9)
- ▶ Generell sollten die übergreifenden nationalen, europäischen und internationalen Rahmenbedingungen vor allem im Klimaschutz weiterentwickelt werden, um der langfristigen hohen Bedeutung der PtG/PtL-Technik in einer globalen regenerativen Energiewirtschaft gerecht zu werden. (siehe Abschnitte 2, S. 5 und Abschnitt 7, S. 16 ff)

## 2 Einleitung

Für die Erreichung der Klimaschutzziele ist die Umstrukturierung der Energieversorgung hin zu einem nachhaltigen, umweltschonenden und treibhausgasneutralen Gesamtenergiesystem von zentraler Bedeutung.

Mit diesem Transformationsprozess sind gewichtige Herausforderungen verbunden, wie z. B. technische Entwicklungen, Anpassung der rechtlichen Rahmenbedingungen oder Strategieentwicklungen auf europäischer und internationaler Ebene.

In der Studie „Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050“ hat das Umweltbundesamt gezeigt, dass eine vollständige regenerative Energieversorgung aller Anwendungsbereiche technisch möglich ist.<sup>1</sup> Es wird dargestellt, dass die einzelnen Sektoren (Erzeugung und Verbraucher sowie die Anwendungen Strom, Wärme, Verkehr, Rohstoffe) zukünftig in einer bisher noch nicht dagewesenen Art und Weise mit einander verknüpft werden. Eine zentrale Rolle haben zukünftig sämtliche Power to X-Techniken, insbesondere Power to Heat (PtH, direktelektrisch oder indirekt mit z. B. Wärmepumpen) und Power to Gas/Power to Liquid (PtG/PtL). Diese Techniken ermöglichen als neue zusätzliche Stromverbraucher eine regenerative Energieversorgung aller Anwendungsbereiche. Aufgrund dieser vielschichtigen Verknüpfungen ist nur eine ganzheitliche konzeptionelle Betrachtung der Energieversorgung sinnvoll, die auf die einzelnen Bedürfnisse der Anwendungsbereiche aber auch auf die klimafreundliche Umstrukturierung und Ausgestaltung des Energiesystems an sich ausgerichtet ist. Für das Umweltbundesamt spielen diese Techniken somit eine Schlüsselrolle.

Verknüpfungen zwischen den einzelnen Bereichen bestehen im Energiesystem bereits seit langem, z. B. Strom/Verkehr, Strom/Wärme. Durch die stärkere Ausprägung der Sektorkopplung in einem zukünftigen Energiesystem werden voraussichtlich auch immer stärker die gleichen Erzeugungstechniken, gleichen Infrastrukturen und gleichen Importwege genutzt. Vor diesem Hintergrund ist eine ganzheitliche Betrachtung und Strategieentwicklung für die zukünftige Energieversorgung notwendig. Im Transformationsprozess ist jedoch zu berücksichtigen, dass in den verschiedenen Bereichen unterschiedliche

technische Optionen bestehen, die darüber hinaus unterschiedliche technische Entwicklungsstände und Marktdurchdringungen sowie Emissionsminderungspotentiale aufweisen. Vor diesem Hintergrund sollte die klimafreundliche Integration neuer Stromverbraucher im Laufe des Transformationsprozesses prioritär sein.

Die UBA-Studie zeigt, dass alle Anwendungsbereiche mit der regenerativen Stromerzeugung (genau: Nettostromerzeugung) verbunden werden und die daraus resultierenden großen Erzeugungskapazitäten insbesondere aus ökonomischer Sicht aller Voraussicht nach nicht inländisch bereitgestellt werden. Vielmehr müsste zur Erreichung globaler Klimaschutzziele ein globaler Markt für regenerative Energieträger realisiert werden. Dabei würden die globalen Potentiale regenerativer Quellen (Windenergie, Solarenergie, Wasserkraft, Rest- und Abfallbiomasse und Geothermie) in Abhängigkeit ihrer Wirtschaftlichkeit erschlossen werden. Für den Brenn-, Roh- und Kraftstoffmarkt ist es von großer Bedeutung, dass sich ein internationaler regenerativer Markt entwickelt, da hier bereits heute in hohem Maße eine länderübergreifende Struktur besteht. Deutlich wird dies im Verkehr, wo Verkehrsträger wie Flugzeuge, Seeschiffe aber auch Fernverkehrs-Lkw international auf vor Ort kompatible Infrastrukturen und Kraftstoffe angewiesen sind. Vor diesem Hintergrund wird die internationale Dimension einer regenerativen Gesamtenergieversorgung Deutschlands deutlich, die neben den nationalen Strategien auch eine internationale Einbettung benötigt. Eine wichtige Rolle bei den strategischen Fragen zur Energieversorgung spielen die Importabhängigkeit, die Diversifizierung der Lieferländer und Energiequellen sowie der Ausbau internationaler Infrastrukturen.

Ziel dieses Papiers ist es, aus dem aktuellen Kenntnisstand des Umweltbundesamts die Rolle und Perspektive von Power to Gas/Power to Liquid (PtG/PtL) in einem vollständig regenerativen Energiesystem einzuschätzen und insbesondere die Herausforderungen bei der Integration und Weiterentwicklung dieser Technik im laufenden Transformationsprozess zu benennen.

### 3 Kurzbeschreibung der PtG/PtL - Technik

Unter Power to Gas (PtG) verstehen wir die Bereitstellung von Wasserstoff sowie Methan und unter Power to Liquid (PtL) die Bereitstellung flüssiger Kraftstoffe mithilfe von Strom.

Ihnen gemeinsam ist die Wasserelektrolyse als erstem technischem Schritt. Hierbei wird mit Strom Wasser ( $H_2O$ ) in Wasserstoff ( $H_2$ ) und Sauerstoff ( $O_2$ ) gespalten. Der bereitgestellte Wasserstoff kann direkt oder als Speichermedium für energetische und stoffliche Anwendungen genutzt werden. Darüber hinaus kann aus Wasserstoff in einer katalytischen Synthese - oder in einer biologischen Synthese in Biogasanlagen - mit Kohlendioxid ( $CO_2$ ) Methan erzeugt werden.

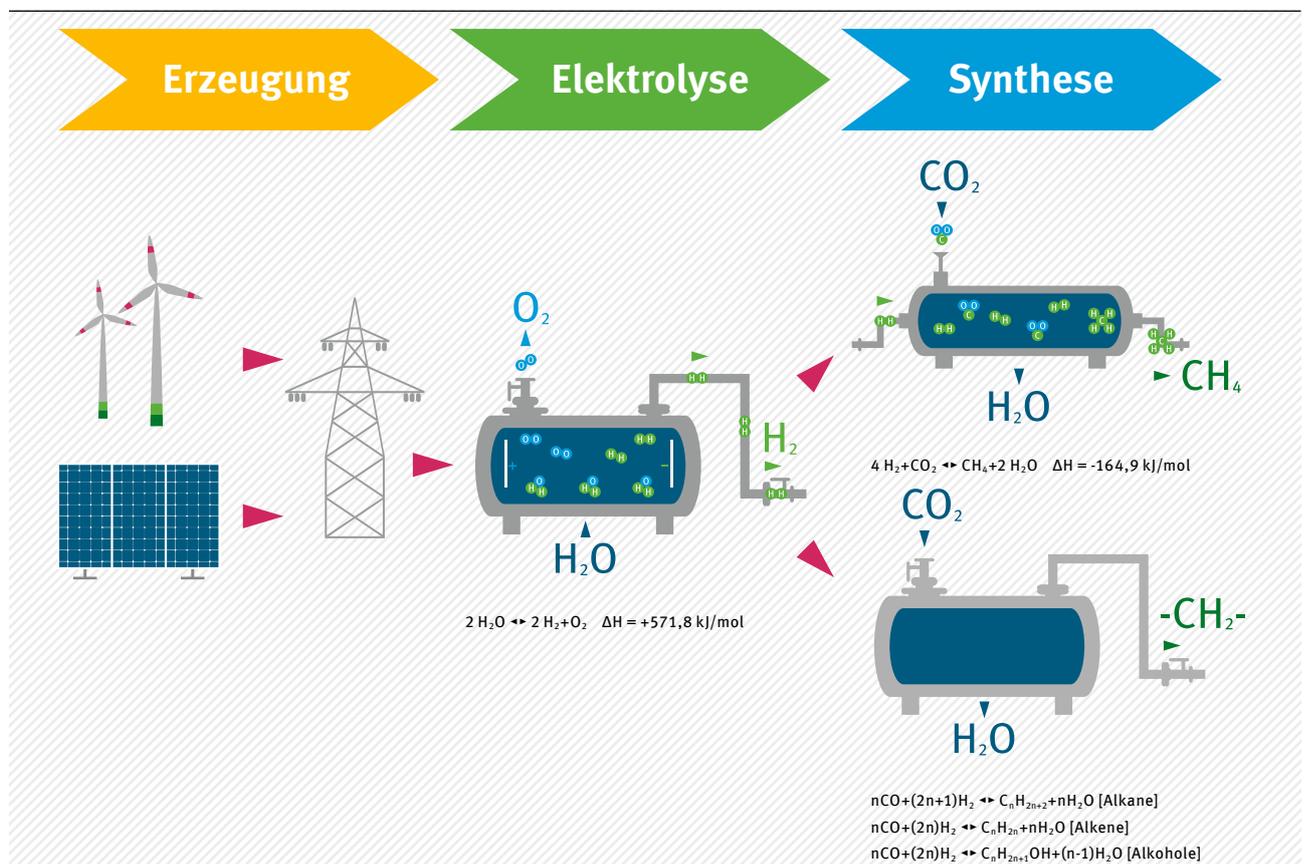
Zur Herstellung wird zunächst ein Wasserstoff/Kohlenmonoxid oder Wasserstoff/Kohlendioxid -Gemisch erzeugt und in einer Synthese zu Kohlenwasserstoffen umgewandelt. Hierfür stehen verschiedene Synthesen, z. B. die Fischer-Tropsch-Synthese

oder die Methanolsynthese zur Verfügung. Bei der Fischer-Tropsch-Synthese entsteht eine Mischung aus verschiedenen langkettigen Kohlenwasserstoffen, welche weiter aufbereitet werden muss. Die Methanolsynthese verläuft bei moderaten Bedingungen und besonders selektiv mit sehr hoher Produktreinheit. Der energetische Wirkungsgrad der verschiedenen Techniken nimmt dabei von Wasserstoff über Methan hin zu den flüssigen Kraftstoffen ab.

Perspektivisch sind auch andere technische Lösungen denkbar, um synthetische Energieträger herzustellen, bei denen der Wasserstoff nicht an den Kohlenstoff, sondern anderweitig gebunden wird. Das kann u. a. die chemische Bindung des Wasserstoffs in der etablierten Ammoniaksynthese sein. Eine andere Möglichkeit, die sich derzeit im Demonstrationsstadium befindet, besteht in der reversiblen Bindung des Wasserstoffs in LOHC-Substanzen (Liquid Organic Hydrogen Carriers).

Abbildung 1

#### Funktionsweise PtG und PtL



Quelle: Umweltbundesamt 2016

## 4 Rolle und Perspektive für PtG/PtL im Energiesystem

Wie die UBA-Studie „Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050“ (THGND) zeigt, ist für die Erreichung von ambitionierten Klimaschutzziele - also einer Reduktion der THG-Emissionen bis 2050 um 95 Prozent gegenüber 1990 - eine vollständige regenerative Energie- und Rohstoffversorgung notwendig. Durch die Nutzung von PtG/PtL besteht die Möglichkeit, solch eine vollständige regenerative Versorgung zu realisieren. Darüber hinaus kann PtG/PtL mittel- und langfristig den zunehmenden Konkurrenzdruck auf die Biomassenutzung grundlegend entschärfen. Daher ist die langfristige Verfügbarkeit der PtG/PtL-Technik entsprechend dieses Szenarios von zentraler Bedeutung. Da die energetische Nutzung von Anbaubiomasse ausgeschlossen<sup>2</sup> wird (ebenso wie CCS und Kernenergie) stellen PtG/PtL derzeit die einzige Alternative für eine vollständig treibhausgasneutrale Energieversorgung dar.

Im THGND-Szenario gehen wir für Deutschland im Jahr 2050 von einem Endenergiebedarf von rund

1600 TWh aus, der sich zu annähernd gleichen Teilen auf Strom, Methan und flüssige Kraftstoffe aufteilt (siehe Tabelle 1). Hierfür ist eine Nettostromerzeugung<sup>1</sup> von rund 3000 TWh notwendig. Für die benötigten Mengen stehen zwar prinzipiell ausreichend nationale technische EE-Potentiale zur Verfügung. Wir gehen jedoch davon aus, dass die regenerativen Brenn-, Roh- und Kraftstoffe an international günstigen Standorten für erneuerbare Energien erzeugt und somit überwiegend importiert werden.

Durch die Nutzung von PtG/PtL ist im THGND-Szenario der Bedarf an regenerativen Stromerzeugungsanlagen (Nettostromerzeugung) sehr hoch.

In einem laufenden Prozess wird die Studie „Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050“ fortgeschrieben. Dabei soll die Nutzung von Ressourcen analysiert werden. Auch sollen die Pfade, die notwendigen Ausbauten der Technologien in den Jahren 2030 und 2040, hergeleitet werden.

Tabelle 1

### Endenergiebedarf im THGND-Szenario im Jahr 2050

	Strom in TWh	regeneratives Methan	flüssige regenerative Kraftstoffe in TWh
private Haushalte	104,7	44,5	0
GHD	90,3	62,4	18,6
Industrie	179,7	198,8	0
Verkehr	91,1	0	533,3
<b>Summe energetisch</b>	<b>465,8</b>	<b>305,7</b>	<b>551,9</b>
		<b>1323,4</b>	
Industrie stofflich		282	
<b>Summe energetisch und stofflich</b>		<b>1605,4</b>	

Quelle: Umweltbundesamt 2014

### Strom

Im Strombereich werden kurz- und mittelfristig vor allem flexiblere fossile Kraftwerke, Lastmanagement, insbesondere bei Großverbrauchern in der Industrie, sowie nationaler und europäischer Netzausbau benötigt. Kurz- und mittelfristig besteht vornehmlich ein Bedarf an Kurzzeitspeichern. Langzeitspeicher wie

PtG mit Rückverstromung werden in Abhängigkeit u. a. vom europäischen Netzausbau, der Erschließung von Lastmanagement und der Flexibilisierung fossiler Stromerzeugung ist nach jetzigem Kenntnisstand erst bei einem sehr hohen Anteil (ca. 70 bis 80 Prozent)<sup>3</sup> erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung zur Systemstabilität benötigt.

<sup>1</sup> Berücksichtigung der Umwandlungs- und Transportverluste.

Generell werden in einem regenerativen Stromsystem Kurzzeitspeicher zur Überbrückung von stunden- und tageweisen Erzeugungsdefiziten sowie zur Stabilisierung des Stromsystems auf Grund der zu erwartenden sehr steilen Erzeugungsflanken<sup>11</sup> der fluktuierenden Energien und Langzeitspeichern zur Überbrückung von Einspeisedefiziten der regenerativen Energien über mehrere Tage und Wochen benötigt.

## Wärme

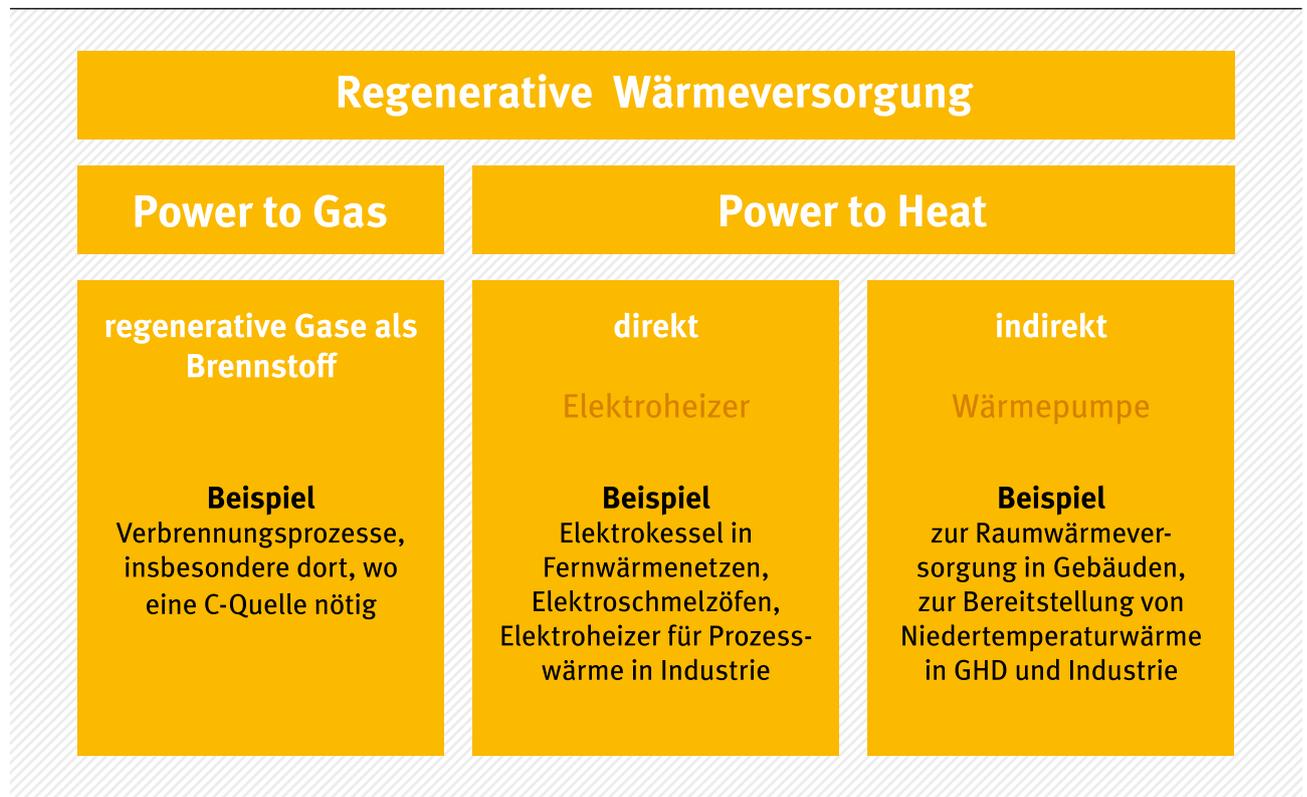
Für den Bereich der Wärmeversorgung gilt es generell, das sehr hohe Einspar- und Effizienzpotential schnell zu heben. Kurz- und mittelfristig gibt es in der Raumwärmeversorgung ausreichend regenerative Alternativen zu PtG. Hier ist insbesondere Power to Heat in Verbindung mit Wärmepumpen und Solarthermie zu nennen. Wie die Abbildung 4 zeigt, ist eine derzeitige Substitution fossilen Erdgases durch PtG-Methan ineffizient (energetisch und im Hinblick auf die Substitutionswirkung), so dass dies in den nächsten Jahren nicht unterstützt werden sollte.

Im Hinblick auf eine klimafreundliche Wärmeversorgung ist eine Integration von PtG in den nächsten Jahren nicht zweckmäßig. Langfristig hat PtG für die regenerative Prozesswärmeversorgung eine sehr große Bedeutung.

Wie im THGND-Szenario gezeigt wird, spielt PtH langfristig eine zentrale Rolle bei der Wärmeversorgung. Dies betrifft nicht nur die Raumwärmeversorgung, sondern auch die Prozesswärmeversorgung in der Industrie, wo die direkte Nutzung von erneuerbarem Strom durch Änderungen der Prozessführung ermöglicht werden kann. Dennoch wird PtG/PtL langfristig zur Prozesswärmeversorgung in der Industrie insbesondere zur Substitution von Prozessen mit festen, fossilen Energieträgern/Kohlenstoffträgern benötigt. Wir empfehlen in diesem Kontext, kurz- und mittelfristig überwiegend Forschungs- und Entwicklungsarbeit bei der Umgestaltung der Prozesswärmeversorgung hin zu strombasierten Verfahren und regenerativen gasförmigen Brennstoffen (erzeugt durch PtG) zu fördern.

Abbildung 2

## Überblick für eine regenerative Wärmeversorgung



Quelle: Umweltbundesamt 2016

<sup>11</sup> Abhängig von Wetter und Tageslauf können in kürzester Zeit hohe Leistung von EE-Anlagen in oder außer Betrieb gehen.

## Verkehr

Auch für den Verkehr gilt es, den Endenergieverbrauch durch Verkehrsvermeidung und -verlagerung sowie durch Effizienzmaßnahmen weiter zu reduzieren. Um den Verkehr langfristig treibhausgasneutral zu gestalten, ist neben dieser Verkehrswende (Vermeiden, Verlagern, Verbessern) auch eine Energie-wende im Verkehr notwendig. Für den Verkehr stellt zwar die direkte Nutzung des regenerativen Stroms in Elektrofahrzeugen die energieeffizienteste Einsatzmöglichkeit dar, in manchen Anwendungsfeldern ist aber eine Elektrifizierung nicht möglich.

Zudem wird bei Elektrofahrzeugen zur Erzielung hoher Reichweiten ein zusätzlicher, regenerativ erzeugter flüssiger oder gasförmiger Energieträger benötigt (z. B. bei Plug-in-Hybriden). Unter Berücksichtigung der eingeschränkten Verfügbarkeiten von Rest- und Abfallbiomasse wird daher PtG/PtL zur vollständigen regenerativen Energieversorgung des Verkehrs benötigt.<sup>4</sup> Insbesondere für den Flugverkehr sind flüssige regenerativ Kraftstoffe notwendig. Diese können mit PtL bereitgestellt werden. Auch für den Schiffs- und Straßengüterfernverkehr ermöglichen PtL und PtG eine regenerative, treibhausgasneutrale Energieversorgung. Bei PKW, leichten Nutzfahrzeugen, Busse und beim Straßengüternahverkehr wird dagegen voraussichtlich die Elektromobilität allein oder in Kombination mit PtG oder PtL eine zentrale Rolle spielen. Insgesamt haben PtL und PtG (Methan) aus synthetischer Produktion eine deutlich höhere Qualität als herkömmliche Kraftstoffe auf Rohölbasis. Das führt zu einer Entlastung der üblichen Schadstoffminderungstechnik (Katalysatoren, Partikelfilter).

Im Energiekonzept der Bundesregierung sowie durch verschiedene EU-Richtlinien (z. B. national umgesetzt im Biokraftstoffgesetz) sind kurz- und mittelfristige sektorale Ziele festgelegt. Um die kurz- und mittelfristigen EU-Ziele für das erneuerbare Endenergieziel<sup>5</sup> und die Verringerung der Lebenszyklustreibhausgasemissionen der Kraftstoffe<sup>6</sup> für das Jahr 2020 zu erreichen, sind PtG/PtL-Kraftstoffe jedoch keine kurzfristig verfügbare Alternative. Hierfür können derzeit weder die EE Strommengen (in Form von Überschüssen oder durch zusätzliche Anlagen) national bereitgestellt, noch die notwendigen PtG/PtL-Anlagen in Deutschland kurzfristig errichtet werden. Besonderer Handlungsbedarf besteht international derzeit beim

Flugverkehr. Die International Civil Aviation Organisation (ICAO) hat sich das Ziel gesetzt, den zusätzlichen Energiebedarf des wachsenden Flugverkehrs ab 2020 treibhausgasneutral zu gestalten. Neben einer globalen marktbasierter Maßnahme verfolgt derzeit die ICAO als wesentliche Strategie zur Minderung der Treibhausgasemissionen den Einsatz von Biokraftstoffen aus Anbaubiomasse. Dies lehnen wir aus klima- und umweltpolitischen Gründen ab. Hier könnte durch zusätzliche, hauptsächlich internationale EE-Stromerzeugungskapazitäten PtL-Kraftstoffe produziert und den fossilen Treibstoffen mittelfristig beigemischt werden.

Unabhängig von dieser kurz- und mittelfristigen Perspektive haben für die regenerative Versorgung des Verkehrs - neben der direkten Stromnutzung in Elektrofahrzeugen - PtG/PtL-Kraftstoffe langfristig eine sehr große Bedeutung. Nähere Informationen sind in der UBA-Studie „Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050“<sup>1</sup> sowie in der UBA-Veröffentlichung „Klimaschutzbeitrag des Verkehrs – Notwendigkeit und Realisierungsoptionen einer regenerativen Energieversorgung im Verkehr“<sup>7</sup> zu finden.

## Industrie

In diesem Bereich besteht keine dringende kurzfristige Notwendigkeit zur Nutzung von strombasierten regenerativen Rohstoffen in den nächsten Jahren zur Erfüllung sektoraler Ziele. Langfristig hat PtG/PtL für die Versorgung der chemischen Industrie mit regenerativen Rohstoffen und dem damit möglichen THG-Minderungsbeitrag eine sehr große Bedeutung, wie im THGND-Szenario für das Jahr 2050 deutlich wird.<sup>1</sup> Vor dem Hintergrund langfristiger Investitionen, langen Zeitzyklen zur Erneuerung und Ertüchtigung von Produktionsanlagen sind kurz- und mittelfristig entsprechende Umstrukturierung der Produktionsprozesse insbesondere zu verstärkter direkter Nutzung (Power to Heat) und indirekten Nutzung von regenerativem Strom (PtG, PtL) zu adressieren.

Weiterhin können mit PtG/PtL regenerativ erzeugte Ausgangsstoffe für die chemische Industrie bereitgestellt werden, so dass auch hier ein wesentlicher Beitrag zur Reduzierung prozessbedingter Treibhausgasemissionen geleistet werden kann. Durch die Nutzung von PtG/PtL besteht auch in diesem Bereich kein zwingender Bedarf, Biomasse zu verwenden.

## 5 Derzeitige ökonomische Rahmenbedingungen in Deutschland

Zurzeit ist keine wirtschaftliche Nutzung von PtG/PtL-Anlagen in Deutschland möglich. Gründe dafür sind die hohen Investitions- und Betriebskosten bedingt durch den derzeitigen Entwicklungsstand und hohe Umwandlungsverluste sowie die geltenden Rahmenbedingungen (z. B. Steuern und Umlagen).

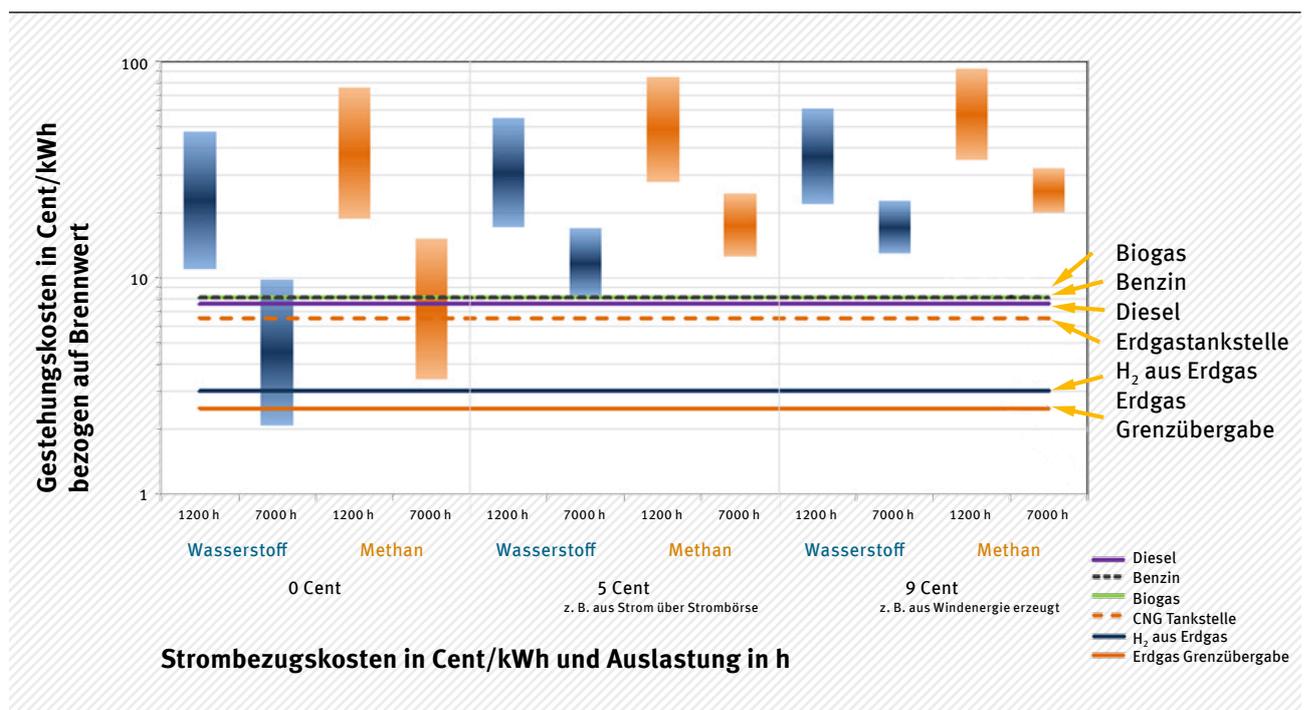
Ein Überblick über die derzeitigen Gestehungskosten regenerativer Gase bei Variation der Strombezugskosten und der Anlagenbetriebszeit ist in Abbildung 3 gegeben. Der obere Bereich eines Balkens stellt kleine PtG-Anlagen, der untere große PtG-Anlagen dar. Es wird deutlich, dass die Gestehungskosten von durchgehend laufenden Anlagen selbst bei der Grenzbetrachtung von ausnahmslos kostenlos zur Verfügung stehenden Strom um ein Mehrfaches über konventionellen Brenn-, Roh- und Kraftstoffen liegen. Dies gilt umso mehr und auch für Biogas, wenn man für durchgehend laufende Anlagen Großhandelspreise von 5 Cent/kWh annimmt.<sup>III</sup>

Eine wesentliche Ursache sind die hohen Umwandlungsverluste. Bei Wasserstoff sind diese deutlich geringer als bei Methan. Die Abbildung 3 zeigt auch, dass die Kosten stark steigen, wenn die Produktion (von Wasserstoff oder Methan) nicht mit hoher Auslastung über das ganze Jahr gefahren wird (Zahl der Nutzungsstunden), sondern auf die Nutzung von Stromüberschüssen beschränkt bleibt. Derzeit auftretende Überschüsse sind auf relativ wenige Stunden beschränkt. Darüber hinaus werden sie sich durch den Netzausbau in den nächsten Jahren tendenziell verringern.

Ein wichtiger Teil der Kosten wird durch die Höhe staatlicher oder staatlich bestimmter Abgaben für den Bezug von Strom und darüber hinaus auch die Abgaben für die in den PtG/PtL-Anlagen hergestellten Produkten bestimmt.

Abbildung 3

### Kostenvergleich von Power to Gas zu anderen Kraftstoffen<sup>8</sup>



III Man beachte die logarithmische Darstellung der Abbildung.

Generell werden PtG/PtL-Anlagen gemäß ihrer Nutzung in Stromspeicheranlagen einerseits und Letztverbraucher zur Bereitstellung von Brenn-, Roh- und Kraftstoffen andererseits unterschieden.

PtG-Stromspeicheranlagen sind derzeit – wie andere Speicheranlagen (z. B. Pump-, Druckluftspeicher) – von der EEG-Umlage und den Netzentgelten für den Bezug des zu speichernden Stroms (einschließlich der Speicherverluste) befreit. In der Regel sind die derzeit in Betrieb, Bau oder Planung befindlichen PtG-Anlagen jedoch keine Stromspeicheranlagen. Es sind Anlagen, die Brenn-, Roh- und Kraftstoffe für andere Zwecke als die Rückverstromung bereitstellen oder gar eine reine Wasserstoffherzeugung und -anwendung vornehmen.

Diese Anlagen müssen wie andere Letztverbraucher von Strom sowohl Netzentgelte und Anschlusskosten als auch EEG-Umlage zahlen, es sei denn, es handelt sich um Eigenerzeuger/-verbraucher. Dies verringert die Wirtschaftlichkeit von netzgekoppelten Anlagen zur Bereitstellung von Brenn-, Roh- und Kraftstoffen gegenüber nichtnetzgekoppelten Anlagen. Lediglich für PtG-Anlagen, die Wasserstoff und Methan weit überwiegend aus erneuerbaren Energiequellen erzeugen und in das Gasnetz einspeisen, gibt es Privilegierungen bei Gasnetzanschluss-, Gasnetzzugangs- und Gasnetzentgeltregelungen.

Die Endprodukte (Pt-Gase sowie Pt-Liquids) behandelt das Energiesteuerrecht bei Verwendung als Kraft- oder Heizstoff wie „konventionelle“ Energieträger, d. h. sie unterliegen der Energiesteuer. Sofern der zur Erzeugung von PtG/PtL eingesetzte Kohlenstoff aus emissionshandlungspflichtigen Anlagen stammt, unterliegt dieser grundsätzlich den Berichts- und Abgabepflichten des europäischen Emissionshandels.<sup>IV</sup> Dies kann einen weiteren Kostenfaktor darstellen.

Die künftige Kostenentwicklung ist jedoch nicht nur von den staatlichen oder staatlich bestimmten Abgaben und den direkten Investitions- und Betriebskosten abhängig sondern auch von vielen weiteren Faktoren, etwa der globalen Nachfrage nach PtG/PtL-Anlagen, die wiederum bestimmt wird durch die weltweite Entwicklung der treibhausgasneutralen Energieversorgung, den Entscheidungen bezüglich

der internationalen Energie- und Klimapolitik und den daraus resultierenden Kohlenstoffpreisen, den technischen Fortschritten bei PtG/PtL-Anlagen, der Entwicklung der Strompreise, der Verfügbarkeit von Quellen konzentrierten Kohlendioxids u.v.m..

Es ist jedoch davon auszugehen, dass PtG/PtL auch kurz- und mittelfristig höhere Kosten aufweisen als effizientere Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energien (z. B. PtH, Elektromobilität).

---

IV Welcher Anlagenbetreiber Abgabepflichten zu erfüllen hat, hängt von den rechtlichen und technischen Randbedingungen im Einzelfall ab.

## 6 Systemische Herausforderungen bei der Integration von Power to Gas/Power to Liquid im Transformationsprozess

Bei der Transformation des Energiesystems hin zu einer nahezu vollständigen regenerativen Versorgung wird eine zunehmende Kopplung der einzelnen Energiemärkte bzw. Anwendungsbereiche durch verschiedene Techniken erfolgen.

Durch verstärkten Einsatz von PtH wird insbesondere der Wärmebereich stärker mit dem Stromsektor verknüpft. Durch Elektromobilität erfolgt eine direkte Kopplung des Stromsektors mit dem Verkehr. Langfristig werden bei Nutzung von PtG/PtL darüber hinaus alle Energiemärkte (Strom, Wärme und Kraftstoffe) sowie der Markt für regenerative Rohstoffe für die chemische Industrie miteinander verbunden. Dies stellt enorme Herausforderungen an die volkswirtschaftlich sinnvolle und klimafreundliche Ausgestaltung des Transformationsprozesses.

Zur Erreichung der Klimaschutzziele und für das Voranschreiten des Klimaschutzes über die gesamte Breite im Energiebereich wurden verschiedene politische Ziele in Europa und Deutschland definiert.

Wir empfehlen, die bestehenden und zukünftigen sektoralen Klimaschutzziele darauf auszurichten, dass sie eine möglichst hohe Minderung der Gesamttreibhausgasemissionen und eine effektive Nutzung regenerativer Energien bewirken.

Für eine teilweise regenerative, strombasierte Energieversorgung im Bereich Wärme und Verkehr stehen Techniken wie PtH und Elektromobilität bereits jetzt marktreif zur Verfügung, die größere CO<sub>2</sub>-Einsparungen pro eingesetzter EE-Strommenge ermöglichen und kostengünstiger als PtG/PtL sind. Somit sollten insbesondere im Transformationsprozess kurz- und mittelfristig prioritär die Potentiale erschlossen werden, welche mittels dieser energetisch effizienteren Techniken versorgt werden können.

Da jedoch PtG/PtL langfristig eine zentrale Rolle in einem regenerativen, umweltschonenden und nachhaltigen Energiesystem einnimmt, sollten in den

nächsten Jahren Pilot- und Demonstrationsprojekte über alle Anwendungsbereiche hinweg ermöglicht und gefördert werden.

### Substitutionswirkung von neuen Stromverbrauchern im Transformationsprozess

Der maximale Anteil erneuerbarer Energien an der Stromversorgung in Deutschland lag im Jahr 2012 bei 60 Prozent. Auftretende Überschüsse sind entweder regional auf Netzengpässe im Verteilnetz bei der Aufnahme des Stroms aus Windenergie- und PV-Anlagen oder auf Netzengpässe im Übertragungsnetz beim Transport von Nord nach Süd zurückzuführen. Diese Situationen sind auf relativ wenige Stunden beschränkt.<sup>V</sup> Durch den kurz- und mittelfristig absehbaren Netzausbau ist tendenziell mit einer Verringerung von Engpasssituationen in den nächsten Jahren zu rechnen. Daher ist die Verfügbarkeit von regenerativem Überschussstrom für den Betrieb von PtG/PtL-Anlagen derzeit nicht gegeben.

In Deutschland würde eine zu frühe und zu intensive Integration von PtG/PtL-Anlagen – über das Maß von Demonstrations- und Pilotanlagen hinaus – zu einer stärkeren Auslastung fossiler (und bis 2022 auch aus nuklearer) Stromerzeugung und erhöhtem Ausstoß von Treibhausgasemissionen führen.

Die Beurteilung der Substitutionseffekte durch neue zusätzliche Verbraucher aller Anwendungsbereiche ist im hohen Maße vom Zeitpunkt der Stromnutzung abhängig. Damit ist nicht nur der Zeithorizont im Transformationsprozess gemeint, sondern auch der unmittelbare Zeitpunkt. Die wissenschaftliche Ermittlung der Treibhausgasminderungseffekte von zusätzlichen Stromverbrauchern ist komplex. Dabei sind auch die regulatorischen Rahmenbedingungen, u. a. die Wirkmechanismen des Emissionshandels, zu berücksichtigen.

Um falsche Vorstellungen des Minderungseffektes im Laufe des Transformationsprozess zu vermeiden, wird vereinfachend davon ausgegangen, dass aus-

<sup>V</sup> Um diese Überschüsse im Transformationsprozess zu verringern, sollte vorrangig die Erzeugung aus konventionellen Kraftwerken sowie von Biomasseanlagen einschließlich der KWK-Anlagen flexibilisiert und der Bedarf an netztechnisch erforderlicher Mindesterzeugung aus konventionellen Kraftwerken gesenkt werden. Generell sollte die Stromnachfrage durch die Nutzung von Lastmanagement von vorhandenen Verbrauchern flexibilisiert werden.

schließlich regenerativer Strom genutzt wird. Damit können folgende Aussagen zur technikbezogenen Substitutionswirkung neuer Stromverbraucher getroffen werden (siehe Abbildung 4):

- Die Integration neuer zusätzlicher Verbraucher im Bereich Wärme mittels Power to Heat (indirekt – Wärmepumpen oder direktelektrisch) bietet das beste Substitutionsverhältnis<sup>VI</sup>. Im Falle der Wärmepumpe können mit Hilfe 1 kWh regenerativen Stroms etwa 3,3 kWh Erdgas eingespart werden. Darüber hinaus besteht über PtH die Möglichkeit insbesondere die Großverbraucher in der Industrie im Rahmen von Lastmanagement einzubinden und damit die Integration der EE zu unterstützen.
- Im Bereich Verkehr wird das größte Substitutionsverhältnis durch die direkte Stromnutzung (Elektromobilität) erreicht. Auch hier können Synergieeffekte mit Hilfe von Lastmanagement zur Integration der EE genutzt werden. Dieses Potential ist jedoch auf einige Verkehrsträger begrenzt.
- Hinsichtlich PtG/PtL wird das größte Substitutionspotential aufgrund der energetischen Wirkungsgrade bei der Substitution der fossilen Wasserstoffherzeugung erreicht.
- Zur Erreichung der Klimaschutzziele, ist es sinnvoll Techniken mit hohem Substitutionspotential im Laufe des Transformationsprozesses<sup>VII</sup> frühzeitiger in die Stromversorgung zu integrieren als Techniken mit geringerem Substitutionspotential.

Abbildung 4

### Substitutionswirkung<sup>VIII</sup> durch PtH, PtG und PtL<sup>IX</sup>

Nutzung regenerativer Strom			Substitution fossiler Bereitstellung			Substitutionsverhältnis	Kosten		
regenerative Bereitstellung	Input	Technik	bereitgestellte End-/Nutzenergie	fossile Einsparung	Input (rund)				
1 kWh reg. Strom	PtH	Wärmepumpe	3,3 kWh Wärme	3,3 kWh Wärme	Brennwertkessel (105 %)	3,14 Erdgas	3,14	mittel	
1 kWh reg. Strom	PtH	direktelektrisch	0,95 kWh Wärme	0,95 kWh Wärme	Brennwertkessel (105 %)	0,91 Erdgas	0,91	niedrig	
1 kWh reg. Strom	PtG - H <sub>2</sub>	stofflich	0,74 kWh Wasserstoff	0,74 kWh Wasserstoff	Dampfreforming (85,2 %)	0,87 Erdgas	0,87	hoch	
1 kWh reg. Strom	PtG - CH <sub>4</sub>		0,58 kWh Methan	0,58 kWh Methan		0,58 Erdgas	0,58	sehr hoch	
1 kWh reg. Strom	PtL		0,5 kWh fl. Kraftstoff	0,5 kWh fl. Kraftstoff		0,5 fl. Kraftstoff	0,5	sehr hoch	

Quelle: Umweltbundesamt 2016

Bei ganzheitlicher Analyse des Stromversorgungssystems ist unter den aktuellen Rahmenbedingungen für netzgekoppelte<sup>X</sup> PtG/PtL-Anlagen in Deutschland davon auszugehen, dass diese zu einer höheren fossilen Stromerzeugung führen. Damit wäre das in PtG-Anlagen erzeugte Gas faktisch ein „Coal-to-Gas/Liquid“<sup>XI</sup> oder „Gas-to-Gas/Liquid“<sup>XII</sup> mit einem Wirkungsgrad weit unter 50 Prozent und würde eine mehrfach höhere CO<sub>2</sub>-Emissionen als die direkte Nutzung von fossilem Erdgas verursachen. Derzeit planen Anla-

genbetreiber meist Börsenstrom zu nutzen und diesen mit dem Kauf von EE-Zertifikaten zu „veredeln“. Auf die Stromproduktion aus fossilen Kraftwerken hat dies allerdings keinen Effekt.

Um eine höhere fossile Stromerzeugung zu vermeiden und die Erreichung der Klimaschutzziele zu gewährleisten, sollten PtG/PtL-Anlagen zur Bereitstellung von Brenn-, Roh- und Kraftstoffen nur Strom aus zusätzlichen erneuerbaren Energieanlagen beziehen.

VI Als Substitutionsverhältnis wird das Verhältnis von eingesparter fossiler Energie zu eingesetztem regenerativem Strom zur Bereitstellung der gleichen Energiemenge bezeichnet. Zum besseren Verständnis ein einfaches Beispiel: zur Bereitstellung von 1 kWh flüssigem Kraftstoff werden grob 2 kWh regenerativer Strom gegenüber 1 kWh fossil benötigt. Das Substitutionsverhältnis liegt also bei 0,5.

VII Also auch schon bei geringerem EE-Anteil in der Stromerzeugung (unter 80 Prozent - grobe Näherung, Wert ist modelltechnisch nicht verifiziert).

VIII In grober Näherung.

IX Die Einordnung der Kosten basiert auf einer qualitativen Einschätzung von Investitionskosten pro installiertem kW.

X Anschluss ans Netz der Allgemeinen Versorgung.

XI Hierbei ist zu bemerken, dass die CO<sub>2</sub>-Belastung bei der direkten Umwandlung von Kohle zu Gas ohne den Umweg der Stromerzeugung deutlich niedriger ist.

XII Bedeutet: Verstromung des Brennstoffes mit einer anschließenden Elektrolyse und Synthese.

Sollten PtG/PtL-Anlagen gefördert werden, muss sichergestellt sein, dass hierfür ein tatsächlicher zusätzlicher Ausbau erneuerbarer Energien erfolgt. Die EE-Ausbauziele müssten entsprechend angehoben werden.

Um unter den derzeitigen Rahmenbedingungen eine höhere fossile Stromerzeugung zu vermeiden, sollten geförderte PtG/PtL-Anlagen zur Bereitstellung von Brenn-, Roh- und Kraftstoffen nur durch zusätzliche erneuerbare Energieanlagen versorgt werden. Andernfalls würden die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Stromerzeugung steigen und die Erreichung der Klimaschutzziele wäre gefährdet.

Dies kann auch erreicht werden durch Nutzung nicht netzgekoppelter Anlagen. Zwar ist dann die effizienteste Nutzung (direkte Substitution von fossilen Energieträgern durch eine zusätzliche EE-Anlage) für diese EE-Anlagen nicht mehr gegeben, die PtG/PtL-Anlage verursacht dann jedoch keine zusätzliche fossile Stromerzeugung. Für die Wirtschaftlichkeit der PtG-Anlage ist eine hohe Auslastung entscheidend. Allerdings können entsprechend konzipierte Schwachwindanlagen in Norddeutschland auch ca. 4.000 Vollaststunden erreichen. An guten Standorten können nichtnetzgekoppelte Anlagen wirtschaftlicher sein als netzgekoppelte Anlagen, da Kosten für den Netzanschluss, die Netznutzungsentgelte sowie die EEG-Umlage entfallen. Zudem können ausländische Standorte genutzt werden, an denen sich deutlich höhere Erträge bzw. diese mit niedrigeren Kosten als in Deutschland erzielen lassen.

Mittel- und Langfristig ist selbstverständlich eine gemeinsam genutzte Infrastruktur fundamental. Hierfür sind entsprechende politische Weichenstellungen notwendig, die die neuen Stromverbraucher berücksichtigen und damit gewährleisten, dass auch andere Anwendungsbereiche mit regenerativem Strom klimafreundlicher ausgebaut werden können.

Perspektivisch halten wir es für notwendig, die EE-Ausbauziele nicht ausschließlich unter Berücksichtigung des bisherigen klassischen Strombereiches festzulegen. Es ist eine Anpassung notwendig, die neue Stromverbraucher im Sinne einer volkswirtschaftlich sinnvollen und klimafreundlichen Ausgestaltung des Transformationsprozesses über alle Anwendungsgebiete hinweg besser integriert.

## Kohlenstoffquelle für PtG/PtL-Anlagen

Bei der Bereitstellung von strombasiertem regenerativem Methan/Methanol und höheren Kohlenwasserstoffen ist eine Kohlenstoffquelle notwendig.

Es stehen verschiedenen Kohlenstoffquellen zur Verfügung:

- ▶ Zum einen kann biogenes CO<sub>2</sub> aus regenerativen Prozessen genutzt werden, etwa durch Kopplung mit Biogasanlagen. Die aus Umweltgründen auf Rest- und Abfallstoffe auszurichtende energetische Biomassenutzung kann mittel- und langfristig die Verfügbarkeit von biogenem CO<sub>2</sub> stark einschränken.<sup>9</sup>
- ▶ Zum anderen die Nutzung von CO<sub>2</sub> aus fossilen Verbrennungsprozessen oder Industrieprozessen. Dieses CO<sub>2</sub> ist weder regenerativ erzeugt noch treibhausgasneutral, es würde aber zumindest doppelt genutzt werden. Die CO<sub>2</sub>-Quelle bzw. der Anteil von CO<sub>2</sub> im Trägergasstrom von z. B. Rauchgas beeinflusst wesentlich die energetischen Aufwendungen und damit die Gesamteffizienz sowie die anfallenden Kosten. Die Kombination mit fossilen Kraftwerken oder industriellen Prozessen als CO<sub>2</sub>-Quelle ist eine aus technischer Sicht sinnvolle Option und im Transformationsprozess unter Umständen eine zur Entwicklung der PtG/PtL-Technik effektive Kombination. Die technisch sinnvolle Nutzung von CO<sub>2</sub> aus fossilen Quellen darf jedoch keine Pfadabhängigkeit suggerieren, eine höhere Auslastung fossiler Stromerzeugung begründen und damit das Erreichen der Klimaschutzziele gefährden. Energetisch vorteilhaft ist die Nutzung von Oxyfuelverfahren (Verbrennung mit reinem Sauerstoff), die in Deutschland in manchen Industriebranchenprozessen eingesetzt werden. Bei der Verbrennung entsteht fast reines CO<sub>2</sub>, das die Aufbereitung des Abgasstromes weniger aufwändig macht als bei der Verbrennung mit Luftsauerstoff.
- ▶ Auch die Atmosphäre kann als mögliche CO<sub>2</sub>-Quelle dienen. Der hierfür notwendige Energiebedarf muss dabei in die Gesamtbilanz eingerechnet werden. So ist zum Beispiel im Vergleich zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus Abgasen von Oxyfuelverbrennungsprozessen ein Mehrfaches an Energie notwendig.

Generell empfehlen wir, regenerative CO<sub>2</sub>-Ströme aus stationären Verbrennungen mit PtG/PtL-Anlagen zu verknüpfen. Da allerdings die Produktion und der Verbrauch von Methan üblicherweise örtlich getrennt sind und weiterhin ein großer Anteil davon im Verkehr verbraucht wird (diffuse, nichtstationäre Quellen), ist dieses Ziel in der Praxis nur schwierig erreichbar. Langfristig ist davon auszugehen, dass – auch bei Realisierung oben genannter CO<sub>2</sub>-Rückführung aus Verbrennungsprozessen – nur über Luftzerlegung aus der Atmosphäre ausreichend CO<sub>2</sub>

bereitgestellt und der Kohlenstoffkreislauf geschlossen werden kann.

In diesem Zusammenhang wird auf den Vorteil der direkten Nutzung von Wasserstoff hingewiesen: auf eine CO<sub>2</sub>-Quelle und die damit verbundenen zusätzlichen Energieverbräuche kann verzichtet werden. Der Strombedarf für seine Erzeugung ist deutlich geringer als für Methan oder flüssige Kraftstoffe. Daher ist es sinnvoll in einigen Anwendungsbereichen, verstärkt Wasserstoff direkt als Energieträger einzusetzen.

## 7 Empfehlungen für die nächsten Jahre

Wir empfehlen, für die Erreichung der Klimaschutzziele Techniken mit hohem Substitutionspotential im Laufe des Transformationsprozesses<sup>XIII</sup> frühzeitiger in die Stromversorgung zu integrieren als Techniken mit geringerem Substitutionspotential (siehe Abschnitt Substitutionswirkung von neuen Stromverbrauchern im Transformationsprozess, S.13 ff).

Um eine nahezu treibhausgasneutrale Volkswirtschaft zu realisieren ist es notwendig, PtG/PtL sektorübergreifend verfügbar und wettbewerbsfähig zu machen. Hierfür werden schon in den nächsten Jahren Pilot- und Demonstrationsanlagen gebraucht, um Lernkurveneffekte zu erzielen, Wissenstransfer zu gewährleisten und die erforderliche technische Weiterentwicklung anzuregen.

Entsprechend empfehlen wir, in den nächsten Jahren die Forschung und Weiterentwicklung der Technik voranzutreiben. Hierzu sind innovative Pilotprojekte und Demonstrationsanlagen im energiewirtschaftlichen Maßstab für alle Anwendungsbereiche von PtG/PtL notwendig. Neben der PtG/PtL-Anlagentechnik sollten auch die verschiedenen Anwendungsbereiche weiter beforscht und entwickelt werden.

Die Förderung sollte in den nächsten Jahren auf Demonstrationsvorhaben von zusätzlicher erneuerbar erzeugter Energie gespeisten Anlagen auf eine deutschlandweit installierte Leistung von insgesamt bis zu 500 MW beschränkt bleiben. Eine zu starke inländische Konkurrenz bei der Erschließung günstiger EE-Standorte für direkte Stromnutzung wird dadurch

vermieden. Aus Umwelt- und Klimaschutzgründen sollten weitere Förderkriterien vorgegeben werden. Strom sollte nur aus erneuerbaren Energiequellen bezogen und durch PtG/PtL-Anlagen keine zusätzliche fossile Stromerzeugung verursacht werden (siehe Absatz Substitutionswirkung von neuen Stromverbrauchern im Transformationsprozess, S.13 ff).

Darüber hinaus sollten weitere Förderbedingungen formuliert werden, die sich auf die Verknüpfung von Stoff- und Energieströmen mit der Industrie, die Steigerung von Effizienz, die Flexibilisierung von einzelnen Anlagenteilen oder die Verbindung mit diversen Anwendungstechniken beziehen.

Ein entscheidender Vorteil von Energieträgern, die über Elektrolyse und weitere Synthesen erzeugt wurden gegenüber Strom ist, dass sie besser speicherbar und leichter zu transportieren sind. Daher ist es sinnvoll, hierfür vor allem an günstigen EE-Standorten im Ausland Erzeugungskapazitäten in einem Umfang aufzubauen, der es z. B. ermöglicht, den Verkehrssektor (insbesondere den See- und Flugverkehr)<sup>XIV</sup> zu dekarbonisieren.

Eine umfassende und über Demonstrationsanlagen hinausgehende Förderung inländischer PtG/PtL-Anlagen ist wegen vergleichsweise teurer EE-Potentiale in Deutschland derzeit nicht zielführend. Vielmehr betonen wir, dass gegenüber Deutschland bereits heute Regionen im Ausland mit sehr hohem Anteil regenerativer Energien an der Stromversorgung existieren. Besonders bei einer erweiterten Betrachtung

XIII Also auch schon bei geringerem EE-Anteil in der Stromerzeugung (unter 80 Prozent - grobe Näherung, Wert ist modelltechnisch nicht verifiziert

XIV Siehe auch UBA (2015): „Klimaschutzbeitrag des Verkehrs – Notwendigkeit und Realisierungsoptionen einer regenerativen Energieversorgung im Verkehr“, Dessau-Roßlau.

globaler Wirtschaftsnetzungen und internationaler Energiestrategien sind diese Standorte besonders geeignet, zeitnah eigene PtG/PtL-Kapazitäten aufzubauen.

Die deutsche Förderpolitik sollte dem Rechnung tragen und durch einen gezielten Einsatz von Fördermitteln für Forschung und Entwicklung sowie der Förderung von Demonstrationsanlagen Lernpotentiale vor allem im Bereich *Learning-by-doing* und *Learning-by-using* adressieren.<sup>XV</sup>

Es sind internationale Strategien zur Umstrukturierung der Energieversorgung zu entwickeln, um den globalen Herausforderungen zum Klimawandel entgegen zu treten. Dabei kann auch PtG/PtL eine zentrale Rolle für die regenerative globale Versorgung von Brenn-, Kraft- und Rohstoffen und für einen internationalen regenerativen Energiemarkt darstellen.

### **Schrittweise Integration in bestehende Strukturen**

Um sektorale mittelfristige Klimaschutzziele konsequent zu erreichen und parallel dazu einzelne Wirtschaftsbereiche weiter zu entwickeln, kann eine erhöhte Nachfrage an regenerativen strombasierten Brenn-, Roh- und Kraftstoffen entstehen. Dies betrifft insbesondere den Verkehr und die chemische Industrie. So hat sich zum Beispiel die International Civil Aviation Organisation (ICAO) das Ziel gesetzt, den zusätzlichen Energiebedarf des wachsenden Flugverkehrs ab 2020 treibhausgasneutral zu gestalten. Derzeit verfolgt die ICAO für das global prognostizierte Wachstum des Flugverkehrs als wesentliche Strategie neben einer globalen marktbasieren Maßnahme den Einsatz von Biokraftstoffen aus Anbaubiomasse. Dies lehnen wir aus klima- und umweltpolitischen Gründen ab. Damit besteht in diesem Bereich dringender Handlungsbedarf. Unseres Erachtens kann die PtL-Technik als prinzipielle Alternative hierzu für den Zeithorizont 2020 jedoch nur einen kleinen Beitrag leisten.

Wir halten es generell für notwendig, der ganzheitlichen langfristigen Bedeutung der PtG/PtL-Technik gerecht zu werden. Wir schlagen vor, bei der Integration von PtG mit der Substitution der fossilen Wasserstoffwirtschaft zu beginnen, ggf. mit einer zeitnahen

Fokussierung der Substitution fossiler Wasserstoffwirtschaft in der Petrochemie.

Für die kurz- und mittelfristige Minderung der Treibhausgasemissionen von Kraftstoffen, insbesondere Emissionen die bei der Kraftstoffherstellung anfallen, sollten auch die Potentiale jetziger Techniken in Verbindung mit PtG/PtL berücksichtigt werden. Das bedeutet konkret, dass bei der speziellen Integration von PtG/PtL im Verkehrsbereich insbesondere die Petrochemie konzeptionell zu berücksichtigen ist. Hier ist im besonderen Maße die Integration von PtG gegeben. Bei nahezu jedem Raffinerieprozess besteht Bedarf an Wasserstoff. Dieser wird sowohl zur Entschwefelung der einzelnen Fraktionen (Kerosin, Diesel und Benzin), als auch zum Hydrocracken – also Aufspalten von langkettigen Kohlenwasserstoffen (z. B. Wachse) in kürzerkettige Kohlenwasserstoffe (z. B. Kerosin) – benötigt.

Bei der kurzfristigen Integration von PtG überwiegen Vorteile der direkten Substitution fossilen Wasserstoffs in der chemischen Industrie (also auch Petrochemie). Hier können effektive Minderungsbeiträge technisch leicht erschlossen werden. Die existierende Gasinfrastruktur sowie seit Jahrzehnten vorhandenes Know-how im Umgang mit dem Medium bilden dafür eine solide Ausgangsbasis. Aus der verstärkten Nutzung dieser Technik im Transformationsprozess ergebend sich Synergie- und Lerneffekte, die eine Weiterentwicklung und breite Anwendung von PtG/PtL unterstützen. Unter der Voraussetzung der ausschließlichen Nutzung von regenerativem Strom könnten mit aktuellem Stand der Technik ca. 5,8 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr in Deutschland eingespart werden.<sup>10</sup>

Bei der schrittweisen Integration der regenerativen Wasserstoffherzeugung in bestehende Strukturen kann nur ein Anteil der Treibhausgasemissionen der Kraftstoffbereitstellung substituiert werden. Entsprechend der UN-Regeln zur internationalen Klimaberichterstattung würden diese Minderungen der Quellgruppe Industrieprozesse zugeordnet. Bei der im Verkehr fachlich sinnvollen integrierten Betrachtung der Potentiale (Well-to-Wheel) würden damit die Minderungen bei der Kraftstoffherstellung berücksichtigt werden. Konkret bedeutet das, dass durch die

XV Für eine ausführliche Diskussion zu Lernkurveneffekten vergleiche (PIK 2012) Kosten des Ausbaus erneuerbarer Energien: Eine Metaanalyse von Szenarien.

Nutzung von regenerativ erzeugtem Wasserstoff die Treibhausgasemissionen der Kraftstoffe also auch der Flugtreibstoffe reduziert werden.

Um zu verhindern, dass Anbaubiomasse mittelfristig im Flugverkehr genutzt wird ist es notwendig Pilot- und Demonstrationsvorhaben zu fördern, eine Markteinführung der PtL-Technik zu ermöglichen und die langfristige Verfügbarkeit der Technik zur treibhausgasneutralen Gesamtversorgung des Flugverkehrs zu gewährleisten. Auch hier wäre in einem ersten Schritt die Beimischung zum fossilen Flugtreibstoff realisierbar.

Darüber hinaus halten wir es im Verkehrsbereich für notwendig, – wo immer möglich – den regenerativ erzeugten Strom direkt zu nutzen (z. B. Elektromobilität, Oberleitungs-Lkw), da dies der energieeffizienteste und ökonomischste Weg darstellt. Ebenso sollten auch bestehende Antriebstechniken optimiert und die PtL-Technik selbst für spezifische verkehrsbezogene Anwendungen wie den Flugverkehr erschlossen werden. Häufig fehlen je nach Katalysatormaterial beispielsweise aromatische Verbindungen im PtL-Kraftstoff. Damit ist dieser derzeit als vollständiges Substitut für Diesel einsetzbar, nicht jedoch für Benzin oder Kerosin.<sup>XVI</sup> Hier ist es mittelfristig notwendig, entweder auf Verkehrsträgerseite die Turbinen technisch weiter zu entwickeln und zu optimieren, oder die PtL-Technik anzupassen.

Wir empfehlen, die bestehenden Klimaschutzinstrumente und rechtlichen Rahmenbedingungen so weiterzuentwickeln, dass die PtG/PtL-Technik mittel- und langfristig sicher integriert werden kann. Dazu gehören beispielsweise weitere Schritte zur Reform und Weiterentwicklung des Emissionshandels, um seine Anreizwirkung zur Emissionsminderung weiter zu stärken, oder die Einbeziehung der national verursachten Anteile an internationalen Verkehrsströmen in die internationalen Klimaverhandlungen und Berichterstattungen.

Für eine zielführende und umfassende Klimaschutzstrategie im Verkehrsbereich sollten zusätzlich zur Elektromobilität strombasierte Kraftstoffe bei verkehrspolitischen Instrumenten und rechtlichen Rahmenbedingungen stärker berücksichtigt werden.

Wegen der ansteigenden Nutzungskonkurrenz und eingeschränkten Flächenverfügbarkeit für Biomasseanbau sollte langfristig keine Beschränkung auf Biokraftstoffe erfolgen, sondern die direkte Nutzung von erneuerbarem Strom und PtG/PtL-Kraftstoffen integriert werden. Weiterhin gehört dazu z. B. eine aus systemischer Sichtweise zielführende Mehrfachanrechnung von Elektromobilität und PtG/PtL in den europäischen und nationalen Richtlinien oder entsprechend zweckmäßige Berücksichtigung bei der Festlegung von Flottengrenzwerten. Für Industrie- prozesse sind entsprechende Normen und Standards weiter zu entwickeln.

Die bereits national bestehende Unterscheidung von PtG-Anlagen als Speicherlösung (bei Rückverstromung) und als Stromverbraucher zur Bereitstellung von Brenn-, Roh- und Kraftstoffen (ohne Rückverstromung) sollte beibehalten werden.

PtG-Anlagen konkurrieren als Speicherlösung mit anderen Speichersystemen und Lastmanagement. Eine Weiterentwicklung der rechtlichen Rahmenbedingungen für Steuern und Umlagen sollte dem Rechnung tragen und einen Wettbewerb um die aus ökologischer und volkswirtschaftlicher Sicht günstigsten Speichersysteme ermöglichen. Angesichts der sektorübergreifenden Herausforderung und der Konkurrenz zu anderen Stromspeichersystemen müssen die verschiedenen Instrumente dabei sachgerecht aufeinander abgestimmt sein.

Um ineffiziente Anreize mit Marktverzerrungen bei der Erschließung von Flexibilitäten (für die Integration der EE) im Strommarkt zu vermeiden, sollten PtG/PtL-Anlagen zur Bereitstellung von Brenn-, Roh- und Kraftstoffen bei den Netzentgelten und der EEG-Umlage gleichbehandelt werden mit PtH-Anlagen und industriellem Lastmanagement. Diese übernehmen im Gesamtsystem die gleiche Funktion und sind bei Analyse ihrer Bedeutung im Energiesystem sogar effizienter.

Die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen der PtG- und PtL-Technik sind weiterzuentwickeln. Dazu müssen die Rahmenbedingungen des Energiesystems insgesamt in den Blick genommen werden. Die vorliegenden Handlungsempfehlungen betreffen die

XVI Nach dem aktuellen weltweit gültigen Kraftstoffstandard (ASTM) sind im Flugverkehr ohne Anpassungen der Turbinen nur Kraftstoffe zugelassen, die einen maximalen Anteil an Fischer-Tropsch-Kerosin von 50 Prozent enthalten.

nächsten Jahre und müssen weiterentwickelt werden. So ist z. B. auch zu überlegen, in welchem Maße die strombasierten Energieträger steuerlich belastet werden sollen. Das übergreifende Ziel dabei muss es sein, eine möglichst effiziente Sektorkopplung zu erreichen und Fehlanreize zu vermeiden.

## Forschungsbedarf

PtG und PtL stehen erst am Beginn ihrer Entwicklung. Derzeit sind in Deutschland mehrere Demonstrationsanlagen in Bau und in Betrieb. In Island wird bereits eine Power to Liquid-Anlage zur Erzeugung von Methanol kommerziell betrieben. Kommerzielle Anlagen für die Erzeugung längererkettiger Kohlenwasserstoffe gibt es derzeit in Deutschland noch nicht.

Bis zum großtechnischen Markteinsatz der PtG-/PtL-Technik bestehen noch erhebliche Forschungsfragen und Entwicklungsbedarf, die/der in den nächsten Jahren bearbeitet werden sollte/n:

- ▶ Was sind die Folgen der durch PtG/PtL zunehmenden Verknüpfung der Energiemärkte und die daraus resultierenden Wechselwirkungen im Hinblick auf die klimaschonende Integration, sektorale Klimaschutzziele sowie ökonomische Aspekte und juristischen Herausforderungen?
- ▶ Wie ist die weltweite Entwicklung und was sind die Auswirkungen unterschiedlicher energiepolitischer Klimaschutzoptionen? Dazu gehören auch die sozialen und entwicklungspolitischen Auswirkungen der Nutzung von PtG/PtL in Ländern mit günstigen EE-Potenzialen.
- ▶ Wie entwickeln sich die Kosten von PtG und PtL bei verschiedenen weltweiten energiepolitischen Entwicklungen und Bedarfen?
- ▶ Wie sollten die staatlichen oder staatlich bestimmten Abgaben für eine klimafreundliche und systemdienliche Integration neuer Stromverbraucher entwickelt und umgestaltet werden?
- ▶ Welche weiteren Umwelteffekte sind mit der Nutzung der PtG/PtL-Technik verbunden (z. B. Verbrauch von Wasser, seltenen Erden)?
- ▶ Technische Entwicklung sind vor allem in folgenden Bereichen notwendig:
  - Anpassung an die fluktuierende Einspeisung der erneuerbaren Energien und Verfügbarkeit neuer effizienter Techniken (PEM<sup>XVII</sup>, HTELX<sup>VIII</sup>);
  - Identifizierung, Verfügbarkeit und Erschließung geeigneter CO<sub>2</sub>-Quellen;
  - Identifikation neuer, preiswerterer Katalysatoren unter Berücksichtigung von Ressourcenverfügbarkeit;
  - Energetische und wirtschaftliche Optimierung der CO<sub>2</sub>-Abtrennung aus Luft.
- ▶ Wie entwickeln sich perspektivisch weitere Synthesen zur Bereitstellung regenerativer Brenn-, Roh- und Kraftstoffe? Zum Beispiel alternative Verfahren zur Bereitstellung erneuerbaren Wasserstoffs, etwa die lichtinduzierte Wasserspaltung.
- ▶ Welche Einsatzmöglichkeiten für Wasserstoff als Endenergieträger bestehen in den verschiedenen Anwendungsbereichen (Strom-, Wärme-, und Kraftstoffversorgung) sowie beim Transport im Gasnetz und welche technischen Anpassungen sind erforderlich?
- ▶ Es besteht erheblicher Forschungsbedarf bei der Umstellung auf eine strombasierte und gasbasierte regenerative Wärmeversorgung in der Industrie. Dies gilt insbesondere bei Prozessen, bei denen Kohlenstoffträger notwendig sind. Auf Grund der langen Investitionszyklen in der Industrie ist dies von hoher Dringlichkeit.

XVII proton exchange membrane oder polymer electrolyte membrane.  
XVIII Hochtemperaturelektrolyse.

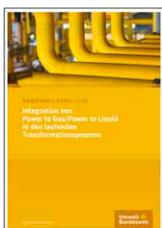
## 8 Fazit

Um die bestehenden langfristigen deutschen Klimaschutzziele (Reduktion der Treibhausgase um 95 Prozent gegenüber 1990) sicher zu erreichen ist es notwendig, die gesamte Energieversorgung (Strom, Wärme, Kraftstoff) nachhaltig, umweltschonend und nahezu treibhausgasneutral zu gestalten. Die direkte und indirekte Nutzung von regenerativem Strom mit Hilfe von Power to Heat, Power to Gas, Power to Liquid und Elektromobilität als zentrale Techniken bieten diese Lösungsmöglichkeit. Im Transformationsprozess sind mit der Integration neuer zusätzlicher Verbraucher jedoch enorme Herausforderungen verbunden. Dies betrifft sowohl eine klimafreundliche Integration, die Gewährleistung der technischen Verfügbarkeit, die Auswirkungen auf den Strommarkt und auch die regulatorischen Rahmenbedingungen.

Wir halten es für richtig und notwendig, PtG/PtL in Form von Pilotprojekten und Demonstrationsvorhaben in Deutschland zu fördern. Die Förderung sollte in den nächsten Jahren auf eine deutschlandweit installierte Leistung von insgesamt bis zu 500 MW beschränkt bleiben. Dabei muss jedoch gewährleistet werden, dass PtG/PtL-Anlagen nicht zu einer erhöhten fossilen Stromerzeugung führen und nur Strom aus zusätzlichen erneuerbaren Energieanlagen beziehen. Anderenfalls würden die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Stromerzeugung steigen und die Erreichung der Klimaschutzziele wäre gefährdet.

Wir halten es weiterhin für zwingend erforderlich, dass die Zielvorgaben an die neuen Stromverbraucher und den damit verbundenen Möglichkeiten andere Anwendungsbereiche regenerativ zu versorgen, angepasst werden. Dies bedeutet konkret, dass die nationalen EE-Ausbauziele anzupassen sind, das Stromeinsparziel hinsichtlich der klassischen Stromverbraucher zu konkretisieren ist und die übergreifenden (auch europäischen und internationalen) Klimaschutzinstrumente und Rahmenbedingungen weiter zu entwickeln sind, damit die Integration der neuen Stromverbraucher und insbesondere PtG/PtL gewährleistet werden kann.

- 1 UBA (2014): „Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050“; Dessau-Roßlau
- 2 UBA (2013): „Globale Landflächen und Biomasse nachhaltig und ressourcenschonend nutzen“ ; Dessau-Roßlau
- 3 BMWi (2012): Bericht der AG 3 Interaktion an den Steuerungskreis der Plattform Erneuerbare Energien, die Bundeskanzlerin und die Ministerpräsidentinnen und Ministerpräsidenten der Länder; Stand: 15.10.2012
- 4 UBA (2014): „Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050“; Dessau-Roßlau
- 5 2009/28/EG
- 6 2009/30/EG
- 7 UBA (2015): „Klimaschutzbeitrag des Verkehrs – Notwendigkeit und Realisierungsoptionen einer regenerativen Energieversorgung im Verkehr“, Dessau-Roßlau
- 8 DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH, Henel, M. (2012): Ergebnisse des DVGW-Projektes Energiespeicherkonzepte (G1-07-10), DBI Fachforum Energiespeicher-Hybridnetze, Vortrag, 12.09.2012, Berlin sowie DVGW (2013): Entwicklung von modularen Konzepten zur Erzeugung, Speicherung und Einspeisung von Wasserstoff und Methan ins Erdgasnetz; Bonn
- 9 UBA (2013): „Globale Landflächen und Biomasse nachhaltig und ressourcenschonend nutzen“ ; Dessau-Roßlau
- 10 UBA (2016): Climate Change 08/2016 „Klimaschutz und regenerativ erzeugte chemische Energieträger – Infrastruktur und Systemanpassung zur Versorgung mit regenerativen chemischen Energieträgern aus in- und ausländischen regenerativen Energien“; Dessau-Roßlau



► **Diese Broschüre als Download**  
[bit.ly/1p7s5Gj](https://bit.ly/1p7s5Gj)

 [www.facebook.com/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)  
 [www.twitter.com/umweltbundesamt](https://www.twitter.com/umweltbundesamt)



**HINTERGRUND // OKTOBER 2013**

# Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050

Für Mensch & Umwelt

**Umwelt  Bundesamt**

# Impressum

## Herausgeber:

Umweltbundesamt  
Fachgebiet I 2.2  
Postfach 14 06  
06813 Dessau-Roßlau  
Telefax: (0340) 2103-0  
E-Mail: [info@umweltbundesamt.de](mailto:info@umweltbundesamt.de)  
Internet: [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)

 [facebook.com/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)  
 [www.twitter.com/umweltbundesamt](https://www.twitter.com/umweltbundesamt)

## Autorinnen und Autoren:

Rosemarie Benndorf, Maja Bernicke, Andreas Bertram, Wolfgang Butz, Folke Dettling, Johannes Drotleff, Cornelia Elsner, Eric Fee, Christopher Gabler, Christine Galander, Yvonne Hargita, Reinhard Herbener, Tim Hermann, Fabian Jäger, Judith Kanthak, Hermann Kessler, Yvonne Koch, David Kuntze, Martin Lambrecht, Christian Lehmann, Harry Lehmann, Sandra Leuthold, Insa Lütkehus, Kerstin Martens, Felix Müller, Klaus Müschen, Diana Nissler, Sebastian Plickert, Katja Purr, Almut Reichart, Jens Reichel, Hanno Salecker, Jens Schuberth, Dietrich Schulz, Ulla Strenge, Marlene Sieck, Bärbel Westermann, Kathrin Werner, Christine Winde, Dietmar Wunderlich, Brigitte Zietlow

Autoren der Kurzfassung des Kapitels Landwirtschaft sind Bernhard Osterburg, Stephanie Kätsch und Anne Wolff, unter inhaltlicher und redaktioneller Mitarbeit von Diana Nissler und Dietrich Schulz. Die Ergebnisse beruhen auf Osterburg, Bernhard; Kätsch, Stephanie; Wolff, Anne (2013): Szenarioanalysen zur Minderung von Treibhausgasemissionen der deutschen Landwirtschaft im Jahr 2050, Thünen-Report, Sachverständigengutachten im Auftrag des Umweltbundesamtes.

Autoren der Kurzfassung des Kapitels Verkehr sind Ruth Blanck, Peter Kasten, Florian Hacker und Moritz Mottschall, unter inhaltlicher und redaktioneller Mitarbeit von Martin Lambrecht. Die Ergebnisse beruhen auf Blanck, Ruth; Kasten, Peter; Hacker, Florian; Mottschall Moritz (2013): Treibhausgasneutraler Verkehr 2050: Ein Szenario der zunehmenden Elektrifizierung und dem Einsatz stromerzeugter Kraftstoffe im Verkehr, Sachverständigengutachten im Auftrag des Umweltbundesamtes.

## Redaktion:

Kathrin Werner, Diana Nissler, Katja Purr

## Druck:

Hausdruckerei Umweltbundesamt

## Broschüren bestellen:

Umweltbundesamt  
c/o GVP  
Postfach 30 03 61 | 53183 Bonn  
Service-Telefon: 0340 2103-6688  
Service-Fax: 0340 2104-6688  
E-Mail: [uba@broschuerenversand.de](mailto:uba@broschuerenversand.de)  
Internet: [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)

Im Internet über <http://www.uba.de/publikationen/treibhausgasneutrales-deutschland-im-jahr-2050> als PDF-Dokument einsehbar und herunterzuladen.

## Bildquellen:

Titel: © Bernd Müller, BMU Bilderdatenbank  
S.4, S.7, S.13, S.16, S.19, S.20: [shutterstock.com](http://shutterstock.com)

Stand: Oktober 2013

# Inhalt

<b>4</b>	<b>Deutschland im Jahr 2050: 1 Tonne CO<sub>2Äq</sub> pro Kopf und Jahr</b>
<b>5</b>	<b>Die Szenarioanalyse für ein treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050</b>
<b>8</b>	<b>Treibhausgasemissionen im Jahr 2050</b>
<b>9</b>	<b>Senkung der Treibhausgasemissionen in den einzelnen Sektoren</b>
9	Energie
13	Verkehr
15	Industrie
18	Abfall und Abwasser
20	Landwirtschaft
24	Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF)
<b>25</b>	<b>Überlegungen zu den Wechselwirkungen zwischen Ressourcenproduktivität und Treibhausgasvermeidung</b>
<b>27</b>	<b>Fazit/Diskussion</b>
<b>30</b>	<b>Fußnoten</b>
<b>30</b>	<b>Quellenverzeichnis</b>



## Deutschland im Jahr 2050: 1 Tonne CO<sub>2</sub>Äq pro Kopf und Jahr

Die Industriestaaten tragen eine sehr große Verantwortung für den globalen Umweltschutz. Sie haben ihr heutiges Wohlstandsniveau durch die Nutzung fossiler Energieträger erreicht, sie haben die weltweiten Ressourcen ausgebeutet und intensive Landnutzung betrieben und sind damit Hauptverursacher eines Großteils heutiger Umweltprobleme wie der globalen Klimaerwärmung.

Der Klimawandel ist bereits im Gange. Die internationale Staatengemeinschaft hat sich unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen das Ziel gesetzt, eine gefährliche Störung des Klimasystems mit nicht mehr beherrschbaren Folgen zu verhindern. Das globale Klima soll sich in diesem Jahrhundert nicht um mehr als 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Zeitalter erwärmen.

Das gemeinsam gesetzte Klimaschutzziel wird nur erreichbar sein, wenn alle Staaten ihre Treibhausgasemissionen (THG), also z. B. von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan oder Lachgas, ihren eigenen Kapazitäten entsprechend so weit wie möglich reduzieren. Dies bedeutet für heutige Industrieländer wie Deutschland, dass sie nahezu treibhausgasneutral werden müssten: sie müssen ihre Emissionen um etwa 80–95 % gegenüber 1990<sup>1</sup> reduzieren.

*Ein treibhausgasneutrales Deutschland mit einem jährlichen Pro-Kopf-Ausstoß von einer Tonne CO<sub>2</sub>Äq im Jahr 2050 ist technisch möglich. Dies entspricht einer Minderung um rund 95 % gegenüber 1990.*

Das folgende Szenario<sup>11</sup> zeigt ein mögliches treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050. Es enthält keine Aussage darüber, mit welcher Wahrscheinlichkeit diese Entwicklung eintritt – und es ist keine Prognose. Wir zeigen, dass Deutschland prinzipiell bis 2050 seine Treibhausgasemissionen um 95 % gegenüber 1990 senken kann. Das gilt für ein Deutschland, das auch im Jahr 2050 ein hoch entwickeltes Industrieland mit heutigem Lebensstil und ähnlichen Konsum- und Verhaltensmustern ist. Die Studie stellt keine Prognose der künftigen Entwicklung dar, sondern beschreibt eine von verschiedenen Möglichkeiten, wie ein treibhausgasneutrales Deutschland aussehen könnte. Es wird immer deutlicher, dass es bei der Umstellung des Energiesystems auf ein treibhausgasneutrales Wirtschaftssystem beträchtliche Gestaltungsspielräume gibt. In jedem Fall wird der Umstieg des Energiesystems auf erneuerbare Energien eine Schlüsselfrage einnehmen. Die Energiewende und die Umsetzung ambitionierter Klimaschutzziele sind damit eine politische und gesellschaftliche Aufgabe, die vom Ende her gedacht und gestaltet werden muss: eine praktisch vollständig treibhausgasneutrale Wirtschafts- und Lebensweise.

Wesentliche Schritte hin zu einem treibhausgasneutralen Deutschland haben hohe Interdependenzen mit der Entwicklung innerhalb der EU und setzen eine europäische Politik voraus, die mindestens sehr hohe Treibhausgasminderungsziele für die gesamte Union verfolgt und nationale Politiken zur Treibhausgasneutralität unterstützt.

# Die Szenarioanalyse für ein treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050

Das Umweltbundesamt (UBA) untersucht seit einigen Jahren, wie das Klimaziel „Treibhausgasneutrales Deutschland“ erreicht werden kann. Um diese Frage zu beantworten hat das UBA einen interdisziplinären Prozess gestartet. Die Stromerzeugung wurde wegen ihrer hohen Emissionen als Erstes untersucht, und es wurde 2010 gezeigt, dass eine Stromerzeugung aus 100 % erneuerbaren Energien möglich ist.<sup>1</sup>

Schon damals war klar, dass eine Energieversorgung mit erneuerbaren Energien allein nicht ausreichen wird, um die Treibhausgasemissionen nahezu vollständig zu vermeiden. Auch andere Wirtschaftsbereiche müssten sich deutlich verändern und verstärkt THG-arme Techniken einsetzen.

Die nun vorgelegte Studie „Treibhausgasneutrales Deutschland – kurz: THGND – 2050“ bezieht daher alle relevanten Emissionsquellen in die Untersuchung

ein, die im jährlich erstellten Nationalen Inventarbericht (NIR)<sup>2</sup> zum Treibhausgasinventar beschrieben werden. Betrachtet werden also neben der kompletten Energieversorgung einschließlich des Wärme- und Verkehrssektors auch die THG-Emissionen von Industrie, Abfallwirtschaft, Land- und Forstwirtschaft sowie aus Landnutzungsänderungen. Wir entwickeln hierzu ein Zielszenario, Transformationspfade zu diesem Ziel und die damit verbundenen Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen und die Auswahl geeigneter politischer Instrumente sind nicht Gegenstand der Untersuchung.

Für die Szenarioanalyse gehen wir davon aus, dass Deutschland im Jahre 2050 ein exportierendes Industrieland mit einem bis dahin durchschnittlichen jährlichen Wirtschaftswachstum von 0,7 % des Bruttoinlandsprodukts ist.

## Ein treibhausgasneutrales Deutschland in europäischer und internationaler Perspektive

Mit der Studie wird gezeigt, dass Treibhausgasneutralität in Deutschland in der Zukunft technisch machbar ist. Das Szenario betrachtet dies aus einer rein nationalen Perspektive und bezieht Wechselbeziehungen zu anderen Ländern nicht mit ein. Grundlage der Untersuchung ist ein nationales Treibhausgas-Minderungsziel von 95 %, das – nach den getroffenen Annahmen – durch technische Maßnahmen in Deutschland erreicht werden kann. Dem folgend basieren die Berechnungen allein auf den Treibhausgasemissionen, die innerhalb Deutschlands entstehen. Deutschland ist jedoch sowohl über Handelsströme als auch über internationale Verträge mit anderen Staaten verbunden. Das wirkt sich sowohl auf die Verursachung von Treibhausgasen als auch auf die Handlungsoptionen für den Klimaschutz aus.

Nicht betrachtet wurde aufgrund des in dieser Studie gesetzten Untersuchungsrahmens die für importierte Güter im Ausland anfallende Emissionsmenge. Umgekehrt werden Emissionen für exportierte Güter nicht herausgerechnet. Ebenso wenig werden unter bestimmten Umständen mögliche Produktionsverlagerungen ins Ausland betrachtet (carbon leakage). Verlagert zum Beispiel eine große Industrieanlage ihren Standort von Deutschland nach Portugal und beliefert von dort den deutschen Markt, werden ihre Treibhausgasemissionen nicht mehr in den deutschen Emissionen, sondern im portugiesischen Inventar erfasst. Im deutschen Emissionsinventar werden entsprechend weniger Emissionen ausgewiesen. Rechnerisch ergibt sich dadurch für Deutschland eine Emissionsminderung, obwohl die Produkte der Industrieanlage nach wie vor in Deutschland konsumiert werden und so zusätzliche Treibhausgasemissionen in Portugal verursacht werden. ▶

Für diese Studie wurde die Annahme getroffen, dass die bisher in Deutschland ansässigen Industriezweige auch weiter hier tätig sind. Ausgehend von der heutigen Industriestruktur wurden die notwendigen technischen Anpassungen in den Prozessen beschrieben. Bei einer Untersuchung der wirtschaftlichen und regulatorischen Voraussetzungen für ein treibhausgasneutrales Deutschland sollte die Gefahr der Emissionsverlagerung mit untersucht werden. Einzelne augenfällige Verlagerungseffekte wurden in der Studie adressiert (vgl. Fazit/Diskussion, S. 27).

Grundsätzlich ist denkbar, Treibhausgasneutralität neben technischen Maßnahmen und Verhaltensänderungen innerhalb Deutschlands auch durch Anrechnung von Emissionsminderungsmaßnahmen im Ausland zu flankieren. Da Emissionsminderung zur Bekämpfung des Klimawandels eine globale Herausforderung ist, kann eine Finanzierung von Minderungsmaßnahmen im Ausland ökonomisch vorteilhafter sein als die Beschränkung auf nationale Minderungsaktivitäten. Die erzielten Emissionsminderungen können dabei dem Geldgeber angerechnet werden. Solche Instrumente sind unter den Bezeichnungen Joint Implementation (JI) und Clean Development Mechanism (CDM) zum Beispiel im Kyoto-Protokoll bereits vereinbart. Dabei betont aber das Kyoto-Protokoll den Anspruch, Minderungen hauptsächlich im eigenen Land zu erreichen und auswärtige Minderungen nur ergänzend anzurechnen. Die Fortsetzung und Anpassung mengenbasierter „flexibler“ Instrumente hängt allerdings auch stark von der Ausgestaltung eines neuen Klimaschutzabkommens auf internationaler Ebene ab. Die Verhandlungen dazu sollen 2015 abgeschlossen werden.

Als Mitgliedsstaat der Europäischen Union unterliegt Deutschland im Bereich der Umweltpolitik und des europäischen Binnenmarkts den EU-Regeln. Deshalb ist es wichtig, neben nationalen Anstrengungen auch gemeinschaftsweit, günstige Rahmenbedingungen für Treibhausgasneutralität zu schaffen. Die EU hat sich selbst ebenso wie alle Mitgliedsstaaten zum 2°-Ziel bekannt. In weiteren Schritten sollte daher untersucht werden, wie sich ein treibhausgasneutrales Europa realisieren ließe und welche Synergieeffekte zwischen den Staaten sich dabei erschließen lassen. Auch hierbei ist die globale Perspektive, insbesondere die Gefahr bloßer Emissionsverlagerungen aus der EU ins Ausland, zu berücksichtigen.

Das Ziel der folgenden Ausführungen ist es, die technische Machbarkeit einer treibhausgasneutralen Gesellschaft in dem angenommenen Zieljahr („2050“) in Deutschland darzustellen. Zudem basieren die Berechnungen darauf, dass Technologien, mit denen Treibhausgase vermieden und die Energieeffizienz gesteigert werden kann und die heute noch in der Erprobungsphase sind, im Jahr 2050 flächendeckend eingesetzt werden. Entsprechend geht die Darstellung von erheblichen technischen Fortschritten und Veränderungen aus.

Verhaltensänderungen wie Entwicklung und Verbreitung anderer Lebensstile oder die Entwicklung veränderter Konsummuster werden in dieser Studie weitgehend nicht unterstellt, auch wenn sie aus Sicht

des Umweltbundesamtes aus Nachhaltigkeitsgründen für wünschenswert und notwendig gehalten werden. Der Schwerpunkt der Studie liegt damit bewusst auf dem Einsatz technischer Lösungen, mit denen die Klimaziele unter Berücksichtigung ökologischer und gesundheitlicher Grenzen erreicht werden können. Zusammenhänge zwischen technischen Lösungen und verhaltensbedingter Treibhausgasvermeidung gehen gleichwohl unter anderem in den Kapiteln Verkehr, Landwirtschaft und Abfall in die Betrachtung ein.

Dabei verwenden wir in der Analyse den Stand der besten heute verfügbaren Techniken und setzen keine neuen Erfindungen, wohl aber Weiterentwicklung und Innovationen bei heutigen Techniken voraus.



Die Studie basiert desweiteren auf der Annahme, dass die Bevölkerungszahl in Deutschland von 82,5 Mio. Einwohnern im Jahr 2005 bis 2050 um nahezu 12,5 % abnimmt. Im Jahr 2050 werden demnach noch etwa 72,2 Millionen Menschen in Deutschland leben. Dieser Annahme<sup>II</sup> liegen eine annähernd gleichbleibende Geburtenrate von 1,4 Kindern je Frau, ein moderater Anstieg der Lebenserwartung und eine durchschnittliche jährliche Nettozuwanderung von 150.000 Menschen zugrunde.<sup>3</sup>

Neben Klimaschutz gibt es weitere Leitplanken einer nachhaltigen Entwicklung in Deutschland<sup>III</sup>, zum Beispiel:

- ▶ die Senkung der Ressourcennutzung um 50 % bis 2020 und um 90 % bis 2050,

- ▶ den erhaltenden Umgang mit Böden und eine auf 30 Hektar täglich gesenkte Neuversiegelung bis 2020 mit dem Ziel insgesamt langfristig keine Böden mehr zu versiegeln.

Auf diese Leitplanken geht die Studie jedoch nicht im einzelnen ein, wohl wissend, dass dies genauer untersucht werden muss.

Es ist unser Anliegen so weit wie in den verschiedenen Sektoren möglich, Lösungsräume zu beschreiben und damit verschiedene Alternativen aufzuzeigen, etwa durch Variationen der Parameter und Techniken oder durch unterschiedliche Szenarioansätze.

# Treibhausgasemissionen im Jahr 2050

Der in dieser Studie verwendete Begriff „treibhausgasneutral“ besagt in einer engen Auslegung, dass ein bestimmtes Produkt oder ein bestimmter Prozess keine Treibhausgase freisetzt. In dieser Publikation verwenden wir den Begriff auch für niedrigste, tendenziell klimaverträgliche Emissionsmengen. Einem „treibhausgasneutralen“ Deutschland billigen wir dementsprechend ein Emissionsbudget von rund 60 Mio. t CO<sub>2</sub>Äq zu. Das entspricht einem Minderungsniveau von 95 % gegenüber 1990 für 2050. Dies bedeutet, dass der gegenwärtige Pro-Kopf-Ausstoß von Treibhausgasen in Deutschland von etwa elf Tonnen pro Jahr und Kopf auf ungefähr eine Tonne reduziert werden müsste. Dabei sind ausschließlich Treibhausgasemissionen erfasst, die in Deutschland entstehen und im Nationalen Emissionsinventar erfasst werden. Indirekte Emissionen, die durch importierte Güter in anderen Ländern verursacht werden, werden nicht einbezogen.

Wie sich die im Jahr 2050 verbleibenden Emissionen auf die einzelnen Verursacher aufteilen, zeigt Tabelle 1. Aus Praktikabilitätsgründen wurden hier abweichend von der NIR-Systematik die Industrieprozesse (Sektor 2 nach dem Common Reporting Format (CRF) der internationalen Klimaberichterstattung) sowie Lösemittel und andere Produktverwendungen (CRF Sektor 3) zusammengefasst. Abbildung 1 veranschaulicht die Senkung der Treibhausgase um 95 % gegenüber dem Bezugsjahr 1990.

Tabelle 1

## Verteilung der Treibhausgasemissionen im UBA THGND 2050 – Szenario

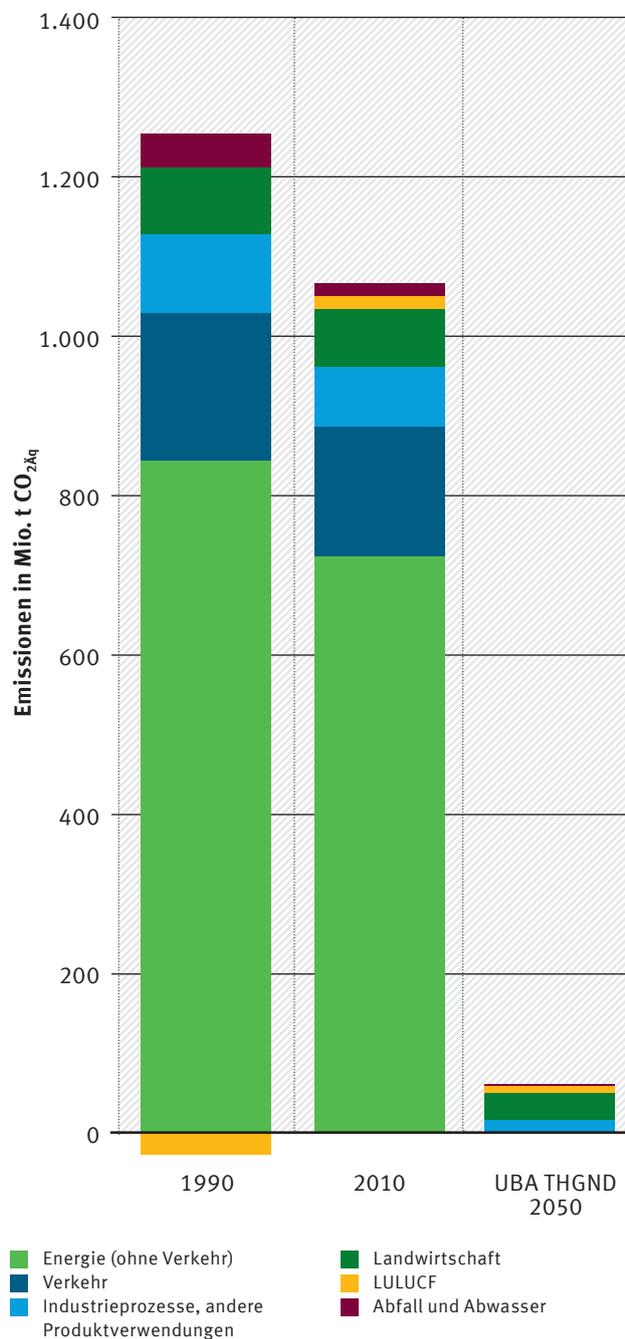
Emissionsquelle	CO <sub>2</sub> Äq in Mio. t
Energie <sup>I</sup>	0
Industrieprozesse, Lösemittel und andere Produktverwendungen	14
Landwirtschaft	35
LULUCF <sup>II</sup>	8
Abfall	3
<b>Summe</b>	<b>60</b>

I Inklusive Verkehr, verarbeitendes Gewerbe etc.  
 II Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft

Quelle: Umweltbundesamt, 2013

Abbildung 1:

## Treibhausgasemissionen<sup>I,II</sup>



I 1990 und 2010 nach NIR.  
 II Verkehr ohne internationalen Anteil am See- und Flugverkehr.

Quelle: Umweltbundesamt, 2013

# Senkung der Treibhausgasemissionen in den einzelnen Sektoren

Tabelle 2

## Gesamter Endenergieverbrauch im Jahr 2050 im UBA THGND 2050 – Szenario

	Strom in TWh	regeneratives Methan in TWh	flüssige regenerative Kraftstoffe in TWh
private Haushalte	104,7	44,5	0
Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD)	90,3	62,4	18,6
Industrie energetisch <sup>I,II</sup>	179,7	198,8	0
Verkehr	91,1	0	533,3
<b>Summe energetisch</b>	<b>465,8</b>	<b>305,7</b>	<b>551,9</b>
		<b>1.323,4</b>	
Industrie stofflich		282	
<b>Summe stofflich und energetisch</b>		<b>1.605,4</b>	

I Exklusive der 15,1 TWh aus internen Produktströmen in der Papierindustrie.

II Über den Strombedarf für Prozesse hinaus (siehe Absatz Industrie) wird Strom für die Bereitstellung von Raumwärme, Beleuchtung und Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) benötigt.

Quelle: Umweltbundesamt, 2013

## Energie

Die Emissionen im Energiesektor sinken von 1.028 Mio. t CO<sub>2,Äq</sub> im Jahr 1990 auf nahezu Null im Jahr 2050. Dies ist möglich, indem vollständig auf erneuerbare Energien umgestellt wird und die Effizienzpotenziale zugleich weitgehend ausgeschöpft werden. Über eine vollständige regenerative Stromversorgung<sup>IV</sup> hinaus, wird auch eine vollständig regenerative Versorgung mit Brenn- und Kraftstoffen aufgezeigt.

Die Folge davon ist ein sehr stark ansteigender Stromverbrauch um alle Sektoren zu versorgen: Der langfristige Endenergiebedarf an Strom in einem treibhausgasneutralen Deutschland wurde mit ca. 466 TWh/a, an Brennstoffen mit 305 TWh/a, an Kraftstoffen mit 552 TWh/a und an regenerativen Einsatzstoffen für die chemische Industrie mit 282 TWh/a abgeschätzt (siehe Tabelle 2 sowie Absatz Verkehr und Industrie). Werden diverse Verluste bei Bereitstellung und Transport der Endenergieträger berücksichtigt, ergibt sich in einer groben Näherung eine notwendige Nettostromerzeugung von rund 3.000 TWh/a.

Für eine nachhaltige Energieversorgung orientieren wir uns an folgenden Leitplanken:

- Das Umweltbundesamt hält den Anbau von Biomasse zum alleinigen Zweck einer energetischen Nutzung für nicht vertretbar – insbesondere wegen Nutzungskonkurrenzen um Anbauflächen und negativen Auswirkungen auf Wasser, Boden,

Biodiversität und Naturschutz.<sup>4</sup> Der Einsatz von Biomasse erfolgt in dieser Studie im Jahr 2050 daher nur insoweit sie aus Abfällen und Reststoffen gewonnen werden kann (Kaskadennutzung). Aus diesem Grund kann die Biomassenutzung nur einen sehr geringen Beitrag für das Gesamtsystem leisten.

- Darüber hinaus wird die Nutzung fossiler Energieträger in Verbindung mit CCS<sup>V</sup> aufgrund verschiedener Umweltauswirkungen und Nutzungskonkurrenzen im Untergrund nicht berücksichtigt.
- Die Nutzung von Atomkraft wird in dieser Studie ausgeschlossen.

Wir gehen stattdessen davon aus, dass Strom überwiegend aus Wind- und PV-Erzeugungsanlagen bereitgestellt wird, entsprechend der inländischen und globalen Potentiale. Wasserkraft- und Geothermieanlagen tragen in geringerem Maße zur Stromversorgung bei.

Zentraler Baustein einer vollständig regenerativen Energieversorgung ist die Erzeugung von Wasserstoff durch Wasserelektrolyse mit Hilfe von erneuerbar erzeugtem Strom. Aus Wasserstoff können durch weitere katalytische Prozesse Methan und weitere Kohlenwasserstoffe erzeugt werden. Die strombasierte Erzeugung von Wasserstoff oder Methan aus Strom wird im Folgenden als Power-to-Gas (PtG), die von flüssigen Kohlenwasserstoffen als Power-to-Liquid (PtL) bezeichnet.

Entsprechend der technischen Möglichkeiten in den Anwendungsbereichen ergeben sich verschiedene Lösungen im Endenergieträgermix. Der jeweilige Anteil dieser drei Energieträger im Endenergieträgermix ist aus technischen Gründen begrenzt. Eine qualitative Darstellung des denkbaren Lösungsraums für diese Zusammensetzung ist zum besseren Verständnis in Abbildung 2 dargestellt. In Abbildung 8 sind der mögliche Anwendungsbereich von Power to Gas und Power to Heat dargestellt.

Eine Versorgung allein mit regenerativem Strom als Endenergieträger ist nicht möglich. Strom kann vor allem im Verkehrsbereich, insbesondere im Flug- und Seeverkehr, nicht überall direkt eingesetzt werden. Strom ist als Endenergieträger in vielen Anwendungsbereichen, zum Beispiel in der Kommunikationstechnik oder Beleuchtung, aber nicht verzichtbar. In einem regenerativen Energiesystem ist ein sehr hoher Anteil von Strom als Endenergieträger realistisch. So erwarten wir langfristig, dass sich die Wärmeversorgung und Prozesswärmebereitstellung hin zu einer strombasierten Versorgung verschieben. Der mögliche Anteil von Wasserstoff im Endenergieträgermix ist nach oben hin ebenfalls technisch begrenzt, so ist er zum Beispiel für Langstreckenflüge nicht einsetzbar. Am anderen Ende des Lösungsraums ist eine treibhausgasneutrale Energieversorgung ohne Wasserstoff als Endenergieträger zwar denkbar. Ein höherer Wasserstoffanteil ist jedoch vorteilhaft, weil er gegenüber

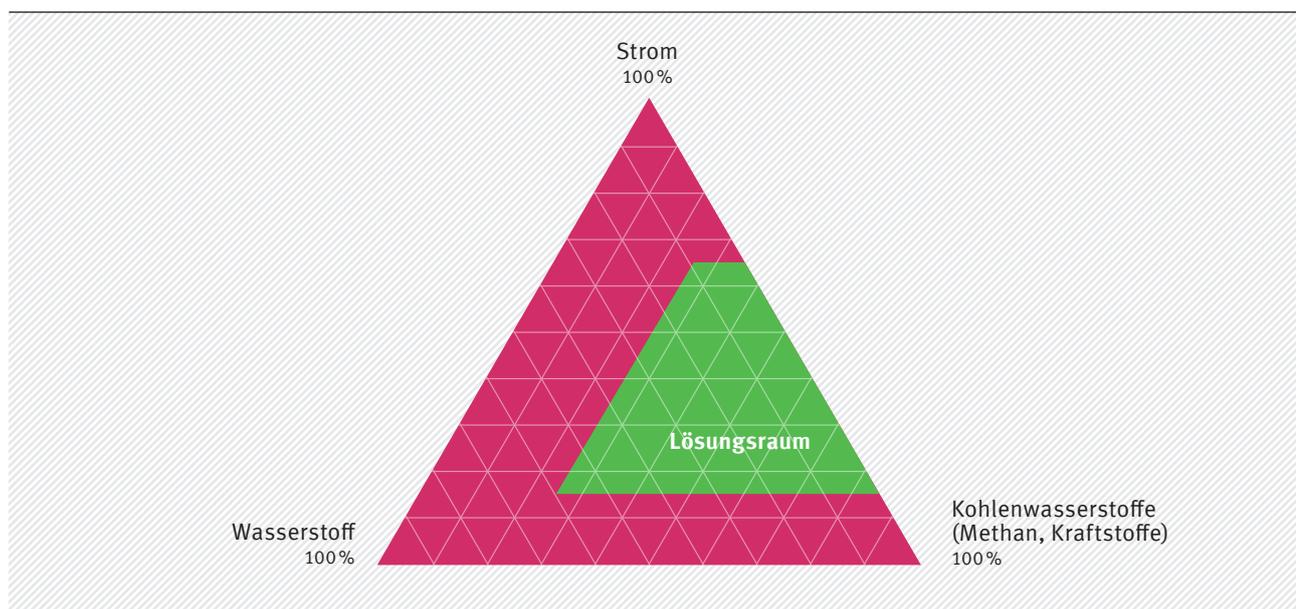
Methan und anderen Kohlenwasserstoffen energetisch effizienter erzeugt werden kann und weil keine Kohlenstoffquelle benötigt wird, um ihn zu erzeugen. Hier besteht jedoch vor allem bei der Nutzung von Wasserstoff noch Forschungs- und Entwicklungsbedarf. Der Einsatz von Wasserstoff als Kraftstoff wurde in unserer Studie aus Kapazitätsgründen nicht quantitativ modelliert. Seine direkte Nutzung ist teilweise als sinnvoll anzusehen. Hierzu sind weitere Analysen notwendig.

Regenerativ erzeugte Kohlenwasserstoffverbindungen sind als Brenn- und Kraftstoffe in einem treibhausgasneutralen Energiesystem sowie in der Industrie unabdingbar. Dafür muss jedoch eine treibhausgasneutrale Kohlenstoffquelle in ausreichender Menge verfügbar sein. Wichtige Einflussgrößen für den Anteil der einzelnen Energieträger sind energetische Verluste, Wirtschaftlichkeit, Verfügbarkeit von Ressourcen und die Erschließbarkeit von Anwendungsbereichen bzw. Technikentwicklungen.

In der Studie wird gezeigt, dass der Endenergieverbrauch 2050 gegenüber 2010 halbiert<sup>VI</sup> werden kann (siehe Abbildung 3). Vor allem bei den privaten Haushalten sind erhebliche Verbrauchsminderungen beim Strom- und Wärmeverbrauch möglich. Auch in der Industrie und im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) ergibt sich entsprechend der Annahmen mindestens eine Halbierung des Endenergiebedarfes.

Abbildung 2:

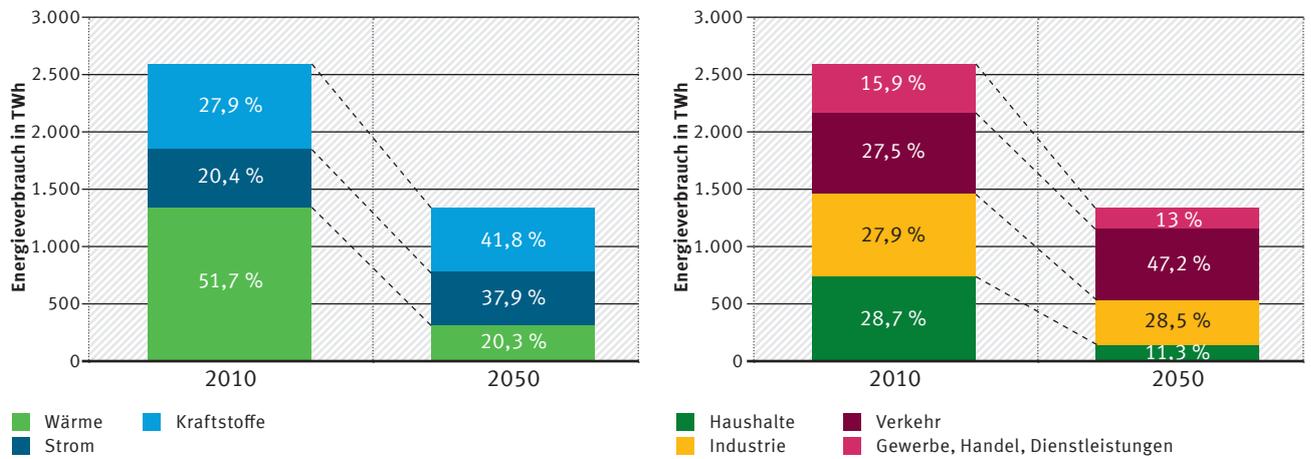
### Qualitative Darstellung des Endenergieträgermixes im UBA THGND-Szenario in einem Dreiecksdiagramm.



Quelle: Umweltbundesamt 2013

Abbildung 3:

**Vergleich der Endenergie im Jahr 2010 und 2050 im UBA THGND 2050-Szenario (links: Darstellung nach Anwendungen, rechts: Darstellung nach Sektoren)<sup>I,II</sup>**



I Im Verkehr werden bei der Bilanzierung für den Seeverkehr bisher nur die inländischen Bunkermengen einbezogen und nicht der deutsche Anteil am internationalen Seeverkehr. Ähnlich wird im Flugverkehr verfahren. Im Rahmen dieser Bilanzgrenzen wird eine erhebliche Minderung erreicht. Bezieht man jedoch den deutschen Anteil am internationalen See- und Flugverkehr mit ein, ergibt sich im Vergleich zu 2010 nur eine geringe Senkung des Endenergieverbrauchs.  
 II Ohne Endenergie in Form von regenerativem Methan als Einsatzstoff in der chemischen Industrie (aufgrund der derzeitigen Bilanzierungsweise).

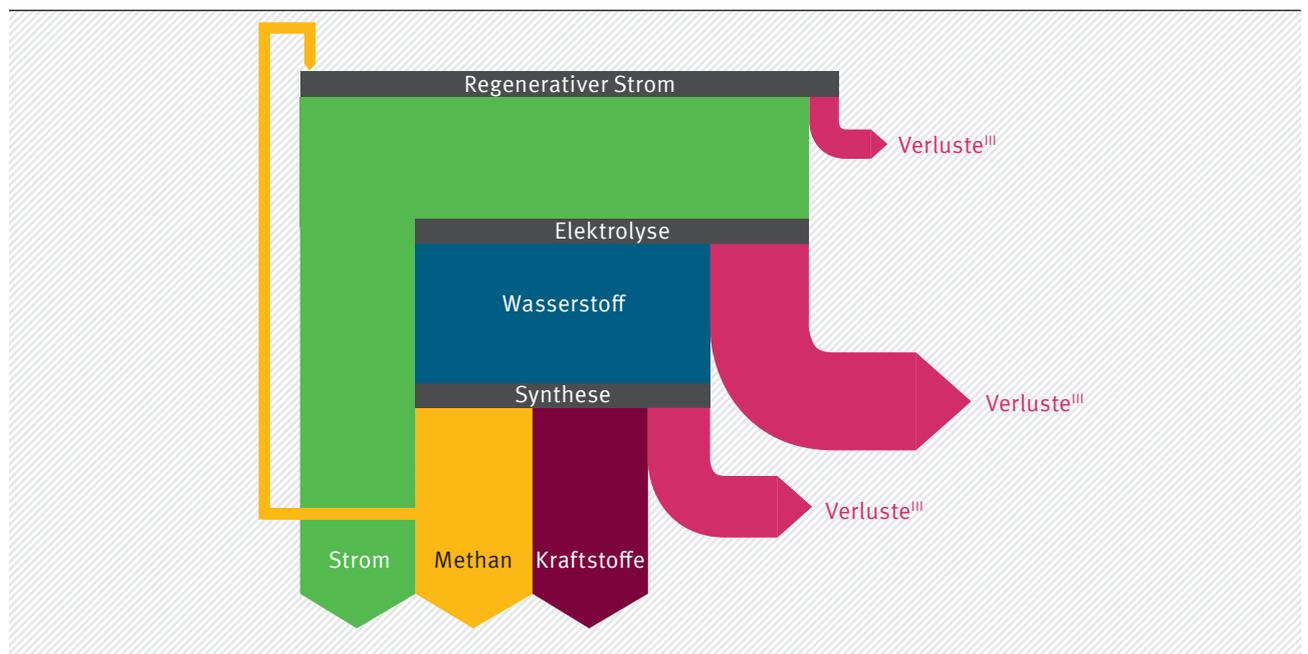
Quelle: Umweltbundesamt, 2013

Die Endenergie wird vornehmlich durch regenerativen Strom bereitgestellt. Zum besseren Verständnis ist der mögliche Energiefluss auf Basis der vorangegangenen Beschreibungen qualitativ in der folgenden Abbildung 4 dargestellt. Nicht mit abgebildet werden die weiteren Transportverluste beim Import von regenerativen Gasen und Kraftstoffen. Auch Wasserstoff haben wir als Endenergieträger in unserem Szenario

zunächst nicht eingesetzt (s. o., Ausführungen zum Wasserstoff im Lösungsraum). Der mögliche Umfang der Wasserstoffnutzung sollte in weiteren Forschungsprojekten erkundet werden, die die bessere energetische Effizienz der Wasserstoffnutzung abwägen gegen die Notwendigkeit, eine neue Infrastruktur für diesen Energieträger aufzubauen.

Abbildung 4:

**Qualitative Darstellung des Energieflusses im UBA THGN D 2050 Szenario<sup>I,II</sup>**



I Inklusiv des Bedarfs an regenerativen Einsatzstoffen für die chemische Industrie.  
 II Die Darstellungen der Energieströme sind proportional zu den notwendigen Energieströmen.  
 III einschließlich Leitungsverluste, der Verluste aus der Methan-Rückverstromung und der Verluste der Biomassennutzung und Strombereitstellung)

Quelle: Umweltbundesamt, 2013

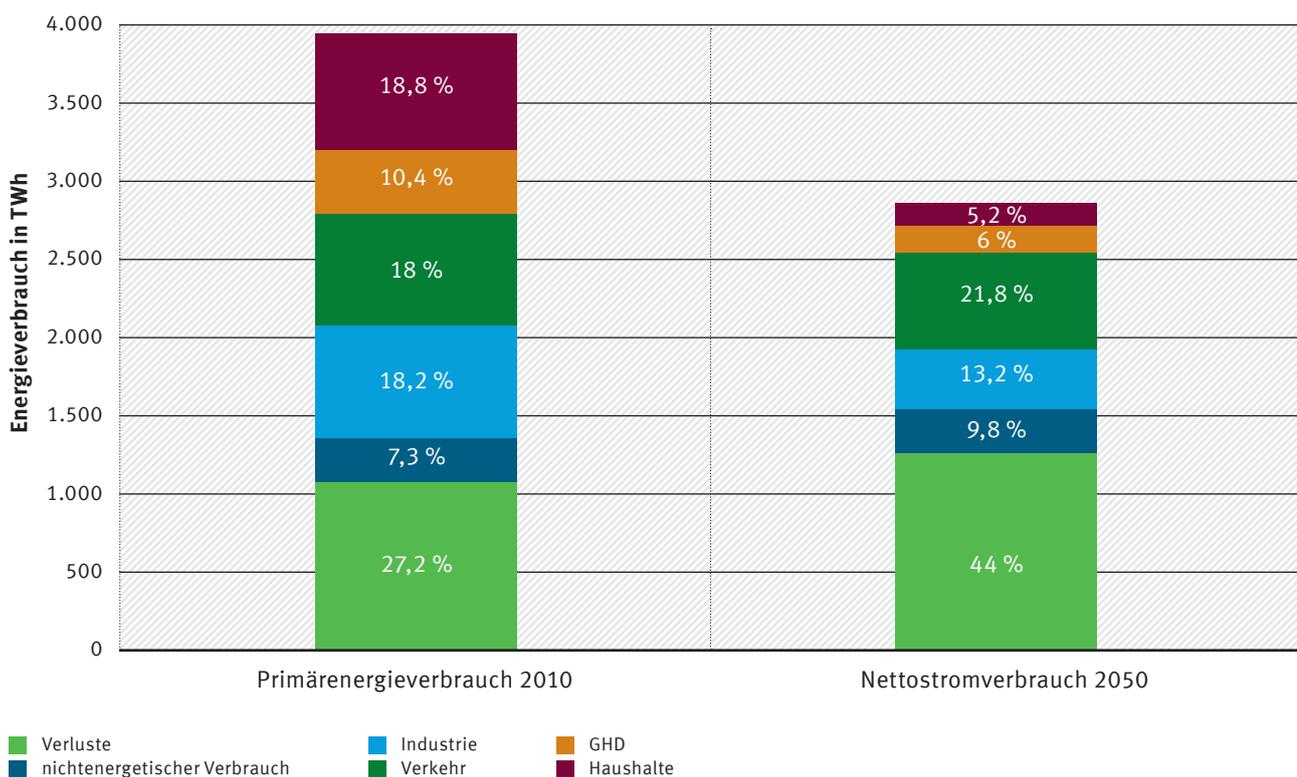
Wir gehen davon aus, dass im Jahr 2050 der direkt als Endenergie genutzte Strom (466 TWh/Jahr) vor allem im Inland produziert wird. Die technischen Potenziale den gesamten Strombedarf (rund 3.000 TWh/Jahr) national zu erzeugen, sind zwar vorhanden, da aber zum Beispiel aus ökologischen oder ökonomischen Gründen nur ein Teil dieser Potenziale sinnvoll genutzt werden kann, gehen wir davon aus, dass ein größerer Teil des in Deutschland benötigten Stroms im Ausland erzeugt werden würde. Dies wird zum einen voraussichtlich wirtschaftlicher sein, zum anderen können vor Ort die energetischen Verluste gemindert werden. Beim Transport der Energie, egal ob in Form von Strom, Methan oder Kraftstoffen, fallen ebenfalls energetische Verluste an, die ebenfalls die notwendige Erzeugungsleistung weiter erhöhen.

Eine dem heutigen Stand vergleichbare Importquote scheint realistisch.

Prinzipiell ist festzustellen, dass sich in einem regenerativen Energiesystem die Umwandlungsverluste bei der Bereitstellung von Brenn- und Kraftstoffen im Vergleich zum fossilen System erhöhen. Im Jahr 2010 betrug die statistischen Verluste<sup>VII</sup> im Energiesystem rund 27 %. Unter den vorangestellten Annahmen würden sich in einem solchen regenerativen Energiesystem Verluste<sup>VIII</sup> von etwa 44 %<sup>IX</sup> ergeben. Allerdings sei darauf hingewiesen, dass hier die Umwandlung eines endlichen fossilen Potenzials verglichen wird mit der Umwandlung eines erneuerbaren Potenzials.

Abbildung 5:

### Sektoraler Energieverbrauch 2010 und im UBA THGND 2050 – Szenario



Quelle: Umweltbundesamt, 2013



## Verkehr

Ein treibhausgasneutraler Verkehrssektor ist bis zum Jahr 2050 realisierbar. Die energiebedingten Emissionen des Verkehrs können auf nahezu Null reduziert werden. Diese ist möglich, wenn der Sektor vollständig auf erneuerbaren Strom umgestellt wird. Der Lösungsweg ist jedoch mit einem hohen zusätzlichen Strombedarf für Fahrstrom und stromerzeugte, synthetische Kraftstoffe verbunden. Es ist daher unumgänglich, den Endenergiebedarf des gesamten Verkehrssektors deutlich zu senken – trotz des prognostizierten Verkehrsanstiegs.

Damit ein treibhausgasneutraler Verkehrssektor realisiert werden kann, ist eine Vielzahl von Maßnahmen innerhalb und außerhalb des Verkehrssektors nötig. Einerseits müssen Anreize für technische Innovationen gesetzt werden, andererseits tragen auch über technische Lösungen hinausgehende Maßnahmen zur Verkehrsvermeidung und -verlagerung sowie Effizienzsteigerung wesentlich zur Lösung bei. Der Verkehrssektor kann seinen Endenergiebedarf nur durch einen Mix aus allen drei genannten Bereichen deutlich senken.

*Verkehrsvermeidung* ist die direkteste Möglichkeit um den Endenergiebedarf zu reduzieren. Verkehr zu vermeiden und Mobilität zu ermöglichen, müssen dabei nicht notwendigerweise gegensätzliche Ziele sein. Ein Beispiel hierfür sind Siedlungsstrukturen, die Arbeiten, Einkaufen und Freizeit im Nahraum zusammenbringen und dadurch Wege verkürzen: Der Verkehr ist geringer – die Mobilität ist hoch.

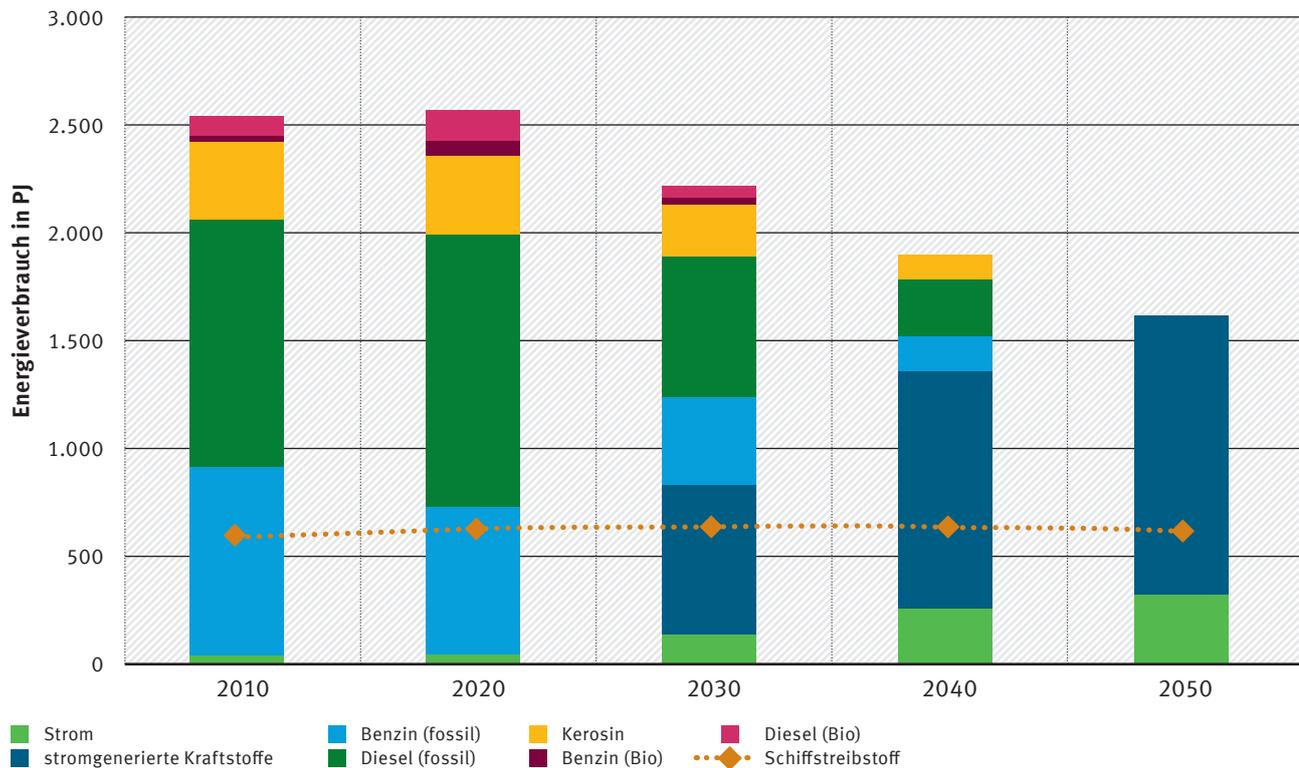
*Verkehrsverlagerung* auf umweltgerechte Verkehrsträger ist ein weiterer wichtiger Baustein eines energieeffizienten Verkehrssektors. Den motorisierten Individualverkehr (MIV) auf den Umweltverbund (Fahrrad/Fuß/Bus & Bahn/Car-Sharing) oder den Güterverkehr von der Straße auf die Schiene oder Wasserstraße zu verlagern trägt in hohem Maße dazu bei, den Endenergiebedarf zu senken.

Der dritte Baustein ist die *Effizienzsteigerung* der eingesetzten Fahrzeuge.

Als vierte Komponente kommt der Einsatz von nahezu CO<sub>2</sub>-freien Kraftstoffen ins Spiel.

In unserem Szenario für einen treibhausgasneutralen

Abbildung 6:

**Endenergiebedarf nach Energieträgern im Verkehr im UBA THGND 2050 – Szenario<sup>12</sup>**

Quelle: Blanck et al. (2013)

Verkehr liegt der Endenergiebedarf des Verkehrssektors bei 2.248 PJ bzw. 624 TWh<sup>x</sup> (inkl. Seeschifffahrt) und damit um rund ein Viertel unter dem Endenergiebedarf des Trends – also ohne Umsetzung zusätzlicher Maßnahmen. Wesentliche Gründe hierfür sind neben der etwas geringeren Verkehrsleistung und der Verlagerung zu energieärmeren Verkehrsträgern vor allem der höhere Anteil von elektrisch betriebenen Fahrzeugen im Straßenverkehr.

Im dargestellten Szenario beträgt der Anteil der stromerzeugten Kraftstoffe über 80 %. Bei der Berechnung des Strombedarfs für die Kraftstoffherzeugung wurde davon ausgegangen, dass alle Kraftstoffe über die PtL-Technik erzeugt werden. Es muss hervorgehoben werden, dass es sich um eines von einer ganzen Reihe möglicher Szenarien handelt. Die Strombedarfsrechnung stellt in dem vorgestellten Szenario gezielt die Obergrenze des notwendigen Bedarfes dar und markiert einen Extrempunkt im Lösungsraum. Es bedarf einer umfassenden Analyse, ob und wenn ja, in welcher Form strombasierte Kraftstoffe für die einzelnen Verkehrsträger bereitgestellt werden sollen. Nur 20 % des Stroms finden direkten Einsatz (ohne Seeschifffahrt, siehe Abbildung 6). Dies liegt vor al-

lem daran, dass zwar bei den Pkw bis zum Jahr 2050 57 % der Fahrleistung elektrisch erbracht werden, die Restriktionen beim Schwerlastverkehr sowie der Einsatz von stromgenerierten Kraftstoffen bei den übrigen Verkehrsmitteln (insbesondere bei Flugzeugen) aber zu einem hohen Anteil von Fahrzeugen mit konventionellen Antrieben führen.

Gegenüber dem direkten Einsatz von Strom in Elektrofahrzeugen gibt es jedoch Umwandlungsverluste wenn stromgenerierte Kraftstoffe erzeugt werden. Der gesamte Strombedarf (Nettostromerzeugung) des Verkehrssektors – einschließlich dieser Umwandlungsverluste – liegt daher deutlich höher. Unter dem Gesichtspunkt der Energieeffizienz je gefahrenen Kilometer ist es daher zu bevorzugen, Strom in Elektrofahrzeugen direkt einzusetzen. Demgegenüber bestehen die Vorteile der stromerzeugten Kraftstoffe in der Möglichkeit der Stromspeicherung sowie darin, sie in nicht für die Elektrifizierung geeigneten Bereichen des Verkehrssektors einzusetzen.

Das entwickelte Szenario mit dem Fokus auf strombasierten Kraftstoffen zeigt, dass sich die Menge des benötigten Stroms trotz zurückgehendem Endener-

giebedarf deutlich erhöht. Nur unter der Voraussetzung der ausreichenden Verfügbarkeit von Strom aus erneuerbaren Energien ist ein treibhausgasneutraler Verkehrssektor realisierbar.

## Industrie

Die Ergebnisse zeigen in ihrer Summe, dass sich ein treibhausgasneutraler und energieeffizienter Industriesektor in Deutschland im Jahre 2050 entwickeln kann, wenn die für diese Studie zugrunde gelegten Rahmenbedingungen berücksichtigt werden. Die energiebedingten Treibhausgasemissionen können durch den Einsatz von regenerativ erzeugtem Strom, Wasserstoff und Methan vollständig vermieden werden. Die prozess- bzw. rohstoffbedingten Emissionen können ebenfalls erheblich gesenkt werden und liegen im Jahr 2050 noch bei 14 Mio. t CO<sub>2Äq</sub>. Die größten Emittenten sind dann die Zementindustrie mit 6,3 Mio. t CO<sub>2Äq</sub>, die Kalkindustrie mit 3,5 Mio. t CO<sub>2Äq</sub> und die Glasindustrie mit 0,8 Mio. t CO<sub>2Äq</sub>.

Die Struktur des Industriesektors ist nach der Annahme im Szenario im Jahre 2050 im Wesentlichen mit der aktuellen Struktur vergleichbar. Neue, sich möglicherweise künftig entwickelnde Branchen werden im Bericht nicht betrachtet.

Die Auswahl der im Szenario betrachteten Branchen erfolgte auf Basis des Endenergieverbrauchs (EEV) der Industrie nach Wirtschaftszweigen und Branchen wie in der UBA-Publikation „Datenbasis zur Bewertung von Energieeffizienzmaßnahmen 2008 (Auswertung für das Jahr 2008)“ dargestellt.<sup>5</sup> Ziel war es dabei, die im Hinblick auf den industriellen EEV tatsächlich relevanten Branchen zu berücksichtigen.

Die international vereinbarte NIR-Systematik zur Darstellung der THG-Emissionen entspricht nicht der Systematik der Branchenstruktur des Industriesektors in Deutschland. Folglich mussten für die Bestimmung des Energieverbrauchs im Ausgangsjahr 2010 Branchendaten aus alternativen Quellen genutzt werden. Die hier zugrunde gelegten Energie- und Emissionsdaten sind folglich mit dem NIR nicht kompatibel. Wegen des Fehlens verwertbarer Branchendaten für 1990 ist deshalb auch ein Bezug der THG-Minderungen zum Jahr 1990 in diesem Kapitel nicht möglich.

Um regenerativ erzeugte Energieträger sowie regenerativen Strom einsetzen zu können, ist es in vielen

Branchen nötig, die Herstellungsprozesse grundsätzlich umzustellen und geeignete Anlagentechniken einzusetzen. Beispielsweise gehen wir in der Studie davon aus, dass es in der Stahlindustrie keine Primärstahlerzeugung über die Hochofen-Oxygenstahl-Route mehr gibt. Dafür wird die Elektrostahlerzeugung mittels Schrott und Schwammeisen (DRI) massiv ausgebaut. Als Energieträger für die Direktreduktion dient dann ausschließlich regenerativ erzeugtes Methangas und für die Elektrolichtbogenöfen sowie die Walzwerksöfen kommt ausschließlich regenerativer Strom zum Einsatz.

Obwohl in vielen Bereichen bis 2050 Produktionssteigerungen erwartet werden, zeigt die Studie, dass der gesamte Endenergieverbrauch im Vergleich zum Bezugsjahr 2010 zukünftig mit rund 373 TWh/a um ca. 50 % geringer sein wird. Damit verringert sich der spezifische Energieeinsatz je Tonne Produkt in zahlreichen Branchen im Mittel um den Faktor 2 bis 4. Dies wird in vielen Fällen erreicht, indem Fertigungsprozesse im Hinblick auf Material- und Energieeffizienz optimiert werden, die Abwärme konsequent genutzt und hocheffiziente Anlagentechnik eingesetzt wird. Dabei geht das Szenario von zahlreichen Technikinnovationen im Laufe der nächsten vier Jahrzehnte aus.

Hauptenergieträger im Jahr 2050 sind mit einem Anteil am gesamten industriellen Endenergieverbrauch von rund 50 % (199 TWh/a) regenerativ erzeugtes Methan und ca. 45 % (159 TWh/a) regenerativ erzeugter Strom (Tabelle 3). Entsprechend müssten in erheblich größerem Umfang als heute strombasierte Techniken eingesetzt werden. Dies würde auch weiteres Potenzial für die Teilnahme am Regelenergiemarkt bedeuten und die Flexibilität im Strommarkt erhöhen.

Im Bereich der Chemischen Industrie sowie der Stahlindustrie wäre anstelle des regenerativ erzeugten Methans regenerativ erzeugter Wasserstoff einsetzbar – sowohl als Energieträger als auch als Reduktionsmittel. Ein breiter Einsatz von regenerativ erzeugtem Wasserstoff im gesamten Industriesektor wäre hingegen nur nach umfangreichen infrastrukturellen Veränderungen (z. B. Errichtung eines deutschlandweiten Wasserstoffnetzes) sowie prozesstechnischen Neu- und Weiterentwicklungen in den einzelnen Branchen möglich. Bei der Verwendung von regenerativ erzeugtem Methan kann hingegen die Infrastruk-

Tabelle 3

## Energiedaten des Industriesektors und des Bereichs Verarbeitendes Gewerbe im UBA THG-ND 2050 – Szenario

	gesamter EEV in TWh/a	regeneratives Methan in TWh/a	regenerativer Strom in TWh/a	Nutzung interner biogener Restströme in TWh/a	Änderung des ges. EEV gegenüber 2010 in %
Stahlindustrie <sup>I</sup>	104,7	66,7	38,0		-42,19
NE-Metallindustrie	16,5	6,3	10,2		-35,29
Gießereiindustrie	6,5	1	5,5		-49,31
Chemische Industrie <sup>II</sup>	81,0	bis 61,0	20,0		-55,49
Zementindustrie	15,4	11	4,4		-44,78
Glasiindustrie	4,8	0	4,8		-81,31
Kalkindustrie	4,7	4,3	0,4		-43,27
Papier- und Zellstoffindustrie	37,6	16,6	5,9	15,1	-48,15
Nahrungsmittelindustrie	37,4	0	37,4		-32,97
Textilindustrie	4,3	1,8	2,5		-49,82
sonstige Branchen (nicht im Bericht betrachtet) <sup>III</sup>	60,2	30,1	30,1		
<b>Summe</b>	<b>373,1</b>	<b>198,8</b>	<b>159,2<sup>IV</sup></b>	<b>15,1</b>	

I Es wird angenommen, dass es technisch möglich sein wird, einen großen Teil des Bedarfs an regenerativem Methan auch mit dem energetisch günstigeren, regenerativ erzeugten Wasserstoff zu decken.

II Methan und Wasserstoff können gleichrangig eingesetzt werden, sodass ihre Summe 61 TWh/a ergibt. Dem Bereich liegt die Annahme zugrunde, dass bei einer jährlichen Minderung von 1,5 %/a von heute bis 2050 über alle Energieträger für Methan/Wasserstoff 61 TWh und für Strom 20 TWh entfallen. Zusätzlich werden 282 TWh Methan als regenerativer Rohstoff bzw. als Kohlenstoffquelle in der chemischen Synthese benötigt.

III Für die sonstigen Branchen, die nicht im Bericht betrachtet wurden, wurde im Mittel angenommen, den gesamten EEV um 50 % gegenüber 2010 zu verringern, sowie eine 50 zu 50-Verteilung von regenerativ erzeugtem Methan zu regenerativ erzeugtem Strom in 2050.

IV Ohne Strombedarf für RaumwärmeverSORGUNG und Informations- und Kommunikationstechnik

Quelle: Umweltbundesamt 2013

tur des bereits vorhandenen Erdgasnetzes verwendet werden und der Grad der technischen Anpassungen wird insgesamt als deutlich geringer eingeschätzt. Daher wird auf Basis einer konservativen Schätzung des Energiebedarfs innerhalb des entwickelten Szenarios für den gesamten Industriesektor ausschließlich der Einsatz von regenerativ erzeugtem Methan betrachtet.

Daneben werden in der Papierindustrie etwa 15 TWh/a in Form von produktionsbedingten Bioreststoffen (Lignin usw.) eingesetzt.

Zusätzlich gehen wir davon aus, dass zukünftig 282 TWh/a regenerativ erzeugtes Methan in der Chemischen Industrie als Kohlenstoffquelle in der chemischen Synthese eingesetzt wird. Auf diese Weise werden auch die prozessbedingten Treibhausgasemissionen in vielen Bereichen der Chemischen Industrie, beispielsweise bei der Ammoniakherstellung, vollständig vermieden.

Im gesamten Industriesektor ergibt sich für 2050 eine Reduzierung der prozessbedingten Treibhausgasemissionen auf rund 14 Mio. t im Jahr und somit um rund 75 % im Vergleich zu 2010 (Tabelle 4). Die Einsparung kann vor allem durch Produktumstellungen – wie in der Zementindustrie –, sowie der Nutzung regenerativ erzeugter Rohstoffe für die Chemische Industrie erreicht werden. Die Substitution von F-Gasen ist in vielen Bereichen schon heute technisch möglich, wird aber noch nicht in ausreichendem Maße vollzogen. Würden bis zum Jahr 2050 alle heute technisch möglichen Maßnahmen umgesetzt werden, könnten die F-Gas-Emissionen um 92 % gesenkt werden, auf ein Minimum von 1,204 Mio. t CO<sub>2Äq</sub> im Jahr 2050. Durch produkt- und prozessbezogene Maßnahmen, den Einsatz von Lösemitteln aus nachwachsenden Rohstoffen und eine Effizienzsteigerung beim Lösemittelleinsatz können die Emissionen von NMVOC auf 0,765 Mio. t CO<sub>2Äq</sub> bis 2050 reduziert werden. Für die Emissionen aus dem Lachgaseinsatz nehmen wir an, dass sie durch den Verzicht in der Anästhesie automatisch auf 0,031 Mio. t CO<sub>2Äq</sub> zurück gehen werden.

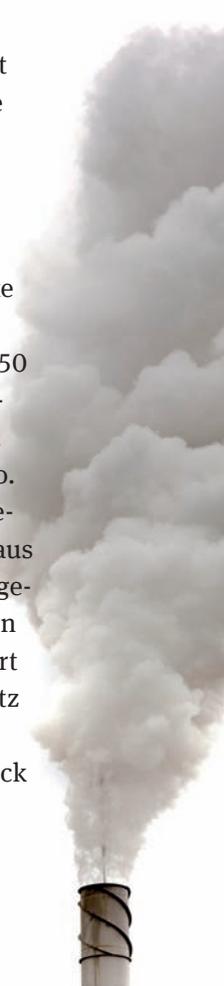


Tabelle 4

## Treibhausgasemissionen des Industriesektors und des Bereichs Verarbeitendes Gewerbe im UBA THGND 2050 – Szenario

Treibhausgasemissionen (THG-EM) in t CO <sub>2</sub> Äq/a			
	energiebedingte	prozessbedingte	Änderung Gesamtemissionen gegenüber 2010 in %
Stahlindustrie <sup>I</sup>		162.000	-99,7
NE-Metallindustrie		0	-100,0
Gießereiindustrie		0	-100,0
chemische Industrie <sup>II</sup>		500.000	-98,7
Zementindustrie <sup>III</sup>		6.330.000	-79,8
Glasindustrie		761.563	-94,1
Kalkindustrie <sup>IV</sup>		3.530.000	-64,8
Papier- und Zellstoffindustrie		0	-100
Nahrungsmittelindustrie		0	-100
Textilindustrie		0	-100
<b>Produktion und Einsatz fluorierter Treibhausgase</b>			
Aluminium- und Magnesiumindustrie		283.000	8,0
Produktion fluorierter Treibhausgase		300.000	17,2
Kälte-, Klimaanlage und Wärmepumpen		28.000	-99,7
Herstellung von Dämmstoffen		69.000	-89,7
Feuerlöschmittel		0	-100,0
Aerosole und Lösemittel		100.000	-78,2
Halbleiterproduktion		109.000	-26,4
Elektrische Betriebsmittel		65.000	-88,0
Sonstige SF6-Anwendungen		250.000	-90,6
<b>Emissionen von Lösemitteln und anderen Produktverwendungen</b>			
Anwendung von Farben und Lacken		255.310	-55,4
Entfettung sowie Chemische Reinigung		47.785	-42,1
Herstellung und Anwendung chemischer Produkte		70.938	-42,4
Andere Anwendungen von Lösemitteln		390.824	-51,4
sonstige Branchen (nicht im Bericht betrachtet)	0		
<b>Summe</b>	<b>0</b>	<b>13.783.420<sup>V</sup></b>	

I CO<sub>2</sub>-Emissionen entstehen nur durch den Abbrand der Graphitelektroden im Elektrolichtbogenofen.

II Prozessbedingte Treibhausgasemissionen entstehen nur noch als N<sub>2</sub>O in der Adipinsäure- u. Salpetersäureproduktion, da 2050 ausschließlich Kohlenstoffquellen in der chemischen Synthese verwendet werden, die auf regenerativem Methan basieren.

III Unter der Annahme, dass im Vergleich zum Jahr 2010 durch die neuen Produktionsverfahren und Produkte die rohstoffbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen der Zementproduktion um 80 % gesenkt werden können, entstehen im Jahr 2050 noch etwa 2.500 kt CO<sub>2</sub> aus der Entsäuerung von Rohmaterialien.

IV Die Rohstoff- und damit prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen reduzieren sich aufgrund des Produktionsrückgangs um 30 % bis 2050.

V Inklusiv 31.000 t CO<sub>2</sub>Äq aus Lachgaseinsatz.

Quelle: Umweltbundesamt 2013

## Abfall und Abwasser

Zwischen 1990 und 2010 sind die Emissionen im Sektor Abfall und Abwasser bereits erheblich zurückgegangen. Langfristig werden die Emissionen weiter sinken und 2050 rund 3 Mio. t CO<sub>2Äq</sub> betragen. Das entspricht einer Minderung um mehr als 90 % gegenüber 1990.

Indem Wertstoffe verstärkt aus dem Restabfall abgetrennt und die deponierten Siedlungsabfallmengen, die bereits heute vor der Ablagerung thermisch oder mechanisch-biologisch behandelt werden müssen, auf diese Weise deutlich reduziert werden, haben die Methanemissionen aus Deponien bis heute bereits deutlich abgenommen. Die Treibhausgasemissionen aus Deponien sanken von etwa 38 Mio. t CO<sub>2Äq</sub> im Jahr 1990 auf 9 Mio. t CO<sub>2Äq</sub> im Jahr 2010. Dieser Trend wird sich fortsetzen.

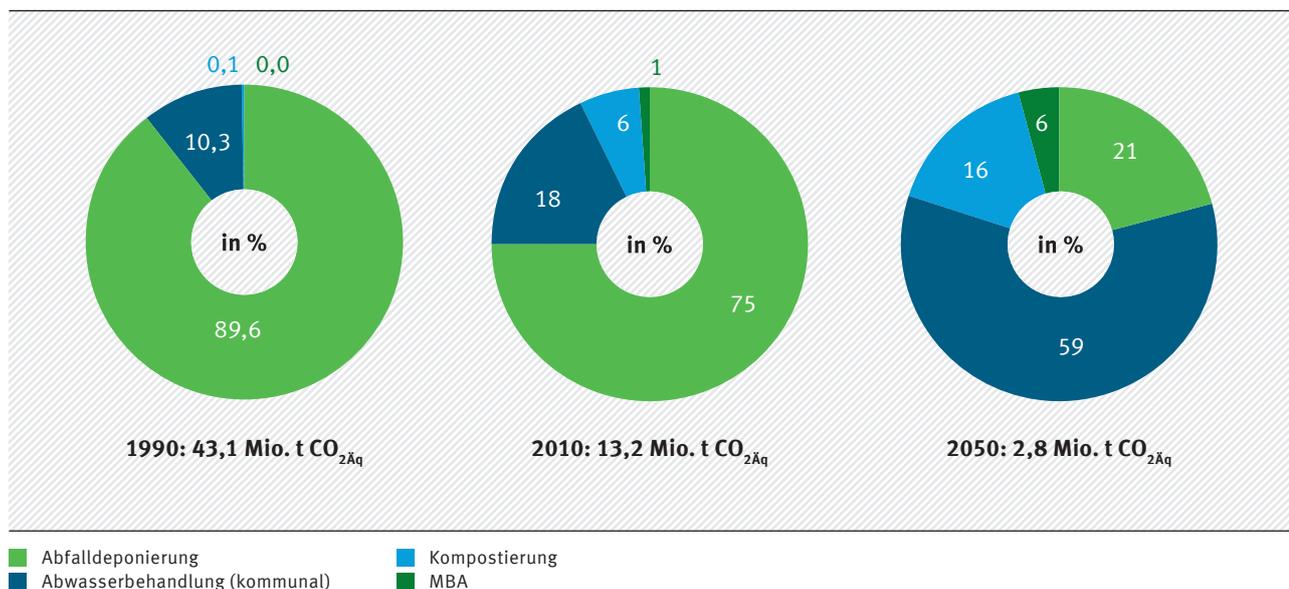
Bedingt durch die geringen Mengen der auf Deponien abzulagernden Restabfälle und die sinkende Gasbildung der vor 2005 unbehandelt abgelagerten Abfälle, verringert sich die jährliche Methanbildung nach

unseren Schätzungen auf insgesamt etwa 56.000 t (diese Summe entspricht 1,2 Mio. t CO<sub>2Äq</sub>) im Jahr 2050. Darin enthalten sind auch der für die kommenden Jahre angenommene Deponierückbau und der Einsatz aerober Stabilisierungsverfahren. Die genannte Methanmenge wird jedoch nicht vollständig in die Atmosphäre emittiert. Wir gehen davon aus, dass sich durch die Fassung von Deponiegas und durch biologische Oxidation die Emissionen gegenüber dem gebildeten Methan um weitere 50 % verringern. Die für 2050 zu erwartenden Methanemissionen aus Deponien reduzieren sich demnach insgesamt auf 28.000 t Methan. Die Treibhausgasemissionen aus Deponien sinken damit voraussichtlich von 9 Mio. t CO<sub>2Äq</sub> im Jahr 2010 auf etwa 0,6 Mio. t CO<sub>2Äq</sub> im Jahr 2050.

Damit sinkt der Anteil des Methans aus Deponien an den gesamten Treibhausgasemissionen dieses Sektors von 90 % im Jahr 1990 bis 2050 auf etwa 20 Prozent. Dagegen nimmt der Anteil der Emissionen aus dem Bereich Abwasser von ca. 10 Prozent auf etwa 60 Prozent zu, obwohl auch hier die absoluten Emissionen von 4,44 Mio. t CO<sub>2Äq</sub> im Jahr 1990 auf 1,65 Mio. t CO<sub>2Äq</sub> abnehmen werden.

Abbildung 7:

### Veränderung der Treibhausgasemissionen im Abfall- und Abwassersektor 1990-2050 im UBA THGND 2050 – Szenario



Quelle: Umweltbundesamt, auf Basis des NIR 2012<sup>6</sup>, 2013

Die Ausweitung der getrennten Bioabfallsammlung führt voraussichtlich dazu, dass die in Kompostierungs- und Vergärungsanlagen zu behandelnden Abfälle um mehr als 30 % steigen. Da die Treibhausgasemissionen im Anlagenbetrieb reduziert werden, gehen wir trotz steigender Einsatzmengen davon aus, dass sich die Emissionen aus der Bioabfallbehandlung bis 2050 um etwa ein Drittel reduzieren lassen.

Für die in MBA behandelten Abfallmengen wird für 2050 davon ausgegangen, dass diese gegenüber 2010 konstant bleiben. Durch Umrüstungen der MBA zu Mechanisch-Biologischen Stabilisierungsanlagen (MBS) lassen sich die Emission um 40 % auf etwa 100.000 t CO<sub>2Äq</sub> senken. Außerdem verringert sich die Menge der abgelagerten Behandlungsrückstände, denn im Behandlungsprozess der MBS wird ein deutlich höherer Anteil der behandelten Abfälle einer thermischen oder stofflichen Nutzung zugeführt.

Desweiteren nehmen wir an, dass die Anteile an Produkten, die auf Erdölbasis produziert wurden, bis zum Jahr 2050 zum großen Teil schon als Abfall entsorgt wurden. Unter diesen Voraussetzungen sind

die Kohlendioxidemissionen fossilen Ursprungs aus Abfallverbrennungsanlagen im Jahr 2050 zu vernachlässigen.

Auch bei der Abwasserbehandlung ist langfristig mit Emissionsminderungen zu rechnen. Da der Anschlussgrad der Bevölkerung an die zentrale Abwasserbehandlung sich erhöht und die Bevölkerung im ländlichen Raum zurückgeht, sinken die Methanemissionen aus abflusslosen Gruben auf etwa 35.000 t CO<sub>2Äq</sub>.

Die Lachgasemissionen aus der Abwasserbehandlung verringern sich nach unseren Annahmen auf gut 1,6 Mio. t CO<sub>2Äq</sub>. Voraussetzung hierfür ist, dass sich die Bevölkerung in Deutschland deutlich proteinärmer ernährt (d.h. weniger Fleisch isst) und sich damit den Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Ernährung annähert. Unter den vorgenannten Annahmen ist davon auszugehen, dass im Jahr 2050 die Treibhausgasemissionen aus der Abwasserbehandlung ca. 1,65 Mio. t CO<sub>2Äq</sub> betragen.





## Landwirtschaft

In den Szenarien für den deutschen Agrarsektor sollen die jährlichen Treibhausgasemissionen aus der Quellgruppe Landwirtschaft auf 35 Mio. t CO<sub>2Äq</sub> gesenkt werden.

Dafür wird die Kombination aus Klimaschutzmaßnahmen im technischen Bereich (mehr Effizienz), geänderten Produktionssystemen und eingeschränkter Tierhaltung betrachtet. Durch technische Klimaschutzmaßnahmen ohne Produktionseinschränkungen ist es möglich, die Emissionen in der Quellgruppe Landwirtschaft auf 45 bis 47 Mio. t CO<sub>2Äq</sub> zu vermindern (Minderung von 20–25 %). Wichtige Maßnahmen sind dabei, die Stickstoff (N)-Ausnutzung konsequent zu steigern und den anfallenden Wirtschaftsdünger (Gülle u.a.) in Biogasanlagen mit gasdichter Lagerung der Gärreste<sup>XI</sup> einzusetzen. Weitere Treibhausgasreduzierungen können darüber hinaus nur erzielt werden, wenn die Tierproduktion eingeschränkt wird – dies betrifft vor allem die Wiederkäuer aufgrund ihrer hohen verdauungsbedingten Methanemissionen.

Für das Jahr 2050 wurden für den Sektor Landwirtschaft<sup>XII</sup> zwei Szenarien betrachtet: ein Szenario mit einer Fortschreibung der bestehenden Strukturen der deutschen Landwirtschaft (Szenario konv) und ein

Szenario, das entsprechend den Zielen der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie (2002) annimmt, dass der ökologische Landbau auf 20 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche ausgedehnt wird.

Für beide Szenarien gelten – zusätzlich zu den allgemeinen in der Einleitung genannten Annahmen – folgende Annahmen und Voraussetzungen:

- ▶ Im Jahr 2050 wird in Deutschland keine Biomasse mehr eigens für die energetische Nutzung angebaut (siehe Absatz Energie). Energetisch genutzt werden lediglich Rest- und Abfallstoffe aus der Pflanzen- und Tierproduktion (z. B. Gülle oder Mist sowie überschüssiges Stroh, Landschaftspflegeschnitt etc.).
- ▶ Nachwachsende Rohstoffe werden weiterhin wie im Umfang des Jahres 2007 stofflich verwendet.
- ▶ Um die durch Landnutzung bedingten Treibhausgasemissionen zu minimieren, ist es erforderlich, die Umwandlung von Grünlandflächen in Ackerland einzustellen und den größten Teil der landwirtschaftlich genutzten Moorflächen (etwa 6 % der heutigen landwirtschaftlich genutzten Flächen) aus der Bewirtschaftung zu nehmen und wieder zu vernässen. Die verbleibenden Emissionen aus Moorböden sind im Sektor LULUCF erfasst.
- ▶ Annahmen zur Flächenversiegelung finden sich im Kapitel LULUCF.

Tabelle 5

**Maßnahmen zur THG-Minderung in der Landwirtschaft in den Szenarien für das Jahr 2050<sup>7</sup>**

	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	THG gesamt	Minderung je Schritt
	in Mio. t CO <sub>2Äq</sub>			
<b>Szenario 1: konventionelle Landwirtschaft (KONV)</b>				
Ausgangssituation 2050 nach Fortschreibung	37,2	22,6	59,8	
N-Produktivität gesteigert <sup>1</sup>	30,7	22,6	53,3	-6,5
80 % des Wirtschaftsdüngers in Biogasanlagen	29,1	18,5	47,6	-5,7
Milchvieh-Umtriebsrate niedriger (von 0,28 auf 0,2), mehr Kälbermast	29,0	17,9	46,9	-0,7
Keine Mutterkühe, Schafe minus 50 %	28,9	14,6	43,5	-3,4
Keine Bullen- und Färsenmast	28,5	12,7	41,2	-2,3
Milchkuhbestand minus 38 %	27,9	8,4	36,3	-4,9
Schweinebestand minus 55 %	27,2	7,8	35,0	-1,3
<b>Szenario 2: ökologischer Landbau auf 20 % der LF (Öko-20%)</b>				
<b>a) Ökologischer Landbau auf 20 % der LF ...</b>				
Ausgangssituation 2050 nach Fortschreibung	3,4	3,4	6,8	
N-Produktivität gesteigert (von 50 auf 60 % Ausnutzung)	3,4	3,4	6,8	0,0
80 % des Wirtschaftsdüngers in Biogasanlagen	3,1	3,0	6,1	-0,7
Keine Mutterkühe, Schafe minus 50 %	2,9	2,5	5,4	-0,7
Keine Bullen- und Färsenmast	2,8	2,0	4,8	-0,6
<b>b) ... und konventioneller Landbau auf 80 % der LF</b>				
Ausgangssituation 2050 nach Fortschreibung	31,0	18,7	49,7	
N-Produktivität gesteigert <sup>1</sup>	25,6	18,7	44,2	-5,4
80 % des Wirtschaftsdüngers in Biogasanlagen	24,2	15,2	39,4	-4,8
Milchvieh-Umtriebsrate niedriger (von 0,28 auf 0,2), mehr Kälbermast	24,1	14,6	38,8	-0,6
Keine Mutterkühe, Schafe minus 50 %	24,0	13,2	37,2	-1,5
Keine Bullen- und Färsenmast	23,8	10,5	34,2	-3,0
Milchkuhbestand minus 38 %	23,5	7,0	30,5	-3,8
Schweinebestand minus 11 %	23,3	6,9	30,2	-0,3

<sup>1</sup> Ausnutzung Mineraldünger-N von 80 % auf 90 %; organischer N von 26 % auf 60 %; legume N-Fixierung von 20 % auf 40 %.

Quelle: Osterburg et al. (2013)

Die beiden Szenarien (1) konventionell und (2) 20 % Ökolandbaufläche in Deutschland, unterscheiden sich hinsichtlich der Produktions- und Versorgungsleistung der deutschen Landwirtschaft, bei gleichen

Emissionen in Höhe von 35 Mio. t CO<sub>2Äq</sub> pro Jahr aus der Landwirtschaft. Dabei werden internationale Handelseffekte jedoch nicht berücksichtigt.

Im Szenario KONV wird der Weizenanbau trotz ver-ringerter Ackerfläche gegenüber dem Ausgangsjahr 2007 ausgedehnt, der Getreideanteil an der Ackerflä- che steigt dadurch auf über 70 %. Durch den Abbau der Rinderbestände wird vor allem der Ackerfutter- bau eingeschränkt (Silomais, Klee- und Feldgras). Der Tierbestand geht auf etwa 40 % des Bestands von 2007 zurück – vor allem werden die Rinder-, Schwe- ine- und Schafbestände verringert, während der Geflügel- und Pferdebestand aufrechterhalten wird. Aufgrund der angenommenen Leistungssteigerung bei Milchkühen geht die Milchproduktion weniger stark zurück als die Fleischproduktion.

Im Szenario ÖKO-20 % ist die Flächennutzung auf der konventionell bewirtschafteten Fläche ähnlich wie im Szenario KONV. Der Rinder- und Schweinebestand muss aber weniger stark verringert werden, um die Treibhausgase wie erforderlich zu mindern. Auf der

ökologisch bewirtschafteten Ackerfläche werden die Roggen-, Hülsenfrucht- und Klee grasflächen deutlich ausgedehnt, die Weizen- und Rapsflächen werden dagegen eingeschränkt. Die Schweine- und Geflügel- haltung spielt im Jahr 2050 im ökologischen Landbau nur eine sehr geringe Rolle.

Wird die Tierproduktion eingeschränkt, ohne dass zugleich der Nahrungsverbrauch in Deutschland angepasst wird, hätte dies allerdings nur verringerte THG-Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft zur Folge. Da in diesem Fall ausländische Anbieter die Versorgung übernehmen, würde global gesehen der Klimaschutzeffekt durch Tierbestandsaufstockun- gen außerhalb von Deutschland wieder kompensiert. Dies ist ein Beispiel für sogenannte „Leakage“-Effekte – das heißt die Emissionen werden in andere Länder verlagert. Neben den Annahmen zur Veränderung von Landnutzung und Agrarproduktion werden

Tabelle 6

### Produktionsmengen im Ausgangsjahr 2007 und in den Szenarien für das Jahr 2050<sup>8</sup>

	Ausgangsjahr	KONV	ÖKO-20 %	davon 80 % konv	davon 20 % öko
	2007	2050	2050		
in Mio. t					
Getreide insgesamt	45,0	65,1	56,7	54,1	2,5
Weizen	23,0	41,6	34,6	33,6	0,9
Roggen	3,0	3,4	3,0	2,3	0,7
Gerste	11,4	12,4	11,8	11,8	0,0
Hafer	0,8	0,8	0,6	0,3	0,4
Körnermais	4,1	4,5	4,5	4,4	0,1
sonst. Getreide	2,2	2,4	2,1	1,8	0,4
Hülsenfrüchte	0,3	0,4	1,4	0,6	0,8
Raps, Ölsaaten	5,3	6,4	6,3	6,0	0,3
Kartoffeln	11,0	11,2	10,5	9,1	1,5
Zuckerrüben	23,3	28,0	27,7	24,4	3,3
Gemüse	3,2	2,9	2,6	1,8	0,8
Obst	1,3	1,2	1,2	0,9	0,3
Weinmost	0,8	0,8	0,7	0,6	0,1
Milch	28,1	17,4	18,3	14,3	4,0
Fleisch insgesamt	6,4	2,9	4,8	4,6	0,2
Rindfleisch	1,1	0,3	0,3	0,3	0,1
Schweinefleisch	4,0	1,4	3,3	3,2	0,1
Schaffleisch	0,04	0,02	0,02	0,02	0,00
Geflügelfleisch	1,0	1,1	1,0	0,9	0,0
Eier	0,8	0,9	0,8	0,8	0,1

Quelle: Osterburg et al. (2013)

deshalb auch Annahmen zur Veränderung der Ernährung getroffen. Die Annahmen zum Nahrungsverbrauch orientieren sich an den Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE). Im Wesentlichen empfiehlt diese, im Vergleich zu heute deutlich weniger Fleisch und stattdessen mehr Gemüse zu essen. Ein hoher Fleischkonsum wird mit einem erhöhten Risiko für die Gesundheit in Verbindung gebracht. Dies wird auf den hohen Fettgehalt mit gesättigten Fettsäuren und Cholesterin, sowie auf die Zubereitungsarten wie Räuchern, Braten, Grillen und Salzen zurückgeführt. Zu betonen ist, dass die im Zusammenhang mit der Ernährung betrachteten Krankheitsbilder nicht von monokausaler Natur sind und die Ernährung nur ein Faktor von vielen ist.

Außerdem nehmen wir an, dass sich die Menge der Lebensmittelabfälle um die Hälfte verringern lässt.

Die genannten Veränderungen der heutigen Konsum- und Verhaltensmuster bei der Ernährung, in Verbindung mit dem Ende des Biomasseanbaus für die energetische Nutzung, schränken die Binnennachfrage nach Agrarprodukten deutlich ein. Gerade der Verbrauch von Nahrungsmitteln tierischer Herkunft beeinflusst erheblich den kumulierten Flächen- und Energieanspruch und die THG-Emissionen, die durch die Deckung des deutschen Nahrungsmittelbedarfs entstehen. Werden weniger tierische Produkte verbraucht und der Lebensmittelverderb verringert, schlägt sich dies jedoch nicht in demselben Ausmaß in einer veränderten Produktion des deutschen Agrarsektors nieder. In einer offenen Marktwirtschaft bestimmt das nationale Verbraucher- und Ernährungsverhalten nur mittelbar die Produktionsstruktur des Agrarsektors, da dieser in erheblichem Maße durch die Austauschbeziehungen an den internationalen Märkten beeinflusst wird.

Die Kombination von konventionellem und ökologischem Landbau auf 20% der Landwirtschaftsfläche zeigt, dass sich offensichtlich Synergien ergeben, die dazu beitragen, dass die landwirtschaftliche Produktion weniger stark eingeschränkt werden muss. Die Synergien sind mit der bevorzugten Nutzung des Grünlands als Fläche für die im ökologischen Landbau benötigte biologische N-Bindung durch Klee und andere Leguminosen zu erklären. Auf einem relevanten Teil der Grünlandfläche wird im Szenario ÖKO-20% kein N-Mineraldünger eingesetzt, dies senkt die  $N_2O$ -Emissionen und ist Voraussetzung für eine ver-

stärkte N-Bindung durch Klee. Über die Verfütterung kann der so gebundene Stickstoff schließlich in Form von Wirtschaftsdünger aus der Rinderhaltung im weiteren Verlauf im ökologischen Ackerbau eingesetzt werden. So müssen weniger Ackerflächen für Klee-gras oder andere Leguminosen reserviert werden. Im Szenario Öko-20% müssen die Tierbestände im Vergleich zum Szenario KONV weniger stark abgebaut werden, um das THG-Einsparungsziel zu erreichen.

Somit besteht ein Spielraum, die Landnutzungsin-tensität und damit die Produktionsmengen weiter zu reduzieren, beispielsweise durch eine weitgehende Umstellung auf Ökolandbau.

Ein höherer Flächenanteil des ökologischen Landbaus hat nach Auffassung des Umweltbundesamtes aber auch klare Vorteile hinsichtlich des Umweltschutzes, da im Ökolandbau zum Beispiel keine chemisch-synthetischen N-Mineraldünger- und Pestizide gegenüber dem Szenario mit konventionellem Landbau eingesetzt werden. Deshalb sollte aus Sicht des Umweltbundesamtes bis zum Jahr 2050 eine über das 20%-Ziel deutlich hinausgehende Ausdehnung des ökologischen Landbaus angestrebt werden. Eine vollständige Umstellung auf Ökolandbau ist sowohl quantitativ als auch hinsichtlich der Umweltwirkungen zu untersuchen und weiter zu entwickeln.

# Landnutzung, Landnutzungsänderung, und Forstwirtschaft (LULUCF<sup>XIII</sup>)

Unter den unten beschriebenen Annahmen ergeben sich für das Jahr 2050 Emissionen von 8 Mio. t CO<sub>2Äq</sub> für den Gesamtbereich (siehe Tabelle 7).

Der Sektor LULUCF betrachtet alle flächengebundenen Kohlenstoffspeicher, also flächengebundene Quellen oder Senken der Treibhausgasemissionen von Wald, Acker, Weide, Siedlungs- und Feuchtgebieten. Dies umfasst die Freisetzung von Treibhausgasen etwa durch Waldnutzung, Entwaldung oder Pflügen des Bodens bzw. Entzug des Kohlendioxids aus der Atmosphäre beispielsweise durch Aufforstung und Waldwuchs (Senke). Nicht in diesen Sektor fallen die im Abschnitt Landwirtschaft beschriebenen Emissionen, wie zum Beispiel Lachgasemissionen infolge von Düngung oder Methanemissionen aus der Tierhaltung.

Tabelle 7:

## Treibhausgasemissionen im UBA THGND 2050 - Szenario für den Sektor LULUCF

Kategorie	Emissionen in Mio. t CO <sub>2Äq</sub>
Landwirtschaftliche Böden	5,5 (Kalkung: 1,5 und Moorböden: 4)
Siedlung	2,5
Torfabbau	0
Wald	0
Gesamt	8

Quelle: Umweltbundesamt auf Basis Osterburg et al., (2013)

Dem Forstbereich liegt kein Szenario für 2050 zugrunde, dass die komplexen, sowohl ökologischen (natürliche und anthropogen beeinflusste Zyklen, Auswirkungen des Klimawandels, Berücksichtigung naturschutzfachlicher Ziele,) als auch ökonomischen Implikationen (Rohstofflieferant, Sicherung ökosystemarer Dienstleistungen) berücksichtigt.

Abgeleitet von den WEHAM Szenarien<sup>10</sup> (WaldEntwicklungs- und HolzAufkommensModellierung) des Thünen Instituts, die entwickelt wurden um künftige Erntemengen abzuschätzen, halten wir es allerdings für plausibel und realistisch, den deutschen Waldsektor langfristig bei Nullnettoemissionen zu halten – das heißt, die Emissionen/Bindungen werden um den Nullwert pendeln. Voraussetzung ist allerdings, dass

eine nachhaltige Waldnutzung strikt befolgt wird. Nur so ist sichergestellt, dass dauerhaft nicht mehr Holz geerntet wird als nachwächst.

Das vom Thünen-Institut für Ländliche Räume ermittelte Einsparpotenzial von 37,1 Mio. t CO<sub>2Äq</sub> bezieht sich auf 1,05 Mio. ha landwirtschaftlich genutzten Moorböden. 633.000 ha Grünland und 420.000 ha Ackerland auf Moorböden können aus der Nutzung genommen und restauriert werden.<sup>11</sup> Auf den verbleibenden 180.000 ha Ackerfläche ist aufgrund der räumlichen Nähe zu Siedlungen und Infrastruktur oder der irreversiblen Schädigung der Torfkörper keine Wiedervernässung möglich. Hier wird von einer Umwandlung zu extensiv bewirtschaftetem Grünland ausgegangen. Aus diesen Flächen werden auch zukünftig noch 4 Mio. t CO<sub>2Äq</sub> emittiert werden. Da ab 2050 keine Flächen mehr in Ackerland umgewandelt werden, fallen keine Emissionen aus der Umwandlung von anders genutzten Flächen zu Ackerland an. Mit den für 2050 angenommenen 1,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Emissionen aus landwirtschaftlicher Kalkung ergeben sich insgesamt Emissionen in Höhe von 5,5 Mio. t CO<sub>2Äq</sub> aus landwirtschaftlich genutzten Flächen.

Eine Einstellung des Torfabbaus und der – soweit möglich – weitestgehende Ersatz von gartenbaulichem Torf durch Alternativen wie Kokosfasern oder Terra Preta, bieten Minderungspotentiale von bis zu 2 Mio. t CO<sub>2</sub>. Hier sollte darauf geachtet werden, dass durch ein Torfabbauverbot in Deutschland Emissionen ins Ausland verlagert werden können, sollte nicht zeitgleich ein Importverbot für Torf erlassen werden.

Für das Jahr 2050 wird keine zusätzliche Erweiterung der Siedlungs- und Verkehrsflächen angenommen: die Flächeninanspruchnahme fällt linear von 80 ha/Tag in 2007 auf 30 ha/Tag in 2020 (Bundesregierung (2002), um dann weiter linear auf den Zielwert Null in 2050 zu sinken. Die Treibhausgasemissionen der Siedlungsflächen von 2010 werden fortgeschrieben, für 2050 werden somit Emissionen in Höhe von 2,5 Mio. t CO<sub>2</sub> veranschlagt. Die Frage, inwieweit Siedlungsgrün als Kohlenstoffsенке wirken kann, lässt sich aufgrund fehlender Daten nicht beantworten. Der Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderung

und Forstwirtschaft nimmt im Vergleich zu den anderen Sektoren eine spezielle Rolle ein. Die Gründe liegen in seiner potenziellen Senkenfunktion, den vorhandenen und zu schützenden großen natürlichen Speichern in Boden und Biomasse, der langsamen Wirksamkeit von Maßnahmen und seiner starken und direkten Abhängigkeit von natürlichen Einflüssen (u. a. vom Klima und dessen Änderungen). Darüber hinaus ändern Maßnahmen im LULUCF-Sektor nicht

nur die Treibhausgasemissionen und -bindungen, sondern greifen auch in die Lebensmittel- und Rohstoffversorgung ein, zudem beeinflussen sie aufgrund globaler Vernetzungen nicht nur nationale Gegebenheiten. Diese Umstände erschweren es, die Möglichkeiten, Potentiale und Entwicklungen der Treibhausgasemissionen und -bindungen im Bereich LULUCF, insbesondere für den Waldbereich abzuschätzen.

## Überlegungen zu den Wechselwirkungen zwischen Ressourcenproduktivität und Treibhausgasvermeidung

Diese Studie konzentriert sich auf die Frage, wie im Jahr 2050 ein treibhausgasneutrales Deutschland aussehen könnte. Neben der dafür notwendigen Vermeidung von Treibhausgasemissionen hält es das Umweltbundesamt für grundsätzlich geboten, die Ressourcennutzung um 50 % bis 2020 und um 90 % bis 2050 zu senken. In dieser Studie konnte aber das Thema Ressourcenproduktivität aufgrund der hohen Komplexität nur exemplarisch berücksichtigt werden. Daher sollen hier einige Wechselwirkungen diskutiert werden.

Bei der Inanspruchnahme der natürlichen Ressourcen entstehen verschiedenartige Rohstoff- und Energieflüsse, Wasserverbräuche sowie Flächeninanspruchnahmen auf der Inputseite. Auf der Outputseite des Ressourcenverbrauchs steht dagegen die Nutzung von Ökosystemleistungen, wie die der Senkenfunktion von Umweltmedien (Wasser, Boden, Luft) durch die Aufnahme von Schadstoffemissionen, darunter auch Klimagase.

Die Ressourceninanspruchnahme durch einen sparsamen und effizienten Einsatz von abiotischen Rohstoffen zu reduzieren, trägt unmittelbar dazu bei THG-Emissionen zu vermeiden und zu senken. Denn energieintensive Produkte bestehen häufig aus Metallen, werden aus Erdöl oder Industriemineralien gewonnen oder enthalten andere mineralische Rohstoffe wie Kies, Sand oder Steine. Werden als Ersatz Holzprodukte aus nachhaltiger Waldwirtschaft

eingesetzt, kann daraus ein wichtiger Beitrag zur Ressourcenschonung hervorgehen. Derartige Produkte werden verstärkt kaskadenartig genutzt, nach dem Produktleben werden sie also in anderen Produkten weiterverwendet. Holz ist bereits heute der mengenmäßig bedeutendste nachwachsende Rohstoff, der in Deutschland stofflich und energetisch genutzt wird. Es wird traditionell auf vielfältige Weise eingesetzt, ob als Bauholz, Möbel, Fensterrahmen, Transportpalette oder Papier und Pappe. Werden weitere traditionelle Nutzungen verstärkt wiederbelebt und innovative Produkte und Verfahren zur Holznutzung entwickelt, können zum Beispiel im Bausektor Konstruktionselemente aus Holz (tragende Rahmen, Bekleidungen, Platten, Treppen, Fensterrahmen) Stahl, Beton, Gips und Kunststoff zunehmend ersetzen. Das heißt, für Holz ist eine möglichst hochwertige und soweit möglich mehrfache Nutzung anzustreben. Der Ausbau der photovoltaischen Stromerzeugung (PV) birgt ein großes Umweltentlastungs- und Ressourceneffizienzpotenzial, da diese in der Nutzung unabhängig vom Einsatz fossiler oder biotischer Energieträger ist. Unsicherheiten der Rohstoffverfügbarkeit könnten allerdings den Ausbau verlangsamen. Schlüsselemente der Dünnschichtphotovoltaik wie Indium, Tellur, Gallium oder Germanium lassen sich nur als Koppelprodukte von Massenmetallen wie Aluminium, Zink, Blei und Kupfer gewinnen. Schon wenn sich die Nachfrage gering verändert, kann sich dies stark auf die Preisentwicklung auswirken. Darüber hinaus besteht aufgrund der sehr geringen

Einsatzkonzentrationen der Technologiemetalle die Gefahr eines dissipativen, also unwiederbringlichen Verlusts durch Feinverteilung in größeren Stoffströmen.

Beim Betrieb von Windenergieanlagen werden keine fossilen Energieträger eingesetzt. Gleichwohl sind – wie auch bei den PV-Modulen – Rohstoffe notwendig, um die Anlagen zu produzieren, zu errichten und instandzuhalten. Die verwendeten Seltenen Erden Neodym und Dysprosium zählen außerdem zu den besonders kritischen Rohstoffen. Sie sind einerseits als Bestandteil von Elektromagneten technisch bedeutend für getriebelose, hocheffiziente und wartungsarme Windenergieanlagen, andererseits aber in ihrer Verfügbarkeit stark eingeschränkt. Die hohe Materialintensität von Windenergieanlagen bezieht sich auf ihre Produktions- und Errichtungsphase. So gehen – im Gegensatz zu konventionellen Kraftwerken – beim Offshore-Windpark Alpha Ventus 78 % des gesamten Energieaufwands und der lebenszyklusweiten Treibhausgasemissionen auf die materialbezogenen Vorketten und die Installation der Anlagen zurück. Trotzdem hat sich der Windpark nach etwa 7 bis 9 Monaten Betriebszeit energetisch amortisiert. Allerdings bildet die energetische Betrachtung allein noch nicht die Umweltauswirkungen und die gesundheitlichen Folgen der Rohstoffgewinnung und -aufbereitung in den Förderländern ab. Um diese negativen Effekte des Rohstoffabbaus und der -raffination perspektivisch zu reduzieren, sind Windenergieanlagen nach Ablauf ihrer Betriebszeit als anthropogene Rohstofflagerstätten von hohem Rückgewinnungs- und Verwertungsinteresse zu betrachten.

Die Elektromobilität soll künftig zu Emissionsminderungen im Verkehrssektor beitragen. Hierbei können die Batterien in Elektrofahrzeugen als Zwischenspeicher für Strom aus Erneuerbaren Energien genutzt werden. Es ist zu erwarten, dass ein Großteil der zukünftigen Elektrofahrzeuge Traktionsbatterien auf Basis von Lithium-Ionen-Technik nutzen wird. Sie enthalten je nach Kathodentyp Lithium und Kobalt. Während nach Einschätzung von Umbrella 2011 die

geologischen Reserven von Lithium in den nächsten Jahrzehnten den Bedarf decken können, könnte bei Kobalt der kumulierte Verbrauch bereits zwischen 2040 und 2050 die heute bekannten Kobaltreserven von 7,3 Mio. t überschreiten. Schwierig werden könnte in diesem Zusammenhang zukünftig auch die Versorgung mit Neodym und Dysprosium für den Permanentmagnetmotor. Pilotprojekte zu Recyclingverfahren sollten daher flächendeckend und großtechnisch innerhalb von zehn Jahren realisiert werden. Generell gilt, dass Entscheidungen in der Produktgestaltung den Ressourcenverbrauch und das Entstehen von Abfällen sowie die Nutzungsdauer und -variabilität der Produkte maßgeblich bestimmen. Ressourcenschonende und abfallvermeidende Produkte zeichnen sich zunächst durch den Einsatz einer möglichst geringen Materialmenge aus, sowie durch den Einsatz von Sekundärrohstoffen bei denen die ökologischen Rucksäcke der Rohstoffvorketten berücksichtigt werden. Die Nutzungsdauer dieser Produkte ist möglichst lang. Sie sind ressourceneffizient in der Nutzungsphase und können am Lebensende möglichst demontiert werden, einzelne Bestandteile lassen sich weiter nutzen oder dem Wertstoffkreislauf zuführen. Um natürliche Ressourcen zu schonen, Abfall zu vermeiden und die Umwelt insgesamt zu entlasten (einschließlich der Minderung von Treibhausgasemissionen), ist der gesamte Lebensweg eines Produkts oder Systems zu betrachten.

Besonders augenfällig sind die Zusammenhänge zwischen Klimaschutz und Ressourcenproduktivität im Bereich der Industrie: Heute gehen etwa 50 Prozent der industriellen CO<sub>2</sub>-Emissionen darauf zurück, dass die fünf Grundstoffe der industriellen Produktion hergestellt und verarbeitet werden: Stahl, Zement, Papier, Kunststoff und Aluminium. Das heißt, Lösungen, die den Einsatz dieser Produkte reduzieren, tragen damit auch zum Klimaschutz bei. Es gibt viele Wege, entlang der Wertschöpfungskette mit weniger Rohstoffen und in Folge dessen mit weniger Energie auszukommen. Das langfristige Ziel muss aus Sicht des Umweltbundesamtes sein, den pro Kopf Rohstoffverbrauch bis 2050 um den Faktor 5 bis 10 zu senken.

## Fazit/Diskussion

Ein treibhausgasneutrales Deutschland mit einem jährlichen Pro-Kopf-Ausstoß von 1 Tonne CO<sub>2Äq</sub> im Jahr 2050, was einer Senkung der Emissionen um 95 % im Vergleich zum Jahr 1990 entspricht, ist technisch möglich. Wir beschreiben eine mögliche Option in einem Lösungsraum. Es ist möglich, nicht nur die Stromversorgung, sondern auch den Kraft- und Brennstoffbedarf mit erneuerbaren Energien zu decken.

Basis unseres Szenarios ist, dass die Energieversorgung vollständig auf erneuerbare Energien umgestellt wird und Effizienzpotentiale weitgehend ausgeschöpft werden. Damit gehen die Emissionen aus dem Energiesektor auf nahezu Null zurück und auch die anderen Sektoren können ihre Emissionen wesentlich

mindern. Ein zentraler Baustein für unser Szenario ist die Umwandlung von erneuerbar erzeugtem Strom zu Wasserstoff, zu Methan und höherkettigen Kohlenwasserstoffen. Nur so kann in unserem Szenario der Bedarf an Kraft-, Brenn- und Rohstoffen in den Sektoren Industrie und Verkehr sowie dem Wärmesektor gedeckt werden. Damit steigt der Strombedarf stark an, weit hinaus über die Strommenge, die als überschüssiger Strom bezeichnet werden kann.

Die technischen Potentiale, diese Strommengen national zu erzeugen, sind zwar vorhanden. Da aber zum Beispiel aus ökologischen oder ökonomischen Gründen nur ein Teil dieser Potentiale sinnvoll erschlossen werden kann, gehen wir davon aus, dass ein Teil des in Deutschland benötigten Stroms im Ausland produ-

Abbildung 8:

### Überblick zum möglichen Anwendungsbereich von Power to Gas/Power to Liquid im UBA THGND 2050 – Szenario



Quelle: Umweltbundesamt, 2013

ziert würde. PtG und PtL könnten dann ebenfalls am Ort der Stromerzeugung erfolgen und die Brenn- und Kraftstoffe könnten importiert werden. Der Anteil Primärenergieimporte<sup>XIV</sup> läge unter der Annahme einer nationalen Stromversorgung (466 TWh) entsprechend heutiger Verhältnisse in der gleichen Größenordnung wie heute.

Um ein treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050 zu verwirklichen, sind in einigen Bereichen Technologieinnovationen und die Weiterentwicklung heutiger Technik notwendig. Hier besteht Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

Wir haben uns in unserer Studie am besten derzeit verfügbaren Stand der Technik orientiert. Allerdings sind wir auch bei neuen Technologien und technischen Anwendungen, die bislang nur in kleinem Maßstab erprobt sind, von einer breiten Markteinführung ausgegangen. Uns ist bewusst, dass hierfür zahlreiche Technik- und Technologieinnovationen im Laufe der nächsten vier Jahrzehnte notwendig sind. So stehen beispielsweise Power to Gas und vor allem Power to Liquid erst am Beginn der marktreifen Umsetzung. Derzeit sind in Deutschland mehrere Demonstrationsanlagen in Betrieb. In Island wird bereits eine Power to Liquid-Anlage kommerziell betrieben.

Um den Lösungsraum zu erweitern und besonders geeignete Transformationspfade zu identifizieren, sind weitere Analysen notwendig. So sollte untersucht werden, ob der hohe Strombedarf gesenkt werden kann. Dies gilt besonders für den Verkehrssektor. Hier muss geprüft werden, ob die Anwendung von regenerativ erzeugtem Wasserstoff und der direkte Einsatz von Strom ausgebaut werden können. Auch weitere Verkehrsvermeidungs- und Verlagerungspotentiale sind zu prüfen.

Wasserstoff wird heute noch nicht als Endenergieträger eingesetzt – weder zur Verstromung noch im Verkehr. Hier besteht erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf. Gegenüber Methan und flüssigen Kraftstoffen hat Wasserstoff erhebliche Vorteile (geringere Umwandlungsverluste), allerdings auch Nachteile (geringere Energiedichte).

Inwieweit mehr Strom im Verkehr direkt eingesetzt werden kann bzw. ob statt flüssigen Kraftstoffen in Zukunft gasförmige wie Methan oder Wasserstoff

eingesetzt werden können, ist zukünftig zu untersuchen. Beim möglichen Einsatz von Wasserstoff ist die notwendige Infrastruktur einer intensiven umfassenden Betrachtung zu unterziehen.

Mit Wasserstoff können die hohen Umwandlungsverluste deutlich verringert werden, damit sinkt auch der Strombedarf<sup>XV</sup>. Derzeit diskutierte Vorschläge, zum Beispiel die Installation von Oberleitungen auf Autobahnen und die damit verbundene Umstellung von Lkw auf Hybrid-Betrieb müssen mit Blick auf die Effizienz des Gesamtsystems und die Kosten weiter untersucht und bewertet werden.

Wir haben für das Jahr 2050 angenommen, dass sich auch Energie einsparen lässt, indem Verkehr vermieden und verlagert wird. Dabei wurde nur eine gemäßigte, aus heutiger Sicht wahrscheinliche Entwicklung betrachtet. Werden weitreichende Maßnahmen umgesetzt (z. B. Fahrbeschränkungen) oder treten weitreichende Verhaltensänderungen ein (z. B. Lebensstiländerungen), würde dies zu stärkeren Vermeidungs- und Verlagerungswirkungen führen. Eine Akzeptanz solch weitreichender Maßnahmen setzt jedoch eine intensive gesellschaftliche Debatte voraus.

Unsere Studie klammert die Betrachtung von Kosten aus. Uns geht es darum, in einem ersten Schritt zu zeigen, ob ein klimaneutrales Deutschland überhaupt technisch darstellbar ist. Wie viel es kosten wird, die Emissionen um 95 % zu senken, können wir daher nicht sagen. Hier müssen weitere Untersuchungen zeigen, wie sich die Kosten im Einzelnen darstellen würden. Außerdem ist zu analysieren, welche ökonomischen und regulatorischen Rahmenbedingungen notwendig sind, um die Entwicklung und Marktdiffusion der erforderlichen technischen Innovationen anzustoßen.

Langfristige ökonomische Analysen sind stets mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Zum Teil ist über die Kosten einzelner Techniken noch wenig bekannt, zum Beispiel zu den Kosten von Power to Gas und Power to Liquid. Durch die hohen Umwandlungsverluste steigen die Kosten jedoch mit jeder weiteren Umwandlungsstufe vom Wasserstoff zu flüssigen Kraftstoffen allein schon durch den hohen Stromverbrauch. Hier besteht Forschungsbedarf. Kostenbetrachtungen für die verschiedenen Antriebs- und Kraftstofftechniken im Verkehrssektor, die auch

Lernkurven berücksichtigen, sind eine wichtige Voraussetzung um umfassend bewerten zu können, sie wurden jedoch in dieser Studie nicht vorgenommen.

In unserer Studie betrachten wir nicht die Frage, welche Rahmenbedingungen geschaffen werden müssen, um bestimmte Techniken einzuführen. Dies betrifft zum Beispiel den Einsatz von Methan in der chemischen Industrie als Kohlenstoffquelle. Eine Umstellung der Mineralölindustrie ist nicht zu erwarten, solange Öl kostengünstiger als regeneratives Methan ist, zumal großtechnische Investitionen erforderlich sind. Die Politik müsste dazu geeignete Rahmenbedingungen schaffen.

Ein treibhausgasneutrales Deutschland sollte sich an weiteren Nachhaltigkeitskriterien orientieren. Insbesondere die Wechselwirkungen zur Ressourcenproduktivität müssen weiter untersucht werden.

Den Anbau von Biomasse zur ausschließlich energetischen Nutzung haben wir wie in der Einleitung beschrieben aus Gründen der Nachhaltigkeit ausgeschlossen. Im Gegensatz zu anderen Studien berücksichtigen wir auch CCS nicht, unter anderem weil die Speicherkapazitäten begrenzt sind. Die Nutzung der Kernenergie ist für Deutschland keine Option mehr.

Wechselwirkungen zur Ressourcenproduktivität konnten wir in unserer Studie nicht abbilden. Hier muss weiter untersucht werden, wie sich die Ziele des Klimaschutzes und der Ressourceneffizienz sinnvoll ergänzen und wie sich etwaige Widersprüche zwischen beiden Zielen auflösen lassen.

Auch müssen manche Klimaschutztechniken noch auf ihre Umweltauswirkungen hin untersucht und bewertet werden.

Bei einer umfassenden Betrachtung müssen auch mögliche Verlagerungen von Emissionen ins Ausland berücksichtigt werden. In unserer Studie geschieht dies nur ansatzweise.

Wir haben nur die im Inland entstandenen Emissionen betrachtet – angelehnt an die Methode für die Emissionsberichterstattung. Es werden also jene Emissionen nicht berücksichtigt, die im Ausland entstehen, bei denen wir aber durch Warenimporte für ihre Entstehung „verantwortlich“ sind. Andererseits werden Deutschland auch die Emissionen aus der

Produktion von Waren angelastet, die in Deutschland produziert und dann exportiert werden. Entsprechende Bilanzierungen der Stoff- und Energieströme im Zusammenhang mit Warenimporten und -exporten werden in der Umweltökonomischen Gesamtrechnung (UGR) und den Ökobilanzen vorgenommen, konnten hier aber wegen der großen Komplexität zu treffender Annahmen für das Jahr 2050 nicht berücksichtigt werden (vgl. Ein treibhausgasneutrales Deutschland in europäischer und internationaler Perspektive, S. 5). Ausnahme sind die Fälle, bei denen der Zusammenhang sehr augenfällig war. So haben wir zum Beispiel bewusst die Annahme gesetzt, dass kein Biosprit importiert wird, wegen der damit verbundenen Flächenkonkurrenzen und den beim Anbau der Biomasse verursachten Emissionen vor allem aus der indirekten Landnutzung. Auch im Kapitel Landwirtschaft wurde das Thema Verlagerung von Emissionen aufgegriffen. Wir haben in dieser Studie zwar vorwiegend technische Lösungsoptionen untersucht, nehmen aber z. B. für die Landwirtschaft an, dass sich die Menschen im Jahr 2050 gesund ernähren – das heißt im Wesentlichen weniger Fleisch essen als heute. Damit gehen die Tierbestände deutlich zurück. Nur so lassen sich die Emissionen in der Landwirtschaft weit genug senken, ohne dass es zu Leakage-Effekten<sup>xvi</sup> durch massiven Mehrimport von Fleisch kommt.

Wir legen dieses Szenario vor, um die wissenschaftliche Diskussion über die möglichen Lösungsräume für ein treibhausgasneutrales Deutschland, für treibhausgasneutrale Industrieländer heute zu beginnen. So können wir mittels Forschung, Entwicklung und Demonstration früh die Voraussetzungen für politische Entscheidungen schaffen. Dies ermöglicht, auch die notwendigen Maßnahmen und Instrumente, die nötig sind um ein treibhausgasneutrales Deutschland zu realisieren, frühzeitig zu diskutieren und entsprechend zu implementieren.

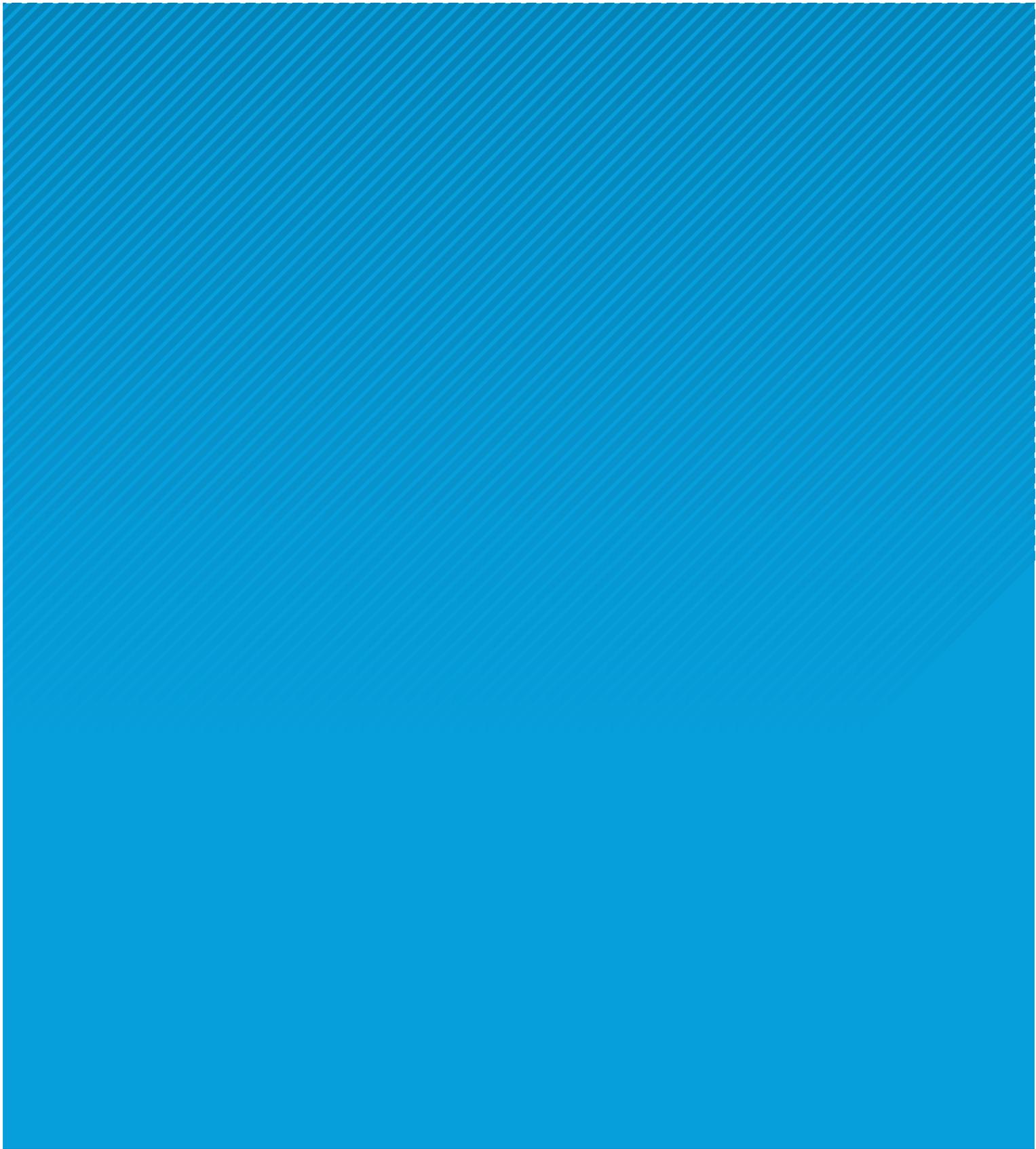
## Fußnoten

- I Deutschland hat sich international im Rahmen des Kyoto-Protokolls zur Reduktion der Treibhausgasemissionen um 21 % für den Zeitraum 2008/2012 gegenüber 1990 verpflichtet. Darüber hinaus hat die Bundesregierung im Herbst 2010 ein Energiekonzept vorgelegt und im Juni 2011 aktualisiert. Dieses sieht einen steigenden Anteil erneuerbarer Energien an der Energieerzeugung in Deutschland bei gleichzeitigem Ausstieg aus der Kernenergie vor. Hinzu kommen differenzierte Ziele zur Verringerung des Energieverbrauchs in unterschiedlichen Sektoren. Zudem wurden konkrete Minderungsziele für Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 festgelegt: 40 % bis 2020, 55 % bis 2030, 70 % bis 2040 und 80 bis 95 % bis 2050.
- II Die Zahlen orientieren sich an der Variante 1 der 11. Koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamtes von 2006.
- III Vergleiche dazu auch die weiteren Ziele in der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung „Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung“ von 2002.
- IV Vgl. Studie vom Umweltbundesamt „Energieziel 2050: 100% Strom aus erneuerbaren Quellen“.
- V Carbon Capture and Storage – Technische Abscheidung und geologische Speicherung von Kohlendioxid.
- VI Der rechnerische Wert liegt bei 51 %. Es ist zu beachten, dass für 2050 der internationale See- und Flugverkehr mit bilanziert wurde. Derzeit ist dies nicht der Fall.
- VII Bezogen auf Primärenergie.
- VIII Bezogen auf Nettostromerzeugung.
- IX Für die Kraftstoffbereitstellung wurde ein Wirkungsgrad von 50 % angenommen.
- X Davon 91,1 TWh für Elektromobilität.
- XI Die Gärreste können dann als Dünger eingesetzt werden.
- XII Abgegrenzt gemäß UNFCCC Quellgruppe 4 – Landwirtschaft.
- XIII Englisch: Land Use, Land Use Change, Forestry.
- XIV Entsprechend unserer Studie ist die Nettostromerzeugung für 2050 der Primärenergie gleichzusetzen.
- XV Nettostrombedarf.
- XVI Mit Leakage-Effekten ist die Verlagerung der Emissionen ins Ausland gemeint.

## Quellen

- 1 Umweltbundesamt (2010): Energieziel 2050: 100% Strom aus erneuerbaren Quellen, Dessau-Roßlau
- 2 Umweltbundesamt (2012): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2012 – Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2010, Dessau-Roßlau
- 3 Umweltbundesamt (2010): Energieziel 2050: 100% Strom aus erneuerbaren Quellen, Dessau-Roßlau. S. 16
- 4 Umweltbundesamt (2012): Globale Landflächen und Biomasse nachhaltig und ressourcenschonend nutzen, Dessau-Roßlau
- 5 Umweltbundesamt (2012): Datenbasis zur Bewertung von Energieeffizienzmaßnahmen 2008 (Auswertung für das Jahr 2008), Climate Change 07/2012, Dessau-Roßlau.
- 6 Umweltbundesamt (2012): Nationaler Inventarbericht zum deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2010, Dessau-Roßlau, S. 571 ff.
- 7 Osterburg, B., Kätsch, S., Wolff, A. (2013): Szenarioanalysen zur Minderung von Treibhausgasemissionen der deutschen Landwirtschaft im Jahr 2050, Thünen-Report, Sachverständigengutachten im Auftrag des Umweltbundesamtes, Braunschweig.
- 8 Osterburg, B., Kätsch, S., Wolff, A. (2013): Szenarioanalysen zur Minderung von Treibhausgasemissionen der deutschen Landwirtschaft im Jahr 2050, Thünen-Report, Sachverständigengutachten im Auftrag des Umweltbundesamtes, Braunschweig.
- 9 Osterburg, B., Kätsch, S., Wolff, A. (2013): Szenarioanalysen zur Minderung von Treibhausgasemissionen der deutschen Landwirtschaft im Jahr 2050, Thünen-Report, Sachverständigengutachten im Auftrag des Umweltbundesamtes, Braunschweig.
- 10 Thünen Institut (2011): The German Reference Level for Forest Management, Hintergrundpapier, Information for the Federal Ministry of food, agriculture and consumer protection (BMELV), Eberswalde und Hamburg.
- 11 Osterburg, B., Kätsch, S., Wolff, A. (2013): Szenarioanalysen zur Minderung von Treibhausgasemissionen der deutschen Landwirtschaft im Jahr 2050, Thünen-Report, Sachverständigengutachten im Auftrag des Umweltbundesamtes, Braunschweig.
- 12 Blanck, R; Kasten, P; Hacker, F; Mottschall, M. (2013): Treibhausgasneutraler Verkehr 2050: Ein Szenario der zunehmenden Elektrifizierung und dem Einsatz stromerzeugter Kraftstoffe im Verkehr, Sachverständigengutachten im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin.





► **Download als pdf**

[www.uba.de/publikationen/treibhausgasneutrales-deutschland-im-jahr-2050](http://www.uba.de/publikationen/treibhausgasneutrales-deutschland-im-jahr-2050)

 [www.facebook.com/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)

 [www.twitter.com/umweltbundesamt](https://www.twitter.com/umweltbundesamt)