

Kosten und Potenziale der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland

Eine Studie von McKinsey & Company, Inc., erstellt im Auftrag von „BDI initiativ – Wirtschaft für Klimaschutz“



Wirtschaft
für Klimaschutz
BDI initiativ

McKinsey&Company

Kosten und Potenziale der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland

Eine Studie von McKinsey & Company, Inc.,
erstellt im Auftrag von „BDI initiativ – Wirtschaft für Klimaschutz“

Die Bundesregierung hat für die Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland ein ehrgeiziges Ziel gesetzt: Bis 2020 sollen diese Emissionen gegenüber dem Niveau von 1990 um mindestens 30 Prozent gesenkt werden. Dieses Ziel soll auf 40 Prozent angehoben werden, wenn die EU ihr Vermeidungsziel von derzeit 20 Prozent auf 30 Prozent erhöht. Die EU hat diese erhöhte Zielsetzung für den Fall angekündigt, dass sich andere Staaten mit hohen Emissionen im Rahmen einer internationalen Klimavereinbarung zu vergleichbaren Minderungszielen verpflichten. In Deutschland sollen die Ziele zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen bei anhaltendem Wirtschaftswachstum und unter Beibehaltung der Beschlüsse zum Ausstieg aus der Kernenergie verwirklicht werden.

Das übergeordnete Ziel, die Treibhausgasemissionen in Deutschland deutlich zu senken, stößt auf breite Akzeptanz in Politik, Wirtschaft und Gesellschaft. Gleichzeitig findet eine intensive und vielfach kontrovers geführte Debatte über die technische und wirtschaftliche Erreichbarkeit verschiedener Zielmarken statt. Dabei fehlte bisher eine detaillierte Bewertung von Kosten und Potenzialen der einzelnen Hebel, die einen Beitrag zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland leisten können.

Um diese Lücke zu füllen, hat McKinsey & Company, Inc. im Auftrag von „BDI initiativ – Wirtschaft für Klimaschutz“ die vorliegende Studie durchgeführt. Mehr als 70 Unternehmen und Verbände waren an der Bewertung von über 300 Hebeln zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland beteiligt. Darüber hinaus wurden die neuesten Untersuchungen zu Technologiepotenzialen ausgewertet und berücksichtigt. Alle Ergebnisse wurden in zahlreichen Interviews mit führenden Experten diskutiert. Als erstes Land der Welt verfügt Deutschland mit dieser Studie über eine umfassende und objektive, auf einer einheitlichen Methodik basierende Bewertung von mehreren Hundert Einzelmaßnahmen zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen in allen Bereichen der Gesellschaft.

Die Studie verzichtet bewusst auf eine Bewertung politischer Umsetzungsmaßnahmen und Steuerungsinstrumente. Sie stellt vielmehr eine objektive und breit abgesicherte Faktenbasis zur Verfügung, die als Ausgangspunkt für die weitere politische Entscheidungsfindung dienen kann.

Wir bedanken uns bei allen beteiligten Unternehmen und Verbänden sowie bei den Experten für die konstruktive Zusammenarbeit und den unermüdlichen Einsatz über die vergangenen Monate. Die breite Unterstützung von Seiten aller Beteiligten war eine zentrale Voraussetzung für das Gelingen der vorliegenden Studie. Darüber hinaus danken wir Professor Dr. Martin Hellwig, Professor Dr. Wolfgang Ströbele und Professor Dr. Carl Christian von Weizsäcker für ihre Unterstützung als wissenschaftliche Beiräte.

Berlin, im September 2007



Jürgen Thumann
Präsident des Bundesverbandes der Deutschen Industrie (BDI) e.V.



Frank Mattern
Office Manager McKinsey & Company, Inc.

Der BDI dankt den folgenden Sponsoren herzlich für ihre finanzielle Beteiligung:



Inhaltsverzeichnis

Vorwort	3
Glossar	9
Zusammenfassung der Studienergebnisse	13
Historische Entwicklung und „Stand der Technik“-Projektion	23
Die Hebel zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen in den Sektoren – Vermeidungspotenziale und -kosten 2020	31
Energie	31
Industrie	34
Gebäude	37
Transport	40
Weitere Entwicklung nach 2020 – Vermeidungspotenziale und -kosten 2030	47
Voraussetzungen für die Umsetzung	51
Chancen für die deutsche Wirtschaft	59
Anhang: Methodik	63

Glossar

Basisjahr	Basisjahr zur Messung der erreichten Reduzierung von Treibhausgasemissionen im Sinne des Kyoto-Protokolls (1990 für CO ₂ -Emissionen; 1995 für eine Reihe weiterer Treibhausgase); vgl. „Nationaler Inventarbericht“ des UBA (Dessau, März 2007) für Details
CCS	<i>Carbon Capture and Storage</i> – Technologien zur Abscheidung und Speicherung von CO ₂
CDM(-Projekte)	<i>Clean Development Mechanism</i> – Mechanismus im Rahmen des Kyoto-Protokolls, der Emittenten in den Unterzeichnerstaaten die Möglichkeit gibt, unter Beachtung bestimmter Vorgaben in Projekte in Entwicklungsländern zu investieren und dafür CO ₂ -Zertifikate zu erhalten
CO₂	Kohlendioxid
CO₂e	Kohlendioxid-Äquivalent, d.h. Kennzahl für die Intensität eines Treibhausgases, gemessen an der Treibhauswirkung von Kohlendioxid, z.B. 21 für CH ₄ (Methan), 310 für N ₂ O (Lachgas)
EAF-Verfahren	Stahlherstellung im <i>Electric Arc Furnace</i> (Elektrolichtbogenofen) im Gegensatz zur integrierten Route Hochofen-Oxygenstahlkonverter
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
Entscheider	Derjenige, der über die Durchführung einer Investition entscheidet, d.h. das Unternehmen (z.B. für Industrieanlagen) bzw. die Privatperson (z.B. der Auto- oder Hausbesitzer)
EU ETS	<i>EU Emissions Trading Scheme</i> – Europäisches Emissionshandelssystem
EUR	Euro
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
Gt	Gigatonne(n), d.h. eine Milliarde [10 ⁹] Tonnen
(Vermeidungs-) Hebel	Technischer Ansatzpunkt zur Verminderung von Treibhausgasemissionen, z.B. Verwendung effizienterer Prozesse oder Materialien
IGCC	<i>Integrated Gasification Combined Cycle</i> – kombinierte Gas- und Dampfturbinenanlage mit vorgeschalteter Kohle-Vergasungsanlage

kWh	Kilowattstunde(n)
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
Mt	Megatonne(n), d.h. eine Million [1.000.000] Tonnen
MWh	Megawattstunde(n), d.h. Tausend [1.000] kWh
PJ	Petajoule, d.h. eine Trillion [10 ¹⁵] Joule
Referenztechnologie	Technologie auf dem Stand der Technik, mit der eine treibhausgaseffiziente Lösung im Hinblick auf Vermeidungspotenzial und -kosten verglichen wird
Sektor	<p>Im Rahmen dieser Studie vorgenommene Gruppierung von Wirtschaftszweigen¹, und zwar</p> <p>Energie: Emissionen aus zentraler, industrieller und dezentraler Stromerzeugung sowie aus der Erzeugung von Nah- und Fernwärme</p> <p>Industrie: Direkte und indirekte Emissionen aller Industriezweige mit Ausnahme der Stromerzeugung und des Transportsektors; inklusive industrieller Wärmeerzeugung</p> <p>Gebäude: Direkte und indirekte Emissionen aus privaten Haushalten und dem tertiären Sektor (GHD, öffentliche Gebäude, Gebäude in der Landwirtschaft)</p> <p>Transport: Emissionen aus dem <i>Straßenverkehr</i> (Personenverkehr: kleine, mittlere und große Personenkraftwagen (PKW), Güterverkehr: leichte Nutzfahrzeuge („Sprinterklasse“), mittlere und schwere Lastkraftwagen (LKW), Busse), dem <i>Schieneverkehr</i> (Personennah- und -fernverkehr, Güter), dem innerdeutschen <i>Luftverkehr</i> (ziviler Personen- und Frachtverkehr), inklusive Effekte durch Veränderungen im Kraftstoffmix (Mineralölindustrie)</p> <p>Entsorgungswirtschaft: Emissionen aus der Deponierung von Abfällen und aus der Behandlung von Abwasser</p> <p>Landwirtschaft: Emissionen aus Viehhaltung und Bewirtschaftung von Böden</p>

1 Die Sektoren Energie, Industrie, Gebäude und Transport wurden im Rahmen der Studie jeweils in dedizierten Arbeitsgruppen bearbeitet, an denen Vertreter von Unternehmen und Verbänden teilnahmen, die in den Sektoren als Akteure und/oder Zulieferer aktiv sind. Die Entsorgungswirtschaft und die Landwirtschaft wurden jeweils in einer Reihe von Einzelinterviews mit Experten und Vertretern von Unternehmen und Verbänden diskutiert, jedoch nicht durch eigene Arbeitsgruppen abgedeckt.

Stand der Technik	Durchschnittliche Energie- bzw. Treibhausgas-effizienz im heutigen (2006) Verkaufs- bzw. Investitionsmix
„Stand der Technik“-Projektion	Projektion der Entwicklung von Treibhausgasemissionen in Deutschland auf Basis des heute erwarteten Wirtschaftswachstums und bei allmählicher Durchdringung des Bestands mit dem Stand der Technik (für Details vgl. unten Seite 25ff.)
t	Tonne(n)
Treibhausgas	Treibhausgas im Sinne des Kyoto-Protokolls, d.h. CO ₂ (Kohlendioxid), CH ₄ (Methan), N ₂ O (Lachgas), HFC/PFC (Fluorkohlenwasserstoffe) und SF ₆ (Schwefelhexafluorid)
TWh	Terawattstunde(n), d.h. eine Milliarde [10 ⁹] kWh
Vermeidungshebel	S. „Hebel“
Vermeidungskosten (in EUR/t CO₂e)	Zusätzliche Kosten (bzw. Ersparnisse), die sich durch den Einsatz einer Technologie mit geringerer Treibhausgasintensität gegenüber dem jeweils vorherrschenden Stand der Technik ergeben (ohne Berücksichtigung von Sekundäreffekten aus volkswirtschaftlicher Sicht), in der vorliegenden Studie aus Sicht des jeweiligen Entscheiders bewertet, d.h. unter Berücksichtigung der jeweils spezifischen Diskontierungsraten und Amortisierungszeiträume
Vermeidungskostenkurve	Zusammenstellung von Vermeidungspotenzialen und -kosten für einen Sektor
Vermeidungspotenzial (in Mt CO₂e)	Potenzial zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen, das sich durch die ambitionierte, aber in der Praxis realisierbare Umsetzung eines Vermeidungshebels ergibt
(Aus Entscheidersicht) Wirtschaftlicher Vermeidungshebel	Vermeidungshebel, bei dessen Umsetzung für den Entscheider unter Berücksichtigung der jeweiligen Amortisierungszeiträume und Diskontierungsraten Einsparungen entstehen



Zusammenfassung der Studienergebnisse

Die vorliegende Studie ist die erste objektive und umfassende Analyse von Kosten und Potenzialen aller wesentlichen Hebel zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland.

Die vorliegende Studie wurde von McKinsey & Company, Inc. im Auftrag von „BDI initiativ – Wirtschaft für Klimaschutz“ erarbeitet. Sie stellt eine objektive und umfassende Analyse von Kosten und Potenzialen aller wesentlichen Hebel zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland zur Verfügung.

An der Erarbeitung der Analyse haben mehr als 40 Unternehmen und Verbände aus allen relevanten Wirtschaftszweigen in Deutschland unmittelbar mitgewirkt. Weitere ca. 30 Unternehmen und zahlreiche unabhängige Experten haben an Diskussionen zu einzelnen Themen teilgenommen.

Mit Hilfe einer industrieübergreifend einheitlichen Methodik wurden alle wesentlichen technischen Hebel – insgesamt über 300 – zur Vermeidung von Treibhausgasen in Deutschland für den Zeitraum bis 2020 bzw. bis 2030 bewertet. Für jeden einzelnen Hebel wurden sowohl das erreichbare Vermeidungspotenzial (in Mt CO₂e) als auch die Vermeidungskosten (in EUR/t CO₂e) quantifiziert. Der Bewertung des Vermeidungspotenzials liegen ambitionierte, aber in der Praxis realisierbare Durchdringungsraten für die jeweiligen technischen Lösungen zu Grunde. Dabei wurde der reguläre Investitionszyklus berücksichtigt², der durch die normale Lebensdauer von Anlagen oder Gütern bestimmt wird. Zur Bewertung der Vermeidungskosten wurden die Kosten (bzw. Ersparnisse) ermittelt, die für den jeweiligen Entscheider entstehen, wenn er an Stelle des heutigen Stands der Technik eine weniger emissionsintensive Lösung wählt.

Bei Auswahl und Bewertung der Hebel wurde davon ausgegangen, dass weder Einschränkungen der Lebensqualität noch eine Verlangsamung des Wirtschaftswachstums in Kauf genommen werden sollen. Für jeden Wirtschaftszweig wurde zusätzlich qualitativ bewertet, welchen Einfluss die Umsetzung der bewerteten Hebel auf die jeweilige Wettbewerbsfähigkeit haben kann und welche Voraussetzungen für die Umsetzung nötig sind.

Grundsätzlich wurden Technologien bewertet, die bereits heute einsetzbar oder in einem fortgeschrittenen Entwicklungsstadium sind. Insbesondere für den Zeitraum ab 2020 ist allerdings davon auszugehen, dass innovative technologische Entwicklungen in allen Bereichen weitere Potenziale erschließen können. Gleichzeitig wurde angenommen, dass Qualität und Umfang der heute vorhandenen Infrastruktur (z.B. Versorgungsstrukturen, Verkehrsinfrastruktur) in allen Bereichen auch in Zukunft entsprechend erhalten bleiben.

Der Ausstieg aus der Kernenergie für die Stromerzeugung in Deutschland wurde im Basisszenario, als gesetzt angenommen.

² Die Umsetzung von Vermeidungshebeln unabhängig vom regulären Investitionszyklus würde grundsätzlich zu Vermeidungskosten führen, die – teilweise erheblich – höher wären, als in der vorliegenden Studie bewertet.

Eine Quantifizierung und Modellierung von Sekundäreffekten (z.B. Folgen für Konsumverhalten oder Beschäftigung) und deren Auswirkungen auf die Volkswirtschaft war nicht Gegenstand der Untersuchung, da diese Effekte nur im Kontext verschiedener Politikszenerarien sinnvoll bewertet werden können.

Die Studie beschränkt sich bewusst auf die Darstellung der Faktenbasis, die in zahlreichen Analyserunden mit den beteiligten Unternehmen, Verbänden und Experten erarbeitet wurde. Diese Faktenbasis erlaubt für verschiedene mögliche Zielsetzungen zur Vermeidung von Treibhausgasen in Deutschland jeweils eine Antwort auf die Frage, welches Vermeidungspotenzial mit Hilfe welcher Hebel zu welchen Vermeidungskosten bis wann realisierbar ist. Eine Diskussion der politischen Umsetzungsmaßnahmen und Steuerungsinstrumente, die zur Realisierung verschiedener Zielsetzungen geeignet sein könnten, ist dagegen ausdrücklich nicht Inhalt der Studie.

Die Treibhausgasemissionen in Deutschland können bis 2020 gegenüber dem Niveau von 1990 um 26 Prozent gesenkt werden, wenn alle bekannten Vermeidungshebel mit Vermeidungskosten von bis zu 20 EUR/t CO_{2e} umgesetzt werden. Eine Senkung um 31 Prozent gegenüber dem Niveau von 1990 ist möglich, wenn – bei Beibehaltung des Kernkraftausstiegs – zusätzlich die Umstellung des Energiemix auf einen höheren Anteil erneuerbarer Energien erfolgt; dabei entstehen deutlich höhere durchschnittliche Vermeidungskosten von 32 EUR/t CO_{2e} (Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien) bzw. 175 EUR/t CO_{2e} (Biokraftstoffe).

Seit 1990 sind die Treibhausgasemissionen in Deutschland um 17 Prozent zurückgegangen – von 1.232 Mt CO_{2e} (Basisjahr) auf 1.025 Mt CO_{2e} (2004)³. In der „Stand der Technik“-Projektion⁴ kommt es bis 2020 zu einem leichten Anstieg auf 1.048 Mt CO_{2e}. Die in der vorliegenden Studie bewerteten Vermeidungshebel mit Vermeidungskosten von bis zu 20 EUR/t CO_{2e} können demgegenüber bis 2020 eine Reduzierung von jährlich 141 Mt CO_{2e} leisten – davon sind 127 Mt CO_{2e} aus Sicht wirtschaftlich, weitere 14 Mt CO_{2e} kosten zwischen 0 und 20 EUR/t CO_{2e}. Bei vollständiger Umsetzung dieser Hebel könnten die Treibhausgasemissionen in Deutschland gegenüber dem Niveau des Basisjahrs um 26 Prozent gesenkt werden. Gegenüber 2004 entspricht dies einer Senkung um 12 Prozent. Unter der Prämisse, dass der Ausstieg aus der Kernenergie wie geplant stattfindet⁵, kann die Umstellung des Energiemix in Deutschland – verstärkter Einsatz erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung, erhöhte Nutzung von Biokraftstoffen sowie erste Pilotprojekte für CCS – über die bereits beschriebenen Vermeidungshebel hinaus zu einer Senkung um weitere 54 Mt CO_{2e} führen. Mit der dadurch möglichen Absenkung um insgesamt 195 Mt CO_{2e} wäre gegenüber dem Stand von 2004 eine Reduzierung der jährlichen Treibhausgasemissionen in Deutschland um 17 Prozent erreicht; gegenüber dem Stand von 1990 würde dies einer Reduzierung um 31 Prozent entsprechen.

3 Vgl. „Nationaler Inventarbericht“ des UBA (Dessau, März 2007) für die historischen Emissionswerte (bis 2006); alle Angaben ohne LULUCF (*Land Use, Land Use Change, and Forestry*)

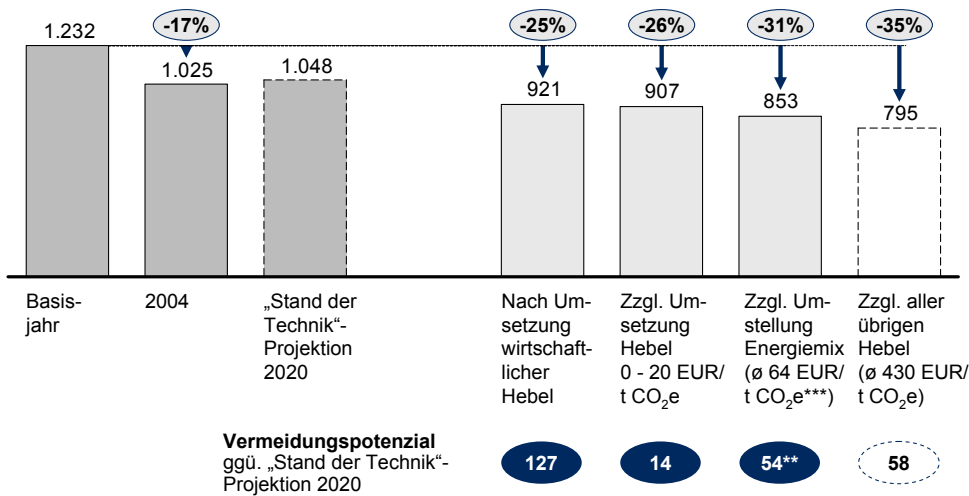
4 Vgl. unten Seite 25ff.

5 Zu den Auswirkungen einer Verzögerung des Ausstiegs aus der Kernenergie vgl. unten Seite 17.

Reduzierung Treibhausgasemissionen – Deutschland 2020*

in Mt CO₂e

ENTSCHEIDER-PERSPEKTIVE



* Bei Beibehaltung Kernkraftausstieg
 ** Inklusive 6 Mt CO₂e aus CCS-Pilotprojekten in der Stromerzeugung
 *** Stromerzeugung: ø 32 EUR/t CO₂e; Biokraftstoffe: ø 175 EUR/t CO₂e; beides unter Berücksichtigung jeweils geltender Fördersätze, Steuern und Zölle

Quelle: Studie „Kosten und Potenziale der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland“ von McKinsey & Company, Inc. im Auftrag von „BDI initiativ – Wirtschaft für Klimaschutz“

Schaubild 1

Treibhausgasemissionen in Höhe von 127 Mt CO₂e können bis 2020 jährlich zu Vermeidungskosten reduziert werden, die sich für den jeweiligen Entscheider innerhalb der für ihn relevanten Nutzungsdauer amortisieren. Die hierzu eingesetzten Hebel beruhen auf heute bereits verfügbaren Technologien (z.B. in der Gebäudedämmung, bei Heizungsanlagen, bei elektrischen Antriebssystemen in der Industrie oder bei bestimmten Maßnahmen in der Optimierung des Antriebsstrangs bei PKW). Durch die Umsetzung derartiger Maßnahmen ergibt sich für den Entscheider in Bezug auf die notwendigen Zusatzausgaben im Prinzip ein wirtschaftlicher Vorteil, der sich auch ohne einen Preis für Treibhausgasemissionen über die Nutzungsdauer der Investition rechnet. Allerdings dauert die Durchdringung des Bestands – insbesondere bei Industrieanlagen und im Gebäudebereich – teilweise Jahrzehnte, so dass diese Hebel nur nach und nach realisiert werden können. Eine Beschleunigung der Investitionszyklen ist nicht beliebig möglich, ohne dass es zu einer deutlichen Erhöhung der Vermeidungskosten kommt. Gleichzeitig gibt es in vielen Fällen Hürden, die eine Umsetzung dieser grundsätzlich wirtschaftlichen Maßnahmen bisher verhindert haben. Hierzu zählen beispielsweise die Höhe der ohnehin notwendigen Ersatzinvestition (z.B. die Kosten der grundlegenden Renovierung eines Gebäudes ohne Verbesserung der Energieeffizienz) oder das Auseinanderfallen von Investor und Nutznießer einer Maßnahme. Diese Hürden müssen zügig aus dem Weg geräumt werden, wenn das erhebliche Vermeidungspotenzial, das mit den entsprechenden Maßnahmen verbunden ist, realisiert werden soll.

Ein weiteres Vermeidungspotenzial von 14 Mt CO₂e kostet jeweils bis zu 20 EUR/t CO₂e. Hierzu gehören eine Reihe industriespezifischer Maßnahmen in bestimmten Produktionsbereichen (z.B. Klinkersubstitution in der Zementindustrie, Abscheiden von Lachgas in der Adipinsäureproduktion), die Effizienzsteigerung in neuen Braunkohlekraftwerken und der verstärkte Einsatz von KWK-Anlagen zur Wärme- und Stromproduktion.

Durch den geplanten Ausstieg aus der Kernenergie werden sich die spezifischen Emissionen der Stromerzeugung in Deutschland zunächst erhöhen, da CO₂-intensivere Kapazitäten in Kohle und Gas zugebaut werden müssen. Zum Ausgleich dieser Entwicklung können durch die Umstellung des Energiemix in Deutschland auf andere, weniger CO₂-intensive Energieträger über die bereits geschilderten Hebel hinaus weitere 54 Mt CO₂e eingespart werden. Diese Umstellung ist schon seit einigen Jahren im Gange. Heute beträgt der Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung in Deutschland bereits mehr als 10 Prozent, und der Anteil von Biokraftstoffen am gesamten Kraftstoffverbrauch liegt bei etwa 5 Prozent. Bis 2020 soll die Bedeutung dieser Energieträger auf Basis der aktuellen politischen Beschlusslage weiter zunehmen. Durch eine Erhöhung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien (vor allem aus Wind und Biomasse) auf etwa ein Viertel der Gesamterzeugung fällt der Ausstoß von Treibhausgasen aus der Stromerzeugung im Vergleich zur „Stand der Technik“-Projektion um 34 Mt CO₂e geringer aus. Die Steigerung des Anteils der Biokraftstoffe am Kraftstoffmix auf 17 Prozent entspricht einer Reduzierung von Treibhausgasemissionen um 14 Mt CO₂e. Darüber hinaus können die ersten Projekte zur Abscheidung und Speicherung von CO₂ (CCS) in der Stromerzeugung bis 2020 die Emissionen in Deutschland um 6 Mt CO₂e reduzieren, sofern innerhalb kurzer Zeit die dafür notwendigen rechtlichen Rahmenbedingungen und die entsprechende öffentliche Akzeptanz geschaffen werden. Die Vermeidungskosten der geschilderten Vermeidungshebel sind mit durchschnittlich 32 EUR/t CO₂e (Stromerzeugung)⁶ bzw. 175 EUR/t CO₂e (Biokraftstoffe) relativ hoch. Allerdings ist es auf Grund der bereits vorhandenen politischen Rahmenbedingungen wahrscheinlich, dass diese Vermeidungshebel umgesetzt werden, da die meisten von ihnen durch spezifische politische Maßnahmen (Einspeisevergütungen, gesetzliche Vorgaben) gefördert bzw. gefordert werden⁷.

Weitere Vermeidungspotenziale von 58 Mt CO₂e kosten meist deutlich mehr als 20 EUR/t CO₂e – teilweise bis zu mehreren 1.000 EUR/t CO₂e. Eine weitere Senkung der Treibhausgasemissionen um mehr als 31 Prozent gegenüber 1990 würde deshalb je Prozentpunkt signifikant steigende Vermeidungskosten verursachen – sowohl für die betroffenen Unternehmen als auch für die Volkswirtschaft insgesamt. Schon der zusätzliche Schritt von einer Senkung um 31 Prozent auf eine Senkung um 32 Prozent wäre beispielsweise aus Entscheidersicht mit reinen Vermeidungskosten von über EUR 450 Millionen jährlich verbunden.

Auf Grund der Umsetzung der beschriebenen Vermeidungshebel können – je nach Auswahl der politischen Steuerungsinstrumente – aus Entscheidersicht neben den direkten Vermeidungskosten weitere Kosten entstehen. Hierzu gehören z.B. Mehrkosten durch veränderte Strompreise auf Grund der Weitergabe von Kosten für Treibhausgasemissionen oder Umlage von Fördermitteln sowie Sekundäreffekte wie etwa Kosten für verbleibende Treibhausgasemissionen für Unternehmen im EU ETS. Im Rahmen einer Umsetzungsstrategie muss daher sorgfältig geprüft werden, welche spezifischen

6 In der Berechnung der Vermeidungskosten aus Entscheidersicht ist die EEG-Förderung enthalten; ohne Berücksichtigung dieser Förderung würden die Vermeidungskosten der Maßnahmen im Durchschnitt bei knapp 80 EUR/t CO₂ liegen.

7 Die Vermeidungskosten aus Entscheiderperspektive berücksichtigen bereits die Fördermittel, von denen der Investor profitiert. Über das EEG wurden 2006 Fördermittel i.H.v. EUR 3,2 Milliarden gezahlt. Bis 2020 würde das entsprechende Fördervolumen bei sinkenden Fördersätzen und steigendem Umfang der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien auf ca. EUR 4 Milliarden pro Jahr anwachsen; dies hätte entsprechende Auswirkungen auf die Strompreise für Industrie- und Haushaltskunden. Für Biokraftstoffe wurde angenommen, dass die geltenden Förderungen bis 2020 auslaufen; die bestehenden Importzölle für Ethanol wurden bis 2020 weiterhin berücksichtigt.

Belastungen den Marktteilnehmern in den einzelnen Sektoren zugemutet werden können, ohne Wohlstand und Wachstum in Deutschland dauerhaft zu gefährden.

Sollen bis 2020 wesentlich höhere Vermeidungsziele als 30 Prozent erreicht werden, so steht als großer und kostengünstiger zusätzlicher technischer Vermeidungshebel in erster Linie die Verzögerung des Ausstiegs aus der Kernenergie zur Verfügung. Dadurch könnten im Jahr 2020 gut 90 Mt CO₂e⁸ zusätzlich eingespart werden, ohne dass zusätzliche Vermeidungskosten entstehen; gegenüber 1990 könnte damit in Kombination mit den oben geschilderten Hebeln eine Reduzierung der Emissionen um 38 Prozent erreicht werden. Die Vermeidungskosten würden gleichzeitig im Vergleich zum Basisszenario, das die Beibehaltung des Kernkraftausstiegs unterstellt, um etwa EUR 4,5 Milliarden pro Jahr sinken.

Bis 2030 können die jährlichen Treibhausgasemissionen in Deutschland gegenüber dem Niveau von 1990 durch weitere Umsetzung von Vermeidungshebeln mit Vermeidungskosten von bis zu 20 EUR/t CO₂e und weitere Umstellung des Energiemix (bei Beibehaltung des Kernkraftausstiegs) um dann 36 Prozent gesenkt werden (auf 794 Mt CO₂e). Die Einführung von Techniken zur Abscheidung und Speicherung von CO₂ (*Carbon Capture and Storage* – CCS) kann die Emissionen zusätzlich um 104 Mt CO₂e (weitere 8 Prozentpunkte gegenüber 1990) verringern, sofern technische Realisierung, rechtliche Absicherung und kommerzielle Verbreitung dieser Technologien gelingen und sie in der Öffentlichkeit Akzeptanz finden. Wie bei der Umstellung des Energiemix entstehen auch bei der Einführung von CCS Vermeidungskosten von deutlich mehr als 20 EUR/t CO₂e – die Spanne reicht von 30 EUR/t CO₂e (Braunkohle) bis 55 EUR/t CO₂e (Industrie). Eine Umsetzung dieser Maßnahmen würde zu einer Verzerrung der Wettbewerbsfähigkeit der betroffenen Industrien führen, sofern sie nicht im globalen Kontext erfolgt.

Von 2020 bis 2030 steigen die Treibhausgasemissionen in der „Stand der Technik“-Projektion weiter leicht an auf 1.067 Mt CO₂e. Die fortgeführte Umsetzung von Vermeidungshebeln mit Vermeidungskosten von bis zu 20 EUR/t CO₂e und die weitere Umstellung des Energiemix nach dem Ausstieg aus der Kernenergie können demgegenüber – auch ohne die Einführung von CCS-Technologien – die Emissionen um 273 Mt CO₂e senken. Dies entspricht einer Senkung um 22 Prozent gegenüber dem Stand von 2004. Im Vergleich zu 1990 wäre damit eine Reduzierung der Treibhausgasemissionen in Deutschland um 36 Prozent erreicht.

8 Etwa 150 TWh Bruttostromproduktion aus Kernkraftwerken müssen beim Ausstieg aus der Kernenergie durch einen Zubaumix aus Kohle und Erdgas mit einer durchschnittlichen CO₂-Intensität von 0,64 t CO₂/MWh (2020) abgedeckt werden.

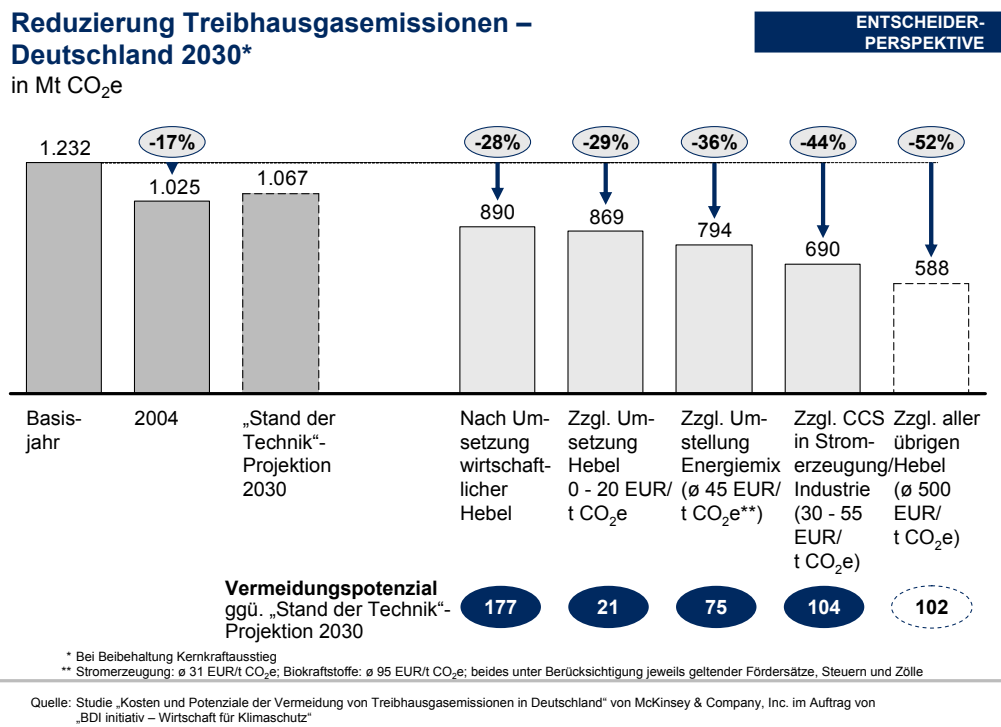


Schaubild 2

Zusätzlich zu den 127 Mt CO₂e, die bereits bis zum Jahr 2020 zu wirtschaftlichen Konditionen für den Entscheider reduziert werden können, sind bis 2030 weitere 50 Mt CO₂e zu entsprechenden Bedingungen erreichbar. Hierbei handelt es sich im Wesentlichen um eine weiter fortschreitende Durchdringung des Bestands mit bereits heute bekannten effizienten Technologien, vor allem in der Gebäudesanierung, im Fahrzeugpark und in den Industriesektoren.

Auch bei den Hebeln mit Vermeidungskosten bis zu 20 EUR/t CO₂e besteht von 2020 bis 2030 zusätzlich zu den bereits bis 2020 erreichbaren 14 Mt CO₂e durch weitere Durchdringung ein zusätzliches Vermeidungspotenzial von 7 Mt CO₂e.

Durch die weitere Umstellung der Stromerzeugung auf erneuerbare Energien nach dem Ausstieg aus der Kernenergie können zwischen 2020 und 2030 weitere 27 Mt CO₂e vermieden werden⁹. Vor allem der Ausbau der Stromerzeugung aus Wind (*Offshore*) kann hier einen Beitrag leisten (15 Mt CO₂e zusätzlich zwischen 2020 und 2030). Die Vermeidungskosten der jeweiligen Technologien bleiben im entsprechenden Zeitraum aus Entscheidersicht bei gut 30 EUR/t CO₂e.

Der nach dem Ausstieg aus der Kernenergie aus heutiger Sicht größte zusätzliche Hebel zur Treibhausgasvermeidung nach 2020 ist die Ausbreitung von Technologien zur Abscheidung und Speicherung von CO₂ (*Carbon Capture and Storage – CCS*). In der Stromerzeugung und in den energieintensiven Industrien – vor allem in der Stahl-

⁹ Zusätzlich zu den bereits bis 2020 durch Umstellung des Energiemix erreichbaren Einsparungen von 48 Mt CO₂e (ohne die für 2020 angenommenen 6 Mt CO₂e aus CCS-Pilotprojekten).

produktion – können durch diese Technologie bis 2030 jährlich 104 Mt CO₂e vermieden werden. Nach derzeitigen Schätzungen entstehen dabei Vermeidungskosten von 30 EUR/t CO₂e (Braunkohle) bis 55 EUR/t CO₂e (Industrie)¹⁰.

Die Umsetzungshürden für die Einführung der CCS-Technologien sind hoch: Soll das Potenzial erschlossen werden, so müssen zum einen die notwendigen rechtlichen Rahmenbedingungen geschaffen werden, um bis 2030 mehr als 100 Mt CO₂e pro Jahr abtransportieren und in geeigneten Speichern aufbewahren zu können. Zum anderen gilt es, die bereits laufenden Pilotprojekte zügig voranzutreiben, um rasch eine technische Reife zu erreichen. Darüber hinaus ist derzeit unklar, ob die zur Einführung der Technologie notwendigen Anlagen (z.B. Pipelines, Speicher) in der Öffentlichkeit Akzeptanz finden.

Dabei ist zu beachten, dass die isolierte Umsetzung von Vermeidungsmaßnahmen durch CCS-Technologien in energieintensiven Industrien (z.B. Stahl, Zement) einen sofortigen Verlust der internationalen Wettbewerbsfähigkeit zur Folge hätte. Auch die Umsetzung von CCS-Technologien allein in der deutschen Stromerzeugung würde zu entsprechenden Strompreiserhöhungen von 15-25 EUR/MWh (bei CO₂-Preisen von 30-50 EUR/t CO₂e) führen, die ebenfalls vor allem energieintensive Industrien – beispielsweise jene mit hohem Stromverbrauch wie etwa Nichteisen-Metalle – treffen würden. Solange die Umsetzung dieser Vermeidungshebel nicht im globalen Kontext erfolgt, würde damit eine erhebliche Verzerrung der Wettbewerbsfähigkeit für deutsche Unternehmen entstehen.

Alle Wirtschaftszweige in Deutschland können einen deutlichen Beitrag zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen leisten; ihr jeweiliger Anteil am Vermeidungspotenzial entspricht in etwa ihrem Anteil an den heutigen Emissionen. Die Art der Vermeidungshebel und die entsprechenden Vermeidungskosten variieren jedoch sehr stark von Sektor zu Sektor.

Alle in dieser Studie betrachteten Sektoren (die Stromerzeugung, die Industrie-sektoren, der Gebäudebereich, der Transportsektor sowie Entsorgungswirtschaft und Landwirtschaft) können in etwa proportional zu ihrem jeweiligen Anteil an den Gesamtemissionen zur Vermeidung beitragen. Die Vermeidungshebel und die entsprechenden Vermeidungskosten variieren dagegen stark von Sektor zu Sektor.

- In der *Energiewirtschaft* stellt – bei Beibehaltung des Ausstiegs aus der Kernenergie¹¹ – im Rahmen der Umstellung des Energiemix der weitere Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien bis 2020 den wichtigsten Vermeidungshebel dar (34 Mt CO₂e). Hierdurch entstehen für die Stromerzeuger Vermeidungskosten, die sich im Durchschnitt auf 32 EUR/t CO₂e (2020) belaufen¹². Mit der Umsetzung der entsprechenden Vermeidungshebel würde sich der Strommix in Deutschland im Jahr 2020 gegenüber heute erheblich verschieben: Erneuerbare Energien, Stein-

¹⁰ Für Gaskraftwerke bis zu 90 EUR/t CO₂e.

¹¹ Zu den Auswirkungen einer Verzögerung des Ausstiegs aus der Kernenergie vgl. unten Seite 34.

¹² In der Berechnung der Vermeidungskosten aus Entscheidungssicht ist die EEG-Förderung enthalten; ohne Berücksichtigung dieser Förderung würden die Vermeidungskosten der Maßnahmen im Durchschnitt bei knapp 80 EUR/t CO₂e liegen.

kohle und Braunkohle würden jeweils etwa ein Viertel, Gas ein Fünftel des Stroms in Deutschland liefern. Dadurch könnten – in Kombination mit dem reduzierten Strombedarf aus dem Industrie- und dem Gebäudesektor sowie mit der erhöhten Effizienz konventioneller Kraftwerke – die Emissionen des Sektors gegenüber dem heutigen Stand trotz Beibehaltung des Ausstiegs aus der Kernkraft um 21 Prozent gesenkt werden.

- In den *Industriesektoren* können die Treibhausgasemissionen sowohl durch fortgesetzte Steigerung der Energieeffizienz (z.B. durch effizientere Antriebssysteme und industriespezifische Einzelmaßnahmen) als auch durch das gezielte Abfangen von Treibhausgasen (z.B. Lachgas in der Chemie) gesenkt werden. Knapp zwei Drittel der bewerteten Maßnahmen (30 Mt CO₂e) sind aus Entsichtersicht wirtschaftlich; weitere Hebel mit einem Vermeidungspotenzial von 11 Mt CO₂e kosten bis zu 20 EUR/t CO₂e. Im Durchschnitt steigt nach Umsetzung der Maßnahmen die Energieeffizienz der Produktion bis 2020 jährlich um 1,6 Prozent¹³. Das industrielle Produktionsvolumen wächst im selben Zeitraum um knapp 2 Prozent pro Jahr; dennoch bleiben die absoluten Treibhausgasemissionen im Vergleich zum heutigen Stand bis 2020 in etwa konstant, da gleichzeitig eine Verschiebung hin zu weniger emissionsintensiven Produkten und Prozessen stattfindet.
- Im *Gebäudebereich* leisten Hebel zur Verbrauchsminderung und zur Steigerung der Energieeffizienz (z.B. Dämmung, Austausch der Heizungsanlage, Gebäudemanagementsysteme, effiziente Elektrogeräte und Beleuchtung) den größten Beitrag zur Treibhausgasvermeidung. Dabei bewirkt die gesamthafte Sanierung alter, nicht energieeffizienter Gebäude eine deutlichere Verbesserung als die bloße Umsetzung von Standards für einzelne Gebäudeteile. Da aus den zusätzlichen Investitionen bei diesen Hebeln oft erhebliche Energieeinsparungen resultieren, sind insgesamt knapp 90 Prozent der Vermeidungshebel (63 Mt CO₂e) im Gebäudebereich aus Entsichtersicht wirtschaftlich. Allerdings stehen der Umsetzung dieser Vermeidungshebel oft erhebliche Hürden entgegen, wie beispielsweise die Gesamthöhe der Investition, die vergleichsweise langen Amortisationszeiten von über zehn Jahren oder die unterschiedliche Verteilung von Kosten und Nutzen einer Maßnahme für Mieter und Vermieter. Wenn es gelingt, die wirtschaftlichen Maßnahmen im Gebäudesektor bis 2020 vollständig umzusetzen, können die Emissionen bis 2020 gegenüber dem heutigen Stand um gut 20 Prozent gesenkt werden.
- Im *Transportbereich* liegen wichtige Hebel in der technischen Optimierung, die zum Teil für den Endverbraucher wirtschaftlich ist, und im verstärkten Einsatz von Biokraftstoffen, der mit zusätzlichen Vermeidungskosten verbunden sein wird. Im Straßenpersonenverkehr (PKW) ist der wichtigste technische Hebel die weitere Optimierung vor allem der Benzin- und auch der Dieselmotoren. Letztere ist auch der wichtigste Hebel für die leichten LKW. Dabei entstehen für einen Teil der technischen Maßnahmen, insbesondere für die forcierte Einführung von Hybridfahrzeugen in allen Fahrzeugklassen, hohe Kosten. Für mittlere und schwere LKW bieten Verbesserungen am Antriebsstrang das höchste Vermeidungspotenzial, allerdings zu hohen Kosten. Darüber hinaus kann im Straßenverkehr ein integrierter Ansatz über

¹³ Energieeffizienz bezieht sich hier auf die Entwicklung des Verbrauchs von Strom und Primärenergie im Vergleich zum Produktionsindex.

alle Teile der Mobilitätskette weitere Beiträge zur Treibhausgasvermeidung leisten (z.B. Verkehrslenkung, Fahrverhalten). Für Schiene und Luftfahrt liegen die größten Vermeidungspotenziale in der weiteren technischen Optimierung der Flotte und in der Auslastungsoptimierung. In Summe sind im Transportbereich etwa 40 Prozent der Vermeidungshebel für den Entscheider wirtschaftlich (14 Mt CO₂e), bedeuten aber häufig zunächst höhere Erstinvestitionen. Durch die Umsetzung dieser Hebel sowie durch die von politischer Seite avisierte Nutzung von Biokraftstoffen mit zusätzlichen Vermeidungskosten können die Emissionen des Transportsektors bis 2020 um insgesamt 28 Mt CO₂e gesenkt werden; dies entspricht einer Senkung um 11 Prozent gegenüber dem heutigen Stand.

- In der *Entsorgungswirtschaft* wird bereits in der „Stand der Technik“-Projektion eine Reduzierung der Emissionen um 80 Prozent erwartet. Der signifikante Rückgang von 15 Mt CO₂e (Basisjahr) auf 3 Mt CO₂e (2020/2030) resultiert in erster Linie aus dem erwarteten Rückgang der Emissionen aus Deponien nach Umsetzung der TASI (Technische Anleitung Siedlungsabfall). Die verbleibenden Emissionen des Sektors stammen in erster Linie aus der Behandlung von Abwasser; hier wurden keine zusätzlichen Vermeidungshebel identifiziert.
- In der *Landwirtschaft* gehen die Emissionen in der „Stand der Technik“-Projektion von 64 Mt CO₂e (2004) auf 54 Mt CO₂e (2020) bzw. 49 Mt CO₂e (2030) zurück. Treiber hierfür sind der erwartete Rückgang von Tierbeständen und Düngereinsatz in der Landwirtschaft. Zusätzlich zu diesem Rückgang können weitere Treibhausgasemissionen in Höhe von 9 Mt CO₂e (2020) bzw. 12 Mt CO₂e (2030) zu wirtschaftlichen Konditionen für den Entscheider vermieden werden, vor allem durch weitere Umstellung auf ökologischen Landbau sowie durch gezielte Maßnahmen zur Senkung der Methanemissionen von Rindern und Milchkühen.

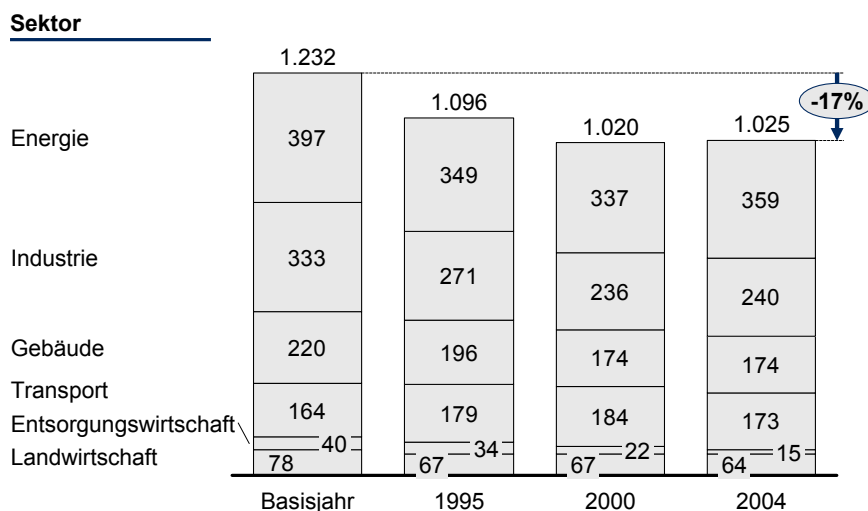


Historische Entwicklung und „Stand der Technik“-Projektion

Für das Basisjahr des Kyoto-Protokolls¹⁴ lagen die Treibhausgasemissionen in Deutschland bei 1.232 Mt CO₂e. Seitdem sind sie – vor allem bedingt durch die strukturellen Umbrüche in den neuen Bundesländern – um 17 Prozent zurückgegangen auf 1.025 Mt CO₂e (2004).

Historische Entwicklung Treibhausgasemissionen – Deutschland Basisjahr bis 2004

in Mt CO₂e



Quelle: UBA

Schaubild 3

Für das Basisjahr des Kyoto-Protokolls lagen die Treibhausgasemissionen in Deutschland bei 1.232 Mt CO₂e. In den zehn Jahren nach 1990 sanken sie um 17 Prozent auf 1.020 Mt CO₂e (2000). Dieser Rückgang ist zum Großteil auf die strukturellen Umbrüche in den neuen Bundesländern zurückzuführen. Seit 2000 sind die Treibhausgasemissionen in Deutschland in etwa auf dem erreichten Niveau geblieben (2004: 1.025 Mt CO₂e; 2005: 1.001 Mt CO₂e).

Im *Energiesektor* sanken die Emissionen auf Grund eines leichten Rückgangs der Bruttostromerzeugung um 13 TWh (infolge des Umbruchs der Industrie in den neuen Bundesländern) und der spezifischen Emissionen (infolge der beginnenden Modernisierung bzw. des Austauschs von Kraftwerken) bis zum Jahr 1995 um 12 Prozent. Die

¹⁴ Vgl. „Nationaler Inventarbericht“ des UBA (Dessau, März 2007) für die historischen Emissionswerte (bis 2006); alle Angaben ohne LULUCF (Land Use, Land Use Change, and Forestry).

bisher niedrigsten absoluten Emissionen wurden allerdings erst im Jahr 2000 erreicht: Trotz wieder ansteigender Bruttostromerzeugung führten der weitere Austausch veralteter Kraftwerke und die damit einhergehende Reduzierung der spezifischen Emissionen¹⁵ zu einem Absinken der Emissionen auf 337 Mt CO₂e (2000). Seit 2000 blieben die spezifischen Emissionen konstant, so dass die absoluten Emissionen bis 2004 mit der Bruttostromerzeugung um 7 Prozent auf 359 Mt CO₂e (2004) anstiegen¹⁶.

In den *Industriesektoren* fand der Großteil der Reduzierung der Emissionen bereits in den fünf Jahren zwischen 1990 und 1995 statt. Die direkten Emissionen sanken in diesem Zeitraum um 62 Mt CO₂e. Von 1995 bis 2004 konnte die Industrie ihre direkten Emissionen um weitere 31 Mt CO₂e senken, während gleichzeitig die Produktion um jährlich mehr als 2 Prozent anstieg. Der industrielle Stromverbrauch sank von 1990 bis 1995 um 13 TWh, stieg dann aber bis 2004 wieder auf 249 TWh an; die entsprechenden Emissionen gingen auf Grund der gesunkenen CO₂-Intensität der Stromerzeugung zurück. Der größte Teil des Rückgangs der Gesamtemissionen bis 1995 ist auf Folgeeffekte der Wiedervereinigung zurückzuführen¹⁷. Die weiter gehende Senkung der Emissionen nach 1995 wurde zum einen durch die Steigerung der Energieeffizienz in allen Industriezweigen bewirkt; zum anderen konnten viele Industrien ihre spezifischen Prozessemissionen erheblich senken.

Die Hauptursache für den Rückgang der Emissionen im *Gebäudebereich* war die Abnahme der direkten Emissionen um insgesamt 45 Mt CO₂e in den Haushalten und im tertiären Sektor. Vor allem in den neuen Bundesländern fanden umfangreiche Gebäudesanierungen (inklusive Dämmung) und weitreichende Modernisierungen der Heizungsanlagen statt. Beispielsweise haben Gas- und Öl-Niedertemperaturkessel mittlerweile fast vollständig die dezentralen Braunkohleheizungen ersetzt. Auch die Emissionen aus der zentralen Wärmeversorgung sanken dank deutlicher Effizienzgewinne bei leichtem Verbrauchsanstieg um knapp 40 Prozent. Der Stromverbrauch im Gebäudebereich stieg dagegen gleichzeitig um knapp 20 Prozent an; dieser Anstieg wurde aber durch die verbesserte CO₂-Intensität der Stromerzeugung kompensiert.

Im *Transportbereich* nahmen die Treibhausgasemissionen zwischen 1990 und 2004 um insgesamt 5 Prozent zu (von 164 auf 173 Mt CO₂e)¹⁸. Nach der Wiedervereinigung sowie auf Grund der Osterweiterung der EU und der Öffnung der Ländergrenzen stieg die Verkehrsleistung in Deutschland. Betroffen waren vor allem der Straßengüterverkehr (plus 130 Prozent) und der motorisierte Individualverkehr (plus 50 Prozent). Entsprechend wuchsen die Treibhausgasemissionen des Sektors zwischenzeitlich auf 184 Mt CO₂e (2000) an. Seitdem sind sie wieder rückläufig (173 Mt CO₂e für 2004), da deutliche Effizienzsteigerungen den Anstieg der Treibhausgasemissionen durch das erhöhte Verkehrsaufkommen zum Teil kompensieren konnten. Wesentlich hierfür waren vor allem der rückläufige Treibstoffverbrauch bei PKW und LKW sowie die Erhöhung der Energieeffizienz im Schienenverkehr durch flächendeckende Einführung von neuer Zugtechnologie und von Drehstromtechnologie mit Energierückspeisung.

15 Von 0,69 t CO₂e/MWh (Basisjahr) auf 0,57 t CO₂e/MWh (2004) – berechnet auf Basis der Nettostromerzeugung, d.h. nach Eigenverbrauch der Kraftwerke und vor Netzverlusten.

16 Die Bruttostromerzeugung entwickelte sich im betrachteten Zeitraum wie folgt: 550 TWh (1990), 537 TWh (1995), 577 TWh (2000), 616 TWh (2004).

17 Vgl. „Ursachen der CO₂-Entwicklung in Deutschland in den Jahren 1990 -1995“, DIW/Fraunhofer Institut 1998.

18 Jeweils zzgl. ca. 10 Mt CO₂e indirekte Emissionen aus Stromverbrauch von Schienenfahrzeugen

In der *Entsorgungswirtschaft* konnten die Treibhausgasemissionen zwischen 1990 und 2004 um etwa 25 Mt CO₂e gesenkt werden. Diese Einsparungen wurden vor allem dadurch erreicht, dass Methanemissionen aus Deponien abgefangen und entweder in Gasnetze eingeleitet oder abgefackelt wurden. Darüber hinaus trug die Vorbehandlung von Abwässern insbesondere in den neuen Bundesländern zur Minderung der Emissionen bei.

In der *Landwirtschaft* gingen die Emissionen von 1990 bis 2004 um etwa 14 Mt CO₂e zurück. Dieser Rückgang resultierte in erster Linie aus einer Reduzierung des Viehbestands sowie aus einer Verminderung des spezifischen Einsatzes von Düngemitteln.

Bei weiterem Wirtschaftswachstum in Deutschland im heute erwarteten Umfang und bei Durchdringung des Bestands mit dem heutigen durchschnittlichen Stand der Technik im Zuge der regulären Investitionszyklen („Stand der Technik“-Projektion) würden die Treibhausgasemissionen in Deutschland in den nächsten Jahrzehnten leicht ansteigen, und zwar auf 1.048 Mt CO₂e (2020) bzw. 1.067 Mt CO₂e (2030).

Als Aufsetzpunkt für die Bewertung von technischen Hebeln zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen in Deutschland wurde in der vorliegenden Studie eine „Stand der Technik“-Projektion erstellt. Diese Fortschreibung der Emissionsentwicklung je Sektor beruht auf zwei Grundprinzipien:

- Das derzeit prognostizierte Mengenwachstum (z.B. Produktionswachstum der verschiedenen Industriesektoren, Veränderungen in der Fahrleistung einzelner Verkehrsträger) wird als gegeben vorausgesetzt. In Summe entspricht das hier angenommene Wachstum einem Wachstum des Bruttonationalprodukts um 1,6 Prozent pro Jahr.
- Angenommen wird, dass alle neu angeschafften Güter jeweils auf dem durchschnittlichen Stand der Technik sind, der im heutigen Verkaufs- bzw. Investitionsmix erreicht ist. Dabei werden für die verschiedenen Wirtschaftszweige jeweils spezifische Lebensdauern für verschiedene Güter berücksichtigt.

In dieser „Stand der Technik“-Projektion durchdringt der heutige Verkaufs- bzw. Investitionsmix über Zeit den Bestand, bis nach komplettem Austausch aller Güter bzw. Anlagen für den gesamten Bestand die Effizienz dieses heutigen Verkaufs- bzw. Investitionsmix erreicht ist. Diese „Stand der Technik“-Projektion erlaubt eine Bewertung von technischen Vermeidungshebeln, bei der Doppelzählungen vermieden werden. Damit unterscheidet sich die „Stand der Technik“-Projektion von einem *Business as usual*-Szenario, das üblicherweise implizit sowohl eine zu erwartende Weiterentwicklung von Technologien als auch eine über den heutigen Verkaufs- bzw. Investitionsmix hinausgehende Durchdringung des Bestands mit der effizientesten Technik annimmt.

Bei der Bestandserneuerung wurde davon ausgegangen, dass die ausgetauschten Güter jeweils vollständig vom deutschen Markt verschwinden und in Deutschland keine Energie mehr verbrauchen bzw. keine Emissionen mehr verursachen. Emissionen, die durch einen Export „ausgebrauchter“ Güter (beispielsweise die Weitergabe

alter Fahrzeuge oder Flugzeuge ins Ausland) entstehen könnten, wurden – im Sinne der Abgrenzung des Kyoto-Reportings – nicht auf die zukünftigen Treibhausgasemissionen in Deutschland angerechnet. Ferner wurde unterstellt, dass der Umfang zusätzlicher Emissionen, die durch eine Weiterverwendung ausgetauschter Güter innerhalb Deutschlands (z.B. Einsatz alter Kühlschränke oder Fernseher als Zweit- oder Drittgeräte) entstehen könnten, sich nicht signifikant auf den Gesamtenergieverbrauch bzw. die Gesamtemissionen auswirkt.

Bei der Ableitung der „Stand der Technik“-Projektion blieben politische Zielsetzungen und Selbstverpflichtungen einzelner Industrien unberücksichtigt. Gleiches gilt für staatliche Förderprogramme wie den Ausbau erneuerbarer Energien auf Basis des EEG (Erneuerbare-Energien-Gesetz). Hier wurden lediglich Projekte berücksichtigt, die sich bereits heute im Bau oder in Planung befinden. Der Ausstieg aus der Kernenergie für die Stromerzeugung in Deutschland wurde als geltendes Recht im Basisszenario als gesetzt angenommen.

Insgesamt nehmen die Treibhausgasemissionen in Deutschland in der „Stand der Technik“-Projektion leicht zu. Bis 2020 steigen die Treibhausgasemissionen auf 1.048 Mt CO₂e; dies entspricht einem Anstieg um 23 Mt CO₂e gegenüber dem Niveau von 2004 (1.025 Mt CO₂e). Bis 2030 steigen die Emissionen in Deutschland um weitere 19 Mt CO₂e auf ca. 1.067 Mt CO₂e. Das Wachstum überlagert also – ohne Umsetzung zusätzlicher Vermeidungshebel – die Effizienzgewinne, welche durch die Durchdringung des Bestands mit dem heutigen Stand der Technik entstehen. Dennoch liegen die Emissionswerte in der „Stand der Technik“-Projektion für 2020 noch um knapp 15 Prozent und für 2030 um gut 13 Prozent unter dem Wert für das Basisjahr (1.232 Mt CO₂e).

Die „Stand der Technik“-Projektion unterstellt für alle Sektoren bereits ambitionierte Investitionsentwicklungen. Durch den angenommenen Austausch des Bestands im regulären Investitionszyklus und das Vordringen des heutigen Stands der Technik werden damit in vielen Wirtschaftszweigen im Vergleich zur Effizienz im heutigen Bestand deutliche Effizienzgewinne erzielt.

In der „Stand der Technik“-Projektion ergeben sich unterschiedliche Entwicklungen der Treibhausgasemissionen für die verschiedenen Sektoren:

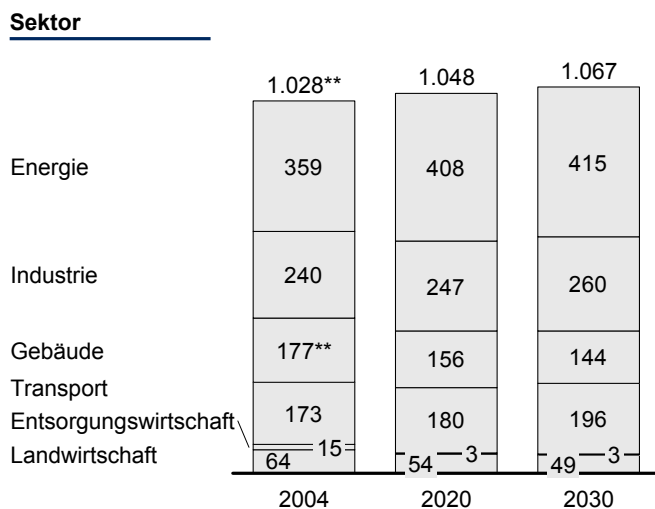
- Im *Energiesektor* in Deutschland steigen die Treibhausgasemissionen in der „Stand der Technik“-Projektion deutlich an. Insbesondere im Zeitraum bis 2020 führt der Ausstieg aus der Kernkraft dazu, dass – ohne weitere politische Eingriffe – ein Mix aus CO₂-intensiveren Gas- und Kohlekraftwerken zugebaut werden müsste. Die Emissionen des Energiesektors steigen dadurch in der „Stand der Technik“-Projektion – bei insgesamt leicht steigender Bruttostromerzeugung¹⁹ – von 359 Mt CO₂e (2004) auf 408 Mt CO₂e (2020) bzw. 415 Mt CO₂e (2030). Entsprechend erhöht sich die CO₂-Intensität des Stroms von 0,57 t CO₂/MWh (2004) auf 0,64 t CO₂/MWh (2020) bzw. 0,62 t CO₂/MWh (2030)²⁰.

19 Die Bruttostromerzeugung steigt von 616 TWh (2004) auf 636 TWh (2020) bzw. 661 TWh (2030). Darin sind neben dem Stromverbrauch aus dem Industrie- und dem Gebäudesektor (2004: 516 TWh) auch der Stromverbrauch von Schienenfahrzeugen sowie der Eigenverbrauch der Kraftwerke und Netzverluste enthalten.

20 Berechnet auf Basis der Nettostromerzeugung, d.h. nach Eigenverbrauch der Kraftwerke und vor Netzverlusten.

„Stand der Technik“-Projektion Treibhausgasemissionen – Deutschland 2004 - 2030*

in Mt CO₂e



* Bei Beibehaltung Kernkraftausstieg
 ** Klimaadjustiert für 2004: Temperaturkorrektur auf Basis Gradtage

Quelle: Studie „Kosten und Potenziale der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland“ von McKinsey & Company, Inc. im Auftrag von „BDI initiativ – Wirtschaft für Klimaschutz“

Schaubild 4

- In den *Industriesektoren* wächst die Produktion über alle Wirtschaftszweige hinweg von heute bis 2020/2030 um knapp 2 Prozent pro Jahr. Insbesondere die Maschinenbau- und Elektroindustrie sowie andere weiterverarbeitende Industrien in Deutschland wachsen nach derzeitigen Prognosen überdurchschnittlich stark. Andere Industrien – z.B. Stahl, Zement – erwarten in etwa eine gleichbleibende Produktion im Vergleich zum heutigen Stand. Gleichzeitig kommt es durch Bestands-erneuerung zu Verbesserungen in der Energie- und Treibhausgas-effizienz, und innerhalb einzelner Branchen (z.B. Chemie) findet eine Verlagerung zu weniger treibhausgasintensiven Produkten und Prozessen statt. Auf Grund beider Effekte steigen die Treibhausgasemissionen über alle Wirtschaftszweige von 2004 bis 2020/2030 um ca. 0,6 Prozent pro Jahr. Die direkten Emissionen der Industriesektoren erhöhen sich von 240 Mt CO₂e (2004) auf 247 Mt CO₂e im Jahr 2020 und auf 260 Mt CO₂e (2030). Der Anstieg bei Emissionen aus dem Verbrauch von Primärenergieträgern sowie aus Prozessemissionen ist etwas geringer als der Anstieg der Gesamtemissionen, die – wesentlich bedingt durch die steigende CO₂-Intensität in der Stromerzeugung²¹ – von 376 Mt CO₂e (2004) auf 412 Mt CO₂e (2020) bzw. auf 436 Mt CO₂e (2030) anwachsen.
- Im *Gebäudebereich* haben die Effizienzsteigerungen durch Bestandsaustausch bzw. Renovierung in der „Stand der Technik“-Projektion bis 2020/2030 einen größeren Effekt als das erwartete Mengenwachstum. Trotz anwachsender Wohnfläche (um etwa 11 Prozent von 2004 bis 2030) gehen die Emissionen aus dem direkten Energieverbrauch durch fortschreitende Renovierung im Altbestand sowie

21 Der Stromverbrauch der Industriesektoren steigt gleichzeitig von 249 TWh (2004) auf 272 TWh (2020) bzw. 295 TWh (2030).

durch effizientere Neubauten von 177 Mt CO₂e (2004)²² auf 156 Mt CO₂e (2020) bzw. 144 Mt CO₂e (2030) zurück. Der Stromverbrauch des Gebäudesektors sinkt in demselben Zeitraum leicht von 267 TWh (2004) auf 260 TWh (2020) bzw. 255 TWh (2030). Zwar findet eine weitere Durchdringung mit Elektrogeräten statt (z.B. Wäschetrockner, PCs, Unterhaltungselektronik, Geschirrspülmaschinen, Klimaanlage); gleichzeitig nähert sich aber die durchschnittliche Geräteeffizienz dem heutigen Stand der Technik an. Auf Grund der erhöhten CO₂-Intensität der Stromerzeugung bleiben die indirekten Emissionen des Sektors trotzdem in etwa auf dem heutigen Stand. Die Gesamtemissionen im Gebäudebereich sinken damit von 342 Mt CO₂e (2004) auf 331 Mt CO₂e (2020) bzw. 312 Mt CO₂e (2030) etwas langsamer als die direkten Emissionen.

- Im *Transportsektor* wird in den Jahren bis 2020/2030 weiterhin ein starkes Wachstum der Transportleistung erwartet, insbesondere im Güterverkehr auf Straße und Schiene (um jeweils 2,8 Prozent pro Jahr) sowie in der Luftfahrt (um 3 Prozent pro Jahr). Im Straßenpersonenverkehr wird dagegen nur ein geringfügiges Wachstum von 0,4 Prozent pro Jahr erwartet. Diesem Wachstum stehen bei allen Transportmitteln Effizienzverbesserungen durch Austausch der Bestandsflotte gegenüber, deren Effekte allerdings bei Berücksichtigung des Durchschnittsalters der Flotte und der heutigen Austauschgeschwindigkeit in Summe nicht ausreichen, um den Mengenanstieg in der „Stand der Technik“-Projektion vollständig auszugleichen. Die Treibhausgasemissionen des Transportsektors in Deutschland wachsen deshalb von 173 Mt CO₂e (2004) auf 180 Mt CO₂e (2020) bzw. 196 Mt CO₂e (2030)²³.
- In der *Entsorgungswirtschaft* wird angesichts des stagnierenden Bevölkerungswachstums davon ausgegangen, dass die anfallenden Mengen an Abfall und Abwasser im Wesentlichen konstant bleiben. Durch die Umsetzung der entsprechenden gesetzlichen Bestimmungen werden die Emissionen aus Deponien – wie bereits beschrieben – schon in der „Stand der Technik“-Projektion von heute 15 Mt CO₂e zurückgehen auf 3 Mt CO₂e (2020/2030). Die verbleibenden Emissionen stammen vor allem aus Abwasser und bleiben voraussichtlich konstant.
- In der *Landwirtschaft* ist in der „Stand der Technik“-Projektion ein Rückgang der Emissionen von Methan und Lachgas von ca. 64 Mt CO₂e in 2004 um 10 Mt CO₂e bis 2020 (bzw. 15 Mt CO₂e bis 2030) zu erwarten. Diesem Rückgang liegt zum einen die Entwicklung zu mehr ökologischem Ackerbau zu Grunde; bei linearer Fortsetzung des Trends seit 2000 werden 2020 rund 15 Prozent der Gesamtackerfläche ökologisch bewirtschaftet sein. Durch die damit einhergehende Reduzierung der Nutzung von chemischem Dünger werden Lachgasemissionen von knapp 6 Mt CO₂e vermieden. Zum anderen wird durch gesteigerte Effizienz in der Milchproduktion die Zahl der Wiederkäuer voraussichtlich um mehr als 20 Prozent sinken. Dies bedeutet weniger Methan aus Wiederkäuerverdauung (ca. 2 Mt CO₂e) und weniger Treibhausgase aus Gülle (knapp 2 Mt CO₂e).

22 Der Energieverbrauch im Gebäudebereich für 2004 wurde ausgehend von einer Temperaturkorrektur auf Basis der Gradtage leicht nach oben angepasst, um einen mit dem langjährigen Jahresmittel vergleichbaren Aufsetzpunkt für die weitere Berechnung zu haben.

23 Jeweils zzgl. indirekte Emissionen aus Stromverbrauch von Schienenfahrzeugen, und zwar 9 Mt CO₂e (2004), 11 Mt CO₂e (2020), 12 Mt CO₂e (2030).



Die Hebel zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen in den Sektoren – Vermeidungspotenziale und -kosten 2020

In der Energiewirtschaft stellt – bei Beibehaltung des Ausstiegs aus der Kernenergie²⁴ – im Rahmen der Umstellung des Energiemix der weitere Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien bis 2020 den wichtigsten Vermeidungshebel dar (34 Mt CO₂e). Hierdurch entstehen für die Stromerzeuger Vermeidungskosten, die sich im Durchschnitt auf 32 EUR/t CO₂e (2020) belaufen²⁵. Mit der Umsetzung der entsprechenden Vermeidungshebel würde sich der Strommix in Deutschland im Jahr 2020 gegenüber heute erheblich verschieben: Erneuerbare Energien, Steinkohle und Braunkohle würden jeweils etwa ein Viertel, Gas ein Fünftel des Stroms in Deutschland liefern. Dadurch können – in Kombination mit dem reduzierten Strombedarf aus dem Industrie- und dem Gebäudesektor sowie mit der erhöhten Effizienz konventioneller Kraftwerke – die Emissionen des Sektors gegenüber dem heutigen Stand trotz Beibehaltung des Ausstiegs aus der Kernkraft um 21 Prozent gesenkt werden.

Gegenüber der „Stand der Technik“-Projektion sinkt die Stromnachfrage in Deutschland nach Umsetzung der Vermeidungshebel in den Industriesektoren, im Gebäudebereich und im Schienenverkehr, was zu einem Rückgang der Bruttostromerzeugung um 117 TWh auf 519 TWh (2020) führt. Dies entspricht einer Reduzierung um 16 Prozent im Vergleich zum Stand von 2004 (616 TWh). Diese Reduzierung vermindert die Treibhausgasemissionen des Energiesektors im Vergleich zur „Stand der Technik“-Projektion um 70 Mt CO₂e²⁶. Mit dem Rückgang der Nachfrage sind für die Stromerzeugung auch 16 TWh vermiedene Verluste verbunden, die bei höherer Nachfrage durch den Eigenverbrauch der Kraftwerke und durch Netzverluste entstanden wären (entspricht ca. 10 Mt CO₂e).

Obwohl die Nachfrage nach Strom durch Umsetzung der Vermeidungshebel in den Industriesektoren und im Gebäudebereich zurückgeht, müssen in Deutschland neue Erzeugungskapazitäten zur Produktion von 220 TWh errichtet werden. Durch den geplanten Ausstieg aus der Kernenergie müssen etwa 150 TWh jährlich aus anderen Quellen erzeugt werden. Darüber hinaus gelangen eine Reihe von Kraftwerken an das Ende ihrer Lebensdauer und müssen ersetzt oder erheblich modernisiert werden; dies führt zu einem Ersatzbedarf von Kapazitäten zur Erzeugung von ca. 70 TWh.

Im Zuge der notwendigen Ersatzinvestitionen kommt es zu einer erheblichen Umstrukturierung der Stromerzeugung in Deutschland. Zum einen werden die neu gebauten konventionellen Kraftwerke im Vergleich zum heutigen Bestand deutlich effizienter sein, zum anderen soll ein erheblicher Anteil der benötigten Stromerzeugung in Zukunft aus erneuerbaren Energien stammen.

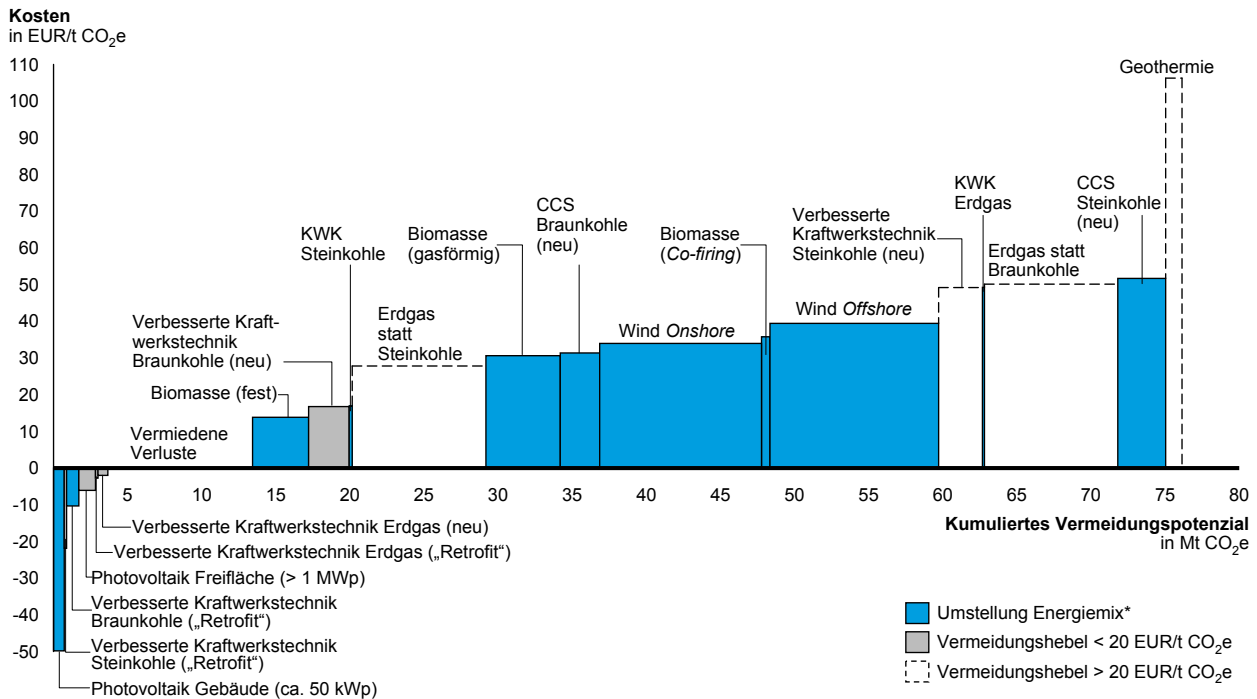
24 Zu den Auswirkungen einer Verzögerung des Ausstiegs aus der Kernenergie vgl. unten Seite 34.

25 In der Berechnung der Vermeidungskosten aus Entscheidungssicht ist die EEG-Förderung enthalten; ohne Berücksichtigung dieser Förderung würden die Vermeidungskosten der Maßnahmen im Durchschnitt bei knapp 80 EUR/t CO₂e liegen.

26 Die Vermeidungspotenziale aus den entsprechenden Maßnahmen wurden jeweils den stromverbrauchenden Sektoren zugerechnet.

Energiesektor: Vermeidungskostenkurve – Deutschland 2020*

ENTSCHEIDER-
PERSPEKTIVE
BASISSZENARIO 2020



* Bei Beibehaltung Kernkraftausstieg und unter Berücksichtigung von Fördermitteln für erneuerbare Energien (EEG)

Quelle: Studie „Kosten und Potenziale der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland“ von McKinsey & Company, Inc. im Auftrag von „BDI initiativ Wirtschaft für Klimaschutz“ – AG Energie

Schaubild 5

Bei allen konventionellen Technologien zur Stromerzeugung werden in den Jahren bis 2020 wichtige technologische Verbesserungen eingeführt, welche die Wirkungsgrade der Kraftwerke erhöhen. Hierzu zählen beispielsweise die Wirbelschichttrocknung in der Stromerzeugung aus Braunkohle oder das 700°-Kraftwerk (Steinkohle). In der „Stand der Technik“-Projektion wurde die Einführung der heute aktuellen Kraftwerkstechnik bereits berücksichtigt; die Zusatzpotenziale, die sich darüber hinaus aus weiterer Verbesserung der vorhandenen Technologien ergeben, sind deshalb vergleichsweise gering. Bereits in der „Stand der Technik“-Projektion erhöhen sich die durchschnittlichen Nettonutzungsgrade im Kraftwerkspark für Braunkohle von heute 34 Prozent auf 39 Prozent, für Steinkohle von 38 Prozent auf 43 Prozent und für Gas von 50 Prozent auf 58 Prozent. Eine weitere Effizienzsteigerung gegenüber der „Stand der Technik“-Projektion durch Modernisierung („Retrofit“) älterer Kraftwerke und zusätzliche Verbesserung neu gebauter Kraftwerke führt darüber hinaus zu einem Potenzial von knapp 5 Mt CO₂e zu Vermeidungskosten von bis zu 20 EUR/t CO₂e.

Den größten Beitrag zur Treibhausgasvermeidung in der Stromerzeugung in Deutschland leisten im Vergleich zur „Stand der Technik“-Projektion die erneuerbaren Energien, aus denen bis 2020 etwa ein Viertel des in Deutschland erzeugten Stroms produziert werden soll. Diese strukturelle Verschiebung trägt zu einer Reduzierung der Treibhausgasemissionen um 34 Mt CO₂e bei. Den größten Anteil daran haben die

Stromerzeugung aus Wind (*Onshore/Offshore* mit jeweils ca. 11 Mt CO₂e) und Biomasse (fest/gasförmig, zusammen ca. 9 Mt CO₂e). Einen mengenmäßig kleineren Beitrag leistet der weitere Ausbau der Photovoltaik (knapp 2 Mt CO₂e), der auf Grund der hohen Förderung aus Entscheidersicht wirtschaftlich ist. Eine verstärkte Nutzung von Geothermie (ca. 1 Mt CO₂e) ist dagegen aus Entscheidersicht mit Vermeidungskosten von mehr als 100 EUR/t CO₂e verbunden und wurde daher im Gesamtpotenzial nicht berücksichtigt.

Die Vermeidungskosten, die durch diese Umstellung des Energiemix entstehen, liegen mit durchschnittlich 32 EUR/t CO₂e deutlich höher als das historisch beobachtete Niveau der CO₂-Preise im EU ETS²⁷. Derzeit werden die meisten der geschilderten Vermeidungshebel allerdings durch Mechanismen außerhalb des EU ETS gefördert, so dass sich keine Rückwirkungen auf den CO₂-Preis ergeben sollten. Sollte sich dies in Zukunft ändern, so würden durch die Umstellung des Energiemix insbesondere für Industrieunternehmen erhebliche Zusatzkosten entstehen, sowohl durch direkte Kosten für die verbleibenden Emissionen als auch durch Erhöhung des Großhandelspreises für Strom (um ca. 15 EUR/MWh bei einem CO₂-Preis von 30 EUR/t CO₂e).

Im Zeitraum bis 2020 werden darüber hinaus die ersten Pilot- und Demonstrationsanlagen zur Abscheidung von CO₂ aus Kraftwerken in Betrieb gehen. Im Energiesektor ergeben sich hierdurch weitere Reduzierungen von knapp 6 Mt CO₂e zu Vermeidungskosten von gut 30 EUR/t CO₂e (Braunkohle) bzw. gut 50 EUR/t CO₂e (Steinkohle). Auch die Umsetzung dieser Vermeidungshebel hätte im Rahmen des EU ETS eine Strompreiserhöhung von 15-25 EUR/MWh zur Folge.

In der oben geschilderten Entwicklung ist auch ein verstärkter Einsatz von KWK-Anlagen enthalten, der in der vorliegenden Untersuchung über den Wärmebedarf der verbrauchenden Sektoren (Gebäude und Industrie) abgeleitet wurde. Erwartet wird insgesamt ein Anstieg der Wärmemenge aus KWK von heute 134 TWh_{th} auf 191 TWh_{th}. Dies entspricht – bei steigenden Stromkennziffern der zunehmend effizienteren Anlagen – einem Anstieg der Stromproduktion aus KWK-Anlagen von heute 63 TWh_{el} auf 100 TWh_{el} bis 2020, d.h. etwa 19 Prozent der gesamten Stromerzeugung in diesem Jahr. Der höchste absolute Anstieg von KWK-Anlagen (plus 19 TWh_{el}) ist in der dezentralen Versorgung bei Blockheizkraftwerken (10 KW_{el} bis 10 MW_{el}), insbesondere in Neubaugebieten zu erwarten; die Nutzung von KWK-Anlagen in der Industrie nimmt demgegenüber nur um etwa 10 TWh_{el} zu. Die Vermeidungspotenziale, die sich durch die Umstellung auf KWK-Anlagen ergeben, wurden für die Wärmeversorgung von Gebäuden und Industrieanlagen in den jeweiligen Sektoren berücksichtigt.

Insgesamt sind damit im Energiesektor im Vergleich zur „Stand der Technik“-Projektion Vermeidungspotenziale von 55 Mt CO₂e berücksichtigt worden. Nach Berücksichtigung des Nachfragerückgangs (70 Mt CO₂e) würde eine Umsetzung dieser Vermei-

27 In der Berechnung der Vermeidungskosten aus Entscheidersicht ist die EEG-Förderung enthalten. Im Vergleich (mit/ohne Berücksichtigung von Fördermitteln) stellen sich die Kosten für die einzelnen Technologien für 2020 folgendermaßen dar

- Wind (*Onshore*): Entscheidersicht 34 EUR/t CO₂e; gesamtwirtschaftliche Sicht: 55 EUR/t CO₂e
- Wind (*Offshore*): Entscheidersicht 39 EUR/t CO₂e; gesamtwirtschaftliche Sicht: 104 EUR/t CO₂e
- Biomasse (fest): Entscheidersicht 14 EUR/t CO₂e; gesamtwirtschaftliche Sicht: 40 EUR/t CO₂e
- Biomasse (gasförmig): Entscheidersicht 31 EUR/t CO₂e; gesamtwirtschaftliche Sicht: 57 EUR/t CO₂e
- Photovoltaik (Freifläche): Entscheidersicht -6 EUR/t CO₂e; gesamtwirtschaftliche Sicht: 153 EUR/t CO₂e
- Photovoltaik (Gebäude): Entscheidersicht -49 EUR/t CO₂e; gesamtwirtschaftliche Sicht: 213 EUR/t CO₂e

Hebel die Emissionen des Sektors auf 283 Mt CO₂e reduzieren, was gegenüber dem heutigen Stand einer Senkung um 21 Prozent entspräche. Gegenüber dem Basisjahr wäre dies eine Reduzierung um etwa 29 Prozent.

Neben der fortschreitenden Effizienzsteigerung in allen Technologien zur Stromerzeugung könnte auch eine verstärkte Nutzung von Erdgas (an Stelle von Braun- oder Steinkohle) einen erheblichen Beitrag zur Verringerung der Treibhausgasemissionen leisten. Wenn nicht nur – wie in der „Stand der Technik“-Projektion angenommen – die Hälfte der neu gebauten Kraftwerke, sondern drei Viertel der neuen Kapazitäten Gas- und Dampfkraftwerke wären, so ergäbe sich eine weitere Reduzierung der Emissionen um knapp 18 Mt CO₂e (2020), die allerdings mit Vermeidungskosten von knapp 28 EUR/t CO₂e (Erdgas statt Steinkohle) bzw. rund 50 EUR/t CO₂e (Erdgas statt Braunkohle) verbunden wären.

Eine Verlängerung der Laufzeiten der bestehenden Kernkraftwerke über eine durchschnittliche Laufzeit von 32 Jahren hinaus wurde im Basisszenario nicht eingeschlossen. Würde man die deutschen Kernkraftwerke, wie technisch möglich und in anderen westlichen Industrienationen üblich, 60 oder auch nur 45 Jahre laufen lassen, ergäbe sich für das Jahr 2020 ein um rund 90 Mt CO₂e höheres Vermeidungspotenzial als im Basisszenario²⁸. Gleichzeitig würden die Vermeidungskosten im Vergleich zum Basisszenario, das die Beibehaltung des Kernkraftausstiegs unterstellt, um EUR 4,5 Milliarden pro Jahr geringer ausfallen.

In den Industriesektoren können die Treibhausgasemissionen sowohl durch fortgesetzte Steigerung der Energieeffizienz (z.B. durch effizientere Antriebssysteme und industriespezifische Einzelmaßnahmen) als auch durch das gezielte Abfangen von Treibhausgasen (z.B. Lachgas in der Chemie) gesenkt werden. Knapp zwei Drittel der bewerteten Maßnahmen (30 Mt CO₂e) sind aus Entscheidersicht wirtschaftlich; weitere Hebel mit einem Vermeidungspotenzial von 11 Mt CO₂e kosten bis zu 20 EUR/t CO₂e. Im Durchschnitt steigt nach Umsetzung der Maßnahmen die Energieeffizienz der Produktion bis 2020 jährlich um 1,6 Prozent²⁹. Das industrielle Produktionsvolumen wächst im selben Zeitraum um knapp 2 Prozent pro Jahr; dennoch bleiben die absoluten Treibhausgasemissionen im Vergleich zum heutigen Stand bis 2020 in etwa konstant, da gleichzeitig eine Verschiebung hin zu weniger emissionsintensiven Produkten und Prozessen stattfindet.

In den Industriesektoren (ohne Stromerzeugung und Transport) wurden Vermeidungshebel für direkte und indirekte Emissionen mit einem Gesamtpotenzial von insgesamt 49 Mt CO₂e (2020) betrachtet. Etwa 60 Prozent der Vermeidungshebel (knapp 30 Mt CO₂e) sind – bei Berücksichtigung der regulären Investitionszyklen – auch ohne einen expliziten Preis für Treibhausgasemissionen wirtschaftlich. Der zunehmende Einsatz effizienterer Antriebssysteme inklusive mechanischer Systemoptimierung leistet dabei bis 2020 den größten Beitrag zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen (2020: 21 Mt CO₂e). Die historische Steigerung der Energieeffizienz in der Industrie

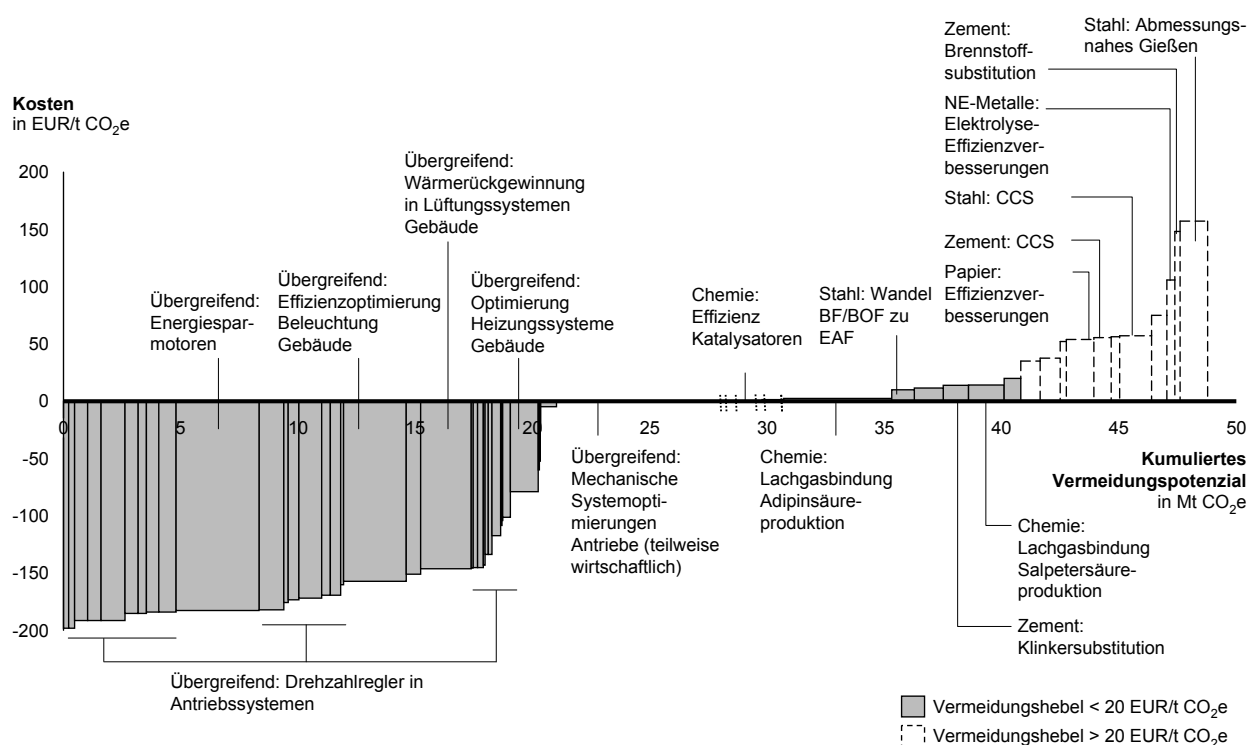
28 Etwa 150 TWh Bruttostromproduktion aus Kernkraftwerken müssen beim Ausstieg aus der Kernenergie durch einen Zubau aus Kohle und Erdgas mit einer durchschnittlichen CO₂-Intensität von 0,64 t CO₂/MWh (2020) abgedeckt werden.

29 Energieeffizienz bezieht sich hier auf die Entwicklung des Verbrauchs von Strom und Primärenergie im Vergleich zum Produktionsindex.

deutet darauf hin, dass ein erheblicher Teil dieser Maßnahmen in den normalen Investitionszyklen auch ohne zusätzliche Anreize umgesetzt werden wird. Einige Hebel erfordern allerdings die Bereitschaft der Entscheider, Eingriffe in etablierte Prozesse vorzunehmen, wobei die Prozessstabilität kontinuierlich sichergestellt sein muss. Auch die Optimierung der Energieeffizienz von Gebäuden im Industriesektor leistet einen Beitrag zur Reduzierung von Treibhausgasen zu wirtschaftlichen Bedingungen; durch entsprechende Maßnahmen können etwa 6 Mt CO₂e eingespart werden³⁰.

Industriesektor: Vermeidungskostenkurve – Deutschland 2020

ENTSCHEIDER-PERSPEKTIVE



Quelle: Studie „Kosten und Potenziale der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland“ von McKinsey & Company, Inc. im Auftrag von „BDI initiativ – Wirtschaft für Klimaschutz“ – AG Industrie

Schaubild 6

Die Potenziale und die jeweilige Wirtschaftlichkeit dieser Maßnahmen für einzelne Industriezweige hängen stark von den individuellen Gegebenheiten der jeweiligen Industrien ab. Ein Teil der Potenziale kann voraussichtlich in weniger energieintensiven Industriezweigen realisiert werden; diese sind allerdings sehr fragmentiert, so dass eine eindeutige Zuordnung der Potenziale aus der Verbesserung von Antriebssystemen und der Energieeffizienz von Gebäuden zu Einzelindustrien im Rahmen dieser Studie nicht geleistet werden konnte³¹.

- 30 Die Ansatzpunkte zur Treibhausgasvermeidung sind die unten im Abschnitt zum Gebäudebereich geschilderten Vermeidungshebel für den tertiären Sektor, vgl. Seite 38ff.
- 31 Für die energieintensiven Industrien wurde eine grobe Zuschlüsselung auf Basis des Stromverbrauchs (Antriebssysteme) bzw. der Zahl der Beschäftigten (Gebäude) vorgenommen. Daraus ergibt sich im Einzelnen folgende Zuteilung: Chemieindustrie: 3,4 Mt CO₂e; Papierindustrie: 1,8 Mt CO₂e; Stahlindustrie: 1,3 Mt CO₂e; Mineralölindustrie: 0,6 Mt CO₂e; Zementindustrie: 0,4 Mt CO₂e; Nichteisen-Metalle: 0,2 Mt CO₂e. Die übrigen knapp 20 Mt CO₂e wurden den nicht explizit genannten Industrien zugeordnet, aber nicht im Detail auf Einzelindustrien verteilt.

Weitere aus Entsichtersicht wirtschaftliche Hebel mit einem Potenzial von knapp 3 Mt CO_{2e} sind prozessspezifische Maßnahmen in einzelnen Industrien, z.B. weitere Prozessoptimierung durch Reaktordesign und Verbesserung von Katalysatoren in der Chemieindustrie.

Zusätzliche Hebel mit Vermeidungskosten von 0 bis 20 EUR/t CO_{2e} tragen knapp 11 Mt CO_{2e} zum Vermeidungspotenzial bei. Hierbei handelt es sich zum überwiegenden Teil um industriespezifische Einzelmaßnahmen³².

- Chemie (ca. 6 Mt CO_{2e}): Weitere Reduzierung von Lachgasemissionen aus Adipinsäure- und Salpetersäuresynthese
- Stahl (ca. 2 Mt CO_{2e}): Ausbau und Optimierung des EAF-Verfahrens
- Mineralöl (ca. 2 Mt CO_{2e}): Diverse Effizienzverbesserungen je nach Anlage (z.B. Effizienzverbesserung von Öfen an einzelnen Standorten)
- Zement (ca. 1 Mt CO_{2e}): Klinkersubstitution

Über alle energieintensiven Industrien hinweg wurden darüber hinaus Vermeidungspotenziale von 8 Mt CO_{2e} identifiziert, die mit Vermeidungskosten von mehr als 20 EUR/t CO_{2e} verbunden sind. Da Kosten in dieser Höhe für zahlreiche Industrien im globalen Markt eine erhebliche Beeinträchtigung der Wettbewerbsfähigkeit nach sich ziehen würden, wurden diese Potenziale in der Gesamtsumme nicht berücksichtigt. Im Einzelnen handelt es sich um folgende Vermeidungshebel:

- Chemie: Brennstoffsubstitution (0,8 Mt CO_{2e} zu Vermeidungskosten von 35 EUR/t CO_{2e})
- Stahl: Abmessungsnahes Gießen (1,2 Mt CO_{2e} zu Vermeidungskosten von 157 EUR/t CO_{2e}); erste Anlagen mit CCS (1,4 Mt CO_{2e} zu Vermeidungskosten von 57 EUR/t CO_{2e})³³
- Mineralöl: Diverse Effizienz-/Prozessverbesserungen je nach Anlage (0,9 Mt CO_{2e} zu Vermeidungskosten von 52 bzw. 75 EUR/t CO_{2e})
- Zement: Effizienzverbesserung in der Klinkerproduktion, Brennstoffsubstitution (0,6 Mt CO_{2e} zu Vermeidungskosten von 56 bzw. 148 EUR/t CO_{2e}); erste Anlagen mit CCS (0,7 Mt CO_{2e} zu Vermeidungskosten von 55 EUR/t CO_{2e})³³
- Papier: Weitere Effizienzverbesserung, z.B. durch vermehrten Einsatz von Schuhpressen (1,2 Mt CO_{2e} zu Vermeidungskosten von 54 EUR/t CO_{2e})
- Nichteisen-Metalle: Effizienzverbesserungen in der Elektrolyse und Wärmebehandlung, z.B. durch bessere Wärmeintegration (insgesamt 1,2 Mt CO_{2e} zu Vermeidungskosten von 106 bzw. 38 EUR/t CO_{2e})

32 Der Anteil der Industrien an den Maßnahmen zur Effizienzsteigerung von Antriebssystemen und Gebäuden wird hier nicht erneut ausgewiesen, um Doppelzählungen zu vermeiden.

33 Die spezifischen Kosten für die frühe Einführung von CCS liegen in der Industrie höher als bei Kraftwerken, da hier mit gleichem Infrastrukturaufwand jeweils kleinere Mengen abgefangen und abtransportiert werden müssen.

Insgesamt können die Industriesektoren in Deutschland ihre Treibhausgasemissionen bis 2020 gegenüber der „Stand der Technik“-Projektion durch Umsetzung der Vermeidungshebel mit Vermeidungskosten bis 20 EUR/t CO₂e um 41 Mt CO₂e senken. Mit 371 Mt CO₂e liegen die Gesamtemissionen des Sektors nach Umsetzung der Vermeidungshebel leicht unter dem Niveau von 2004 (376 Mt CO₂e) – und um fast 25 Prozent unter dem Niveau des Basisjahrs (488 Mt CO₂e). Mit der Umsetzung der Maßnahmen kann die produzierende Industrie die Energieeffizienz gegenüber heute um durchschnittlich 1,6 Prozent pro Jahr steigern³⁴.

Neben den Kosten, die sich unmittelbar aus der Umsetzung der geschilderten Vermeidungshebel ergeben, ist insbesondere für die energieintensiven Industrien von hoher Bedeutung, welche zusätzlichen Kosten durch das geltende CO₂-Regime sowie durch Veränderungen in den Preisen für Brennstoff und Strom entstehen. Schon CO₂-Preise bis zu 20 EUR/t CO₂, die sich ergeben würden, wenn die hier geschilderten Maßnahmen im Rahmen des EU ETS realisiert würden, belasten die globale Wettbewerbsfähigkeit vieler Industrien – in Abhängigkeit von den Allokationsregeln – erheblich. Ohne Einbettung in einen globalen Kontext würde die Umsetzung dieser Vermeidungshebel damit zu erheblichen Verzerrungen der Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen führen.

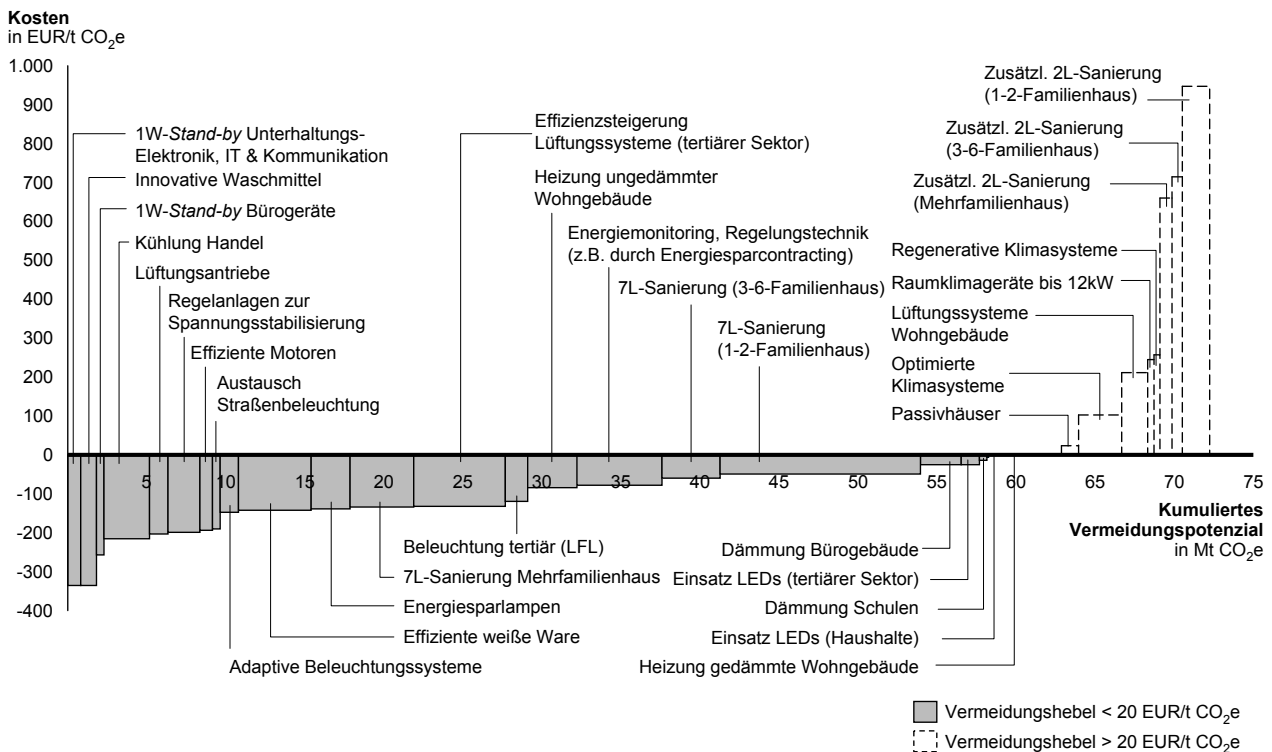
Im Gebäudebereich leisten Hebel zur Verbrauchsminderung und zur Steigerung der Energieeffizienz (z.B. Dämmung, Austausch der Heizungsanlage, Gebäudemanagementsysteme, effiziente Elektrogeräte und Beleuchtung) den größten Beitrag zur Treibhausgasvermeidung. Dabei bewirkt die gesamthafte Sanierung alter, nicht energieeffizienter Gebäude eine deutlichere Verbesserung als die bloße Umsetzung von Standards für einzelne Gebäudeteile. Da aus den zusätzlichen Investitionen bei diesen Hebeln oft erhebliche Energieeinsparungen resultieren, sind insgesamt knapp 90 Prozent der Vermeidungshebel (63 Mt CO₂e) im Gebäudebereich aus Entscheidersicht wirtschaftlich. Allerdings stehen der Umsetzung dieser Vermeidungshebel oft erhebliche Hürden entgegen wie beispielsweise die Gesamthöhe der Investition, die vergleichsweise langen Amortisationszeiten von über 10 Jahren oder die unterschiedliche Verteilung von Kosten und Nutzen einer Maßnahme für Mieter und Vermieter. Wenn es gelingt, die wirtschaftlichen Maßnahmen im Gebäudesektor bis 2020 vollständig umzusetzen, können die Emissionen bis 2020 gegenüber dem heutigen Stand um gut 20 Prozent gesenkt werden.

Insgesamt wurden im Gebäudebereich Vermeidungshebel mit einem Potenzial von 72 Mt CO₂e (2020) betrachtet. Fast 90 Prozent dieses Potenzials (63 Mt CO₂e) sind aus Sicht des jeweiligen Entscheiders im Prinzip wirtschaftlich. Weitere 4 Mt CO₂e sind zu Vermeidungskosten von 20 bis 100 EUR/t CO₂e realisierbar, dazu gehört vor allem der Einsatz optimierter Klimasysteme im tertiären Sektor. Ein knappes Zehntel des Vermeidungspotenzials (5 Mt CO₂e) würde beim Entscheider Vermeidungskosten von mehr als 100 EUR/t CO₂e verursachen; dies betrifft insbesondere Maßnahmen, die den Primärenergiebedarf für die Raumwärmeerzeugung in Wohngebäuden im Bestand über den „7-Liter-Standard“ hinaus auf bis zu 20 kWh bzw. 2 Liter pro Quadratmeter und Jahr reduzieren („2-Liter-Standard“ bzw. „Passivhausstandard“).

³⁴ Energieeffizienz bezieht sich hier auf die Entwicklung des Verbrauchs von Strom und Primärenergie im Vergleich zum Produktionsindex.

Gebäudesektor: Vermeidungskostenkurve – Deutschland 2020

ENTSCHEIDER-PERSPEKTIVE



Quelle: Studie „Kosten und Potenziale der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland“ von McKinsey & Company, Inc. im Auftrag von „BDI initiativ – Wirtschaft für Klimaschutz“ – AG Gebäude

Schaubild 7

Der größte Einzelhebel im Gebäudebereich ist die umfassende Verbesserung von Dämmung und Heizung für Wohngebäude, die vor 1979 errichtet wurden, auf einen „7-Liter-Standard“ (d.h. einen Energieverbrauch von 70 kWh bzw. 7 Liter pro Quadratmeter und Jahr). Bei einer jährlichen energetischen Sanierungsrate von 3 Prozent aller bisher unsanierten Wohngebäude mit Baujahr vor 1979³⁵ ergeben sich hierdurch 20 Mt CO₂e Vermeidungspotenzial (2020). Diese Maßnahmen sind ohne Ausnahme wirtschaftlich und rechnen sich mit einer Ersparnis von durchschnittlich knapp 70 EUR/t CO₂e, wenn sie im Zusammenhang mit einer ohnehin stattfindenden Renovierung durchgeführt werden; allerdings liegen die Amortisationszeiten oft deutlich oberhalb von zehn Jahren.

Die Rechnung lässt sich am Beispiel eines freistehenden Einfamilienhauses erläutern, das von seinem Besitzer selbst bewohnt wird (120 Quadratmeter Wohnfläche, Baujahr 1975, bisher unsaniert). Würde der Eigentümer lediglich das Gebäude instand halten und die Heizungsanlage gegen den heutigen Stand der Technik tauschen, käme eine Investition in Höhe von etwa 77.000 EUR auf ihn zu, davon 41.000 EUR aus Arbeiten an

35 Diese Sanierungsrate entspricht einer jährlichen Sanierungsrate von etwa 1,7 Prozent des Gesamtbestands. Sie liegt etwas mehr als doppelt so hoch wie der historisch beobachtete Wert von etwa 0,75 Prozent und ist durchaus ambitioniert. Sollte ein Teil dieser Sanierungen – auf Grund weiter bestehender Hürden – nicht realisiert werden, so kann auch der Austausch von Heizungsanlagen alleine bereits einen Beitrag zur Senkung von Treibhausgasemissionen leisten.

der Gebäudehülle und 8.000 EUR für eine Standarderneuerung der Heizungsanlage. Zusätzlich fallen im Innenbereich Instandhaltungskosten von insgesamt 28.000 EUR an (z.B. für Renovierungsmaßnahmen an Wänden und Böden, Bäder, Küche). Führt der Eigentümer nun an Stelle der reinen Instandhaltungsarbeiten eine Sanierung auf „7-Liter-Standard“ durch, so erhöhen sich die Investitionen gegenüber der reinen Instandhaltung um ca. 16.500 EUR, davon etwa 5.000 EUR für die Fassadendämmung, 3.000 EUR für die Dämmung der oberen Geschossdecke, 2.500 EUR für höherwertige Fenster sowie 3.000 EUR für die Dämmung der Kellerdecke. Der Einsatz eines modernen Brennwertkessels mit solarer Warmwassererzeugung an Stelle einer Standardheizung führt darüber hinaus zu einer Mehrinvestition von ca. 3.000 EUR. Durch die deutliche Verringerung des Primärenergiebedarfs für Raumwärme und Warmwasser um ca. 200 kWh pro Quadratmeter und Jahr macht sich die Investition nach ungefähr fünfzehn Jahren bezahlt. Die jährliche Energiekostensparnis beträgt für den Hausbesitzer etwa 1.300 EUR.

Neben der ganzheitlichen Gebäudesanierung leistet auch der Austausch alter, nach heutigen Maßstäben wenig effizienter Heizungsanlagen in bereits sanierten Altgebäuden sowie in bisher unsanierten Altgebäuden einen Beitrag von 8 Mt CO_{2e} und führt zu einer Kostenersparnis bis zu 86 EUR/t CO_{2e}.

Eine weitergehende Sanierung von Wohngebäuden im Bestand auf „Passivhausstandard“ (Primärenergiebedarf für die Raumwärmeerzeugung von 20 kWh bzw. 2 Liter pro Quadratmeter und Jahr) würde das Vermeidungspotenzial um weitere 3 Mt CO_{2e} erhöhen, wäre im Vergleich aber teuer: Für den Entscheider entstehen hier Vermeidungskosten von 650 bis 950 EUR/t CO_{2e}.

Im tertiären Sektor (GHD, öffentliche Gebäude, Gebäude in der Landwirtschaft) leisten die Effizienzsteigerung vorhandener Lüftungssysteme sowie verbesserte Energiemonitoring und -managementsysteme mit 11 Mt CO_{2e} (2020) den größten Beitrag zur Treibhausgasvermeidung. Die Einführung derartiger Systeme kann beispielsweise im Rahmen eines Energiesparcontractings erfolgen. Auch bei der Umsetzung dieser Maßnahmen entstehen für den Entscheider Einsparungen, und zwar von etwa 110 EUR/t CO_{2e}.

Die energetische Sanierung (Dämmung auf „7-Liter-Standard“) von Schulen und Bürogebäuden leistet einen zusätzlichen Beitrag von gut 3 Mt CO_{2e}, die mit Einsparungen von rund 20 EUR/t CO_{2e} verbunden sind. Das im Vergleich zu Wohngebäuden klein erscheinende Potenzial resultiert ebenso aus einer geringeren Gesamtfläche wie aus einer geringeren Heizdauer in den entsprechenden Gebäuden.

Durch den Einsatz von Spitzentechnologie bei Elektrogeräten, insbesondere bei Haushaltsgeräten, Unterhaltungs- und Kommunikationselektronik, bei Bürogeräten und in der Kühlung im Handel, lassen sich 9 Mt CO_{2e} vermeiden. Der Einsatz effizientester Leuchtsysteme bei Innen- und Straßenbeleuchtung bringt noch einmal 7 Mt CO_{2e}. Alle entsprechenden Vermeidungshebel leisten sofort einen Beitrag und rechnen sich mit Ersparnissen zwischen 25 und 350 EUR/t CO_{2e}.

Weitere diverse Hebel, die aus Entscheidersicht wirtschaftlich sind wie z.B. die Verringerung des Stromverbrauchs durch Einsatz innovativer Waschmittel, addieren sich auf zusätzlich 5 Mt CO_{2e}.

Insgesamt können die Treibhausgasemissionen im Gebäudebereich allein durch die Umsetzung der wirtschaftlichen Hebel mit einem Vermeidungspotenzial von 63 Mt CO_{2e} bis 2020 auf 268 Mt CO_{2e} reduziert werden. Gegenüber dem Stand von 2004 entspricht dies einer Senkung um gut 20 Prozent; gegenüber dem Basisjahr sinken die Treibhausgasemissionen des Sektors damit sogar um fast 30 Prozent.

Obwohl ein Großteil der Vermeidungshebel im Gebäudebereich sich im Prinzip aus Entscheiderperspektive rechnet, stehen der Umsetzung der Hebel in der Praxis eine Reihe wesentlicher Hürden entgegen. Bei privaten Entscheidern herrscht verbreitet Unkenntnis über die technischen Möglichkeiten und über die wirtschaftlichen Vorteile von Energiesparmaßnahmen. Außerdem sind die Amortisierungszeiten für die entsprechenden Maßnahmen oft lang und die Investitionen sowohl für die Renovierungen an sich als auch für die energetischen Verbesserungen – wie oben geschildert – vergleichsweise hoch. Das schreckt einzelne Entscheidergruppen ab – beispielsweise junge Familien oder Senioren, aber auch Finanzinvestoren oder Investoren im öffentlichen Bereich, die einer Budgetierung unterliegen. Eine weitere Hürde besteht bei der Umsetzung der Vermeidungshebel bei Mietwohnungen: In der Regel trägt hier der Vermieter die Kosten einer energetischen Sanierung des Wohnraums, während der Mieter von den Energieeinsparungen profitiert. Soll das Vermeidungspotenzial im Gebäudesektor ausgeschöpft werden, so müssen diese Hürden zügig und nachhaltig beseitigt werden.

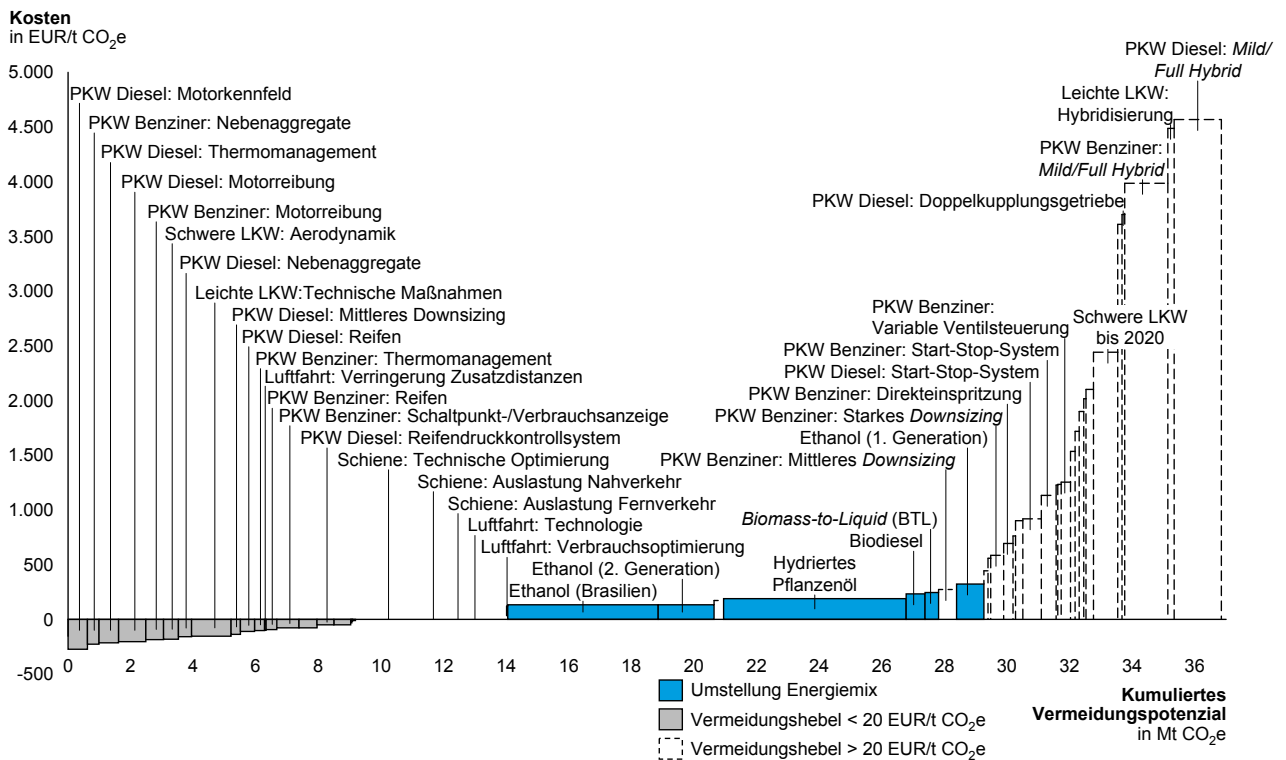
Im Transportbereich liegen wichtige Hebel in der technischen Optimierung, die zum Teil für den Endverbraucher wirtschaftlich ist, und im verstärkten Einsatz von Biokraftstoffen, der mit zusätzlichen Vermeidungskosten verbunden sein wird. Im Straßenpersonenverkehr (PKW) ist der wichtigste technische Hebel die weitere Optimierung vor allem der Benzin- und auch der Dieselmotoren. Letztere ist auch der wichtigste Hebel für die leichten LKW. Dabei entstehen für einen Teil der technischen Maßnahmen, insbesondere für die forcierte Einführung von Hybridfahrzeugen in allen Fahrzeugklassen, hohe Kosten. Für mittlere und schwere LKW bieten Verbesserungen am Antriebsstrang das höchste Vermeidungspotenzial, allerdings zu hohen Kosten. Darüber hinaus kann im Straßenverkehr ein integrierter Ansatz über alle Teile der Mobilitätskette weitere Beiträge zur Treibhausgasvermeidung leisten (z.B. Verkehrslenkung, Fahrverhalten). Für Schiene und Luftfahrt liegen die größten Vermeidungspotenziale in der weiteren technischen Optimierung der Flotte und der Auslastungsoptimierung. In Summe sind im Transportbereich etwa 40 Prozent der Vermeidungshebel für den Entscheider wirtschaftlich (14 Mt CO_{2e}), bedeuten aber häufig zunächst höhere Erstinvestitionen. Durch die Umsetzung dieser Hebel sowie durch die von politischer Seite avisierte Nutzung von Biokraftstoffen mit zusätzlichen Vermeidungskosten können die Emissionen des Transportsektors bis 2020 um insgesamt 28 Mt CO_{2e} gesenkt werden; dies entspricht einer Senkung um 11 Prozent gegenüber dem heutigen Stand.

Im Transportsektor wurden die Potenziale pro Verkehrsträger (Straße, Schiene und Luftfahrt) jeweils separat bewertet. Über alle Verkehrsträger hinweg wurden Vermeidungshebel mit einem Potenzial von 37 Mt CO_{2e} (2020) betrachtet. Knapp 40 Prozent dieser Vermeidungshebel (14 Mt CO_{2e}) sind für den Entscheider wirtschaftlich; weitere 40 Prozent lassen sich bei Umsetzung der Vorgaben zum veränderten Energiemix

durch die Einführung von Biokraftstoffen realisieren (14 Mt CO₂e), wobei allerdings für den Entscheider Vermeidungskosten von mehr als 130 EUR/t CO₂e entstehen. Das übrige Vermeidungspotenzial von 9 Mt CO₂e wäre für den Entscheider mit Vermeidungskosten von meist mehr als 300 EUR/t CO₂e verbunden³⁶.

Transportsektor: Vermeidungskostenkurve – Deutschland 2020

ENTSCHEIDER-PERSPEKTIVE



Quelle: Studie „Kosten und Potenziale der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland“ von McKinsey & Company, Inc. im Auftrag von „BDI initiativ – Wirtschaft für Klimaschutz“ – AG Transport

Schaubild 8

Das Gesamtpotenzial der technischen Maßnahmen für PKW lässt sich in mehrere Maßnahmenbündel unterteilen, welche die Emissionen insgesamt um 15,6 Mt CO₂e verringern könnten. Davon wäre gut die Hälfte (8,2 Mt CO₂e) aus Entscheidersicht wirtschaftlich.

- Durch die *Optimierung von Motoren und Getrieben* ergeben sich Potenziale von 6,7 Mt CO₂e. Gut die Hälfte der Maßnahmen ist wirtschaftlich, hierzu gehören z.B. Maßnahmen zur Reduzierung der innermotorischen Reibung oder das Thermomanagement. Andere Maßnahmen sind mit signifikanten Vermeidungskosten verbunden, z.B. der Einbau eines Doppelkupplungsgetriebes mit mehr als 1.000 EUR/t CO₂e.

36 Für Beispiele zur Berechnung der Vermeidungskosten vgl. unten Seite 65

- Durch *Optimierungen am Gesamtfahrzeug*, z.B. durch Verbesserung der Aerodynamik, Optimierung des Gewichts und Reduzierung des Rollwiderstands der Reifen, lassen sich 1,2 Mt CO₂e (2020) Treibhausgasemissionen vermeiden, zu Kosten von etwa 250 EUR/t CO₂e.
- Durch die *Einführung von Hybriden (Mild/Full)* lassen sich weitere 3 Mt CO₂e einsparen. Eine forcierte Einführung über alle Fahrzeugsegmente hinweg würde allerdings zu Kosten von mehr als 3.000 EUR/t CO₂e führen. Ein Teil der Verbrauchsvorteile lässt sich auch über eine *Micro-Hybridisierung*³⁷ zu geringeren Kosten realisieren, wenn beispielsweise Start-Stop-Systeme einen entsprechend hohen Marktanteil erlangen. Im unterstellten Szenario liegt das weitere Vermeidungspotenzial für Micro-Hybride bei 1,7 Mt CO₂e. Für bestimmte Nischenanwendungen, wie beispielsweise Stadtbusse, ist die Hybridtechnologie zumindest bei Abschreibungszeiten von acht Jahren und mehr in etwa kostenneutral, da der Hybrid innerstädtisch durch die vielen Start-Stop-Vorgänge seinen Vorteil besonders gut ausspielen kann.
- Durch weitere Maßnahmen, deren Effekt derzeit nicht im Fahrzyklus (Normverbrauchstest) erfasst wird, lässt sich der Verbrauch weiter reduzieren. Hierzu zählen die *Schaltpunkt- und Verbrauchsanzeige, Reifendruckkontrollsysteme und optimierte Klimaanlage*. Insgesamt ergibt sich hierbei ein Potenzial von 3 Mt CO₂e, das mit Ersparnissen von 30 EUR/t CO₂e verbunden und damit wirtschaftlich ist.
- Im Rahmen der Untersuchung wurden auch die alternativen Antriebstechnologien Erdgas, Wasserstoff und Brennstoffzelle betrachtet. Auf Grund fehlender belastbarer industrieübergreifender Kostendaten und weil signifikante Vermeidungspotenziale für die innovativen Antriebstechnologien erst im längerfristigen Zeithorizont erwartet werden, wurden diese jedoch nicht detailliert quantifiziert.

Bei den LKW wurden die technischen Maßnahmen für leichte Nutzfahrzeuge und mittelschwere/schwere Nutzfahrzeuge (inklusive Busse) getrennt bewertet. Insgesamt können über beide Segmente hinweg 3 Mt CO₂e (2020) vermieden werden. Bei leichten Nutzfahrzeugen unterstützen die Reduzierung der innermotorischen Reibung durch Einsatz von Leichtlaufölen, eine verbesserte Aerodynamik und Start-Stop-Systeme die Verbrauchsreduktion. Bei mittelschweren/schweren Nutzfahrzeugen wurde unter Abwägung zwischen Abgas- und Verbrauchsreduktion ein Maßnahmenbündel definiert, das vor allem an der Optimierung des Antriebsstrangs ansetzt. Weitere Vermeidungspotenziale aus einer deutlichen aerodynamischen Verbesserung von schweren Langstreckenfahrzeugen sind zwar wirtschaftlich, aber nur nach Anpassung der Gesetzeslage realisierbar. Insgesamt rechnen sich aus Entscheidersicht 1,6 Mt CO₂e, z.B. verschiedene motorseitige Maßnahmen bei den leichten LKW. Die weiteren 1,4 Mt CO₂e Potenzial sind kostenintensiv, so z.B. das Maßnahmenpaket für die schweren LKW mit Vermeidungskosten von mehr als 1.000 EUR/t CO₂e.

Im Straßenverkehr insgesamt kann der CO₂e-Ausstoß in Ergänzung zu den technischen Hebeln durch eine verbrauchssparende Fahrweise der Fahrzeugführer (*Eco-Driving*), eine optimierte Verkehrslenkung (Infrastruktur und Verkehrsmanagement) sowie durch

³⁷ Micro-Hybridisierung umfasst die sukzessive Elektrifizierung der Nebenaggregate und die Einführung eines Start-Stop-Systems mit Rückgewinnung der Bremsenergie kombiniert mit einem verbesserten Energiemanagement.

ein verbessertes Flottenmanagement bei LKW um weitere 4 Mt CO₂e verringert werden. Eine umfassende und detaillierte Kostenbewertung steht hierfür aber noch aus. Zur Realisierung dieser Maßnahmen ist ein integrierter Ansatz der Automobilhersteller, der Verkehrsteilnehmer, der Infrastrukturhersteller/-betreiber³⁸ und der Mineralölindustrie erforderlich, d.h. ein Zusammenwirken aller Teile der Mobilitätskette.

Im Schienenverkehr stellt die Steigerung der Auslastung des Personennah- und -fernverkehrs angesichts des prognostizierten Verkehrswachstums einen wesentlichen Hebel bis 2020 dar, der einen Beitrag von 1,6 Mt CO₂e (2020) leisten kann. Technologische Verbesserungen der Zug- und Betriebstechnik³⁹ können die Emissionen um 1,8 Mt CO₂e senken. Die Vermeidungskosten für das Gesamtpotenzial von 3,4 Mt CO₂e wurden auf Null gesetzt, da detaillierte Kostenberechnungen noch nicht vorliegen⁴⁰. Eine zusätzliche Reduzierung der Emissionen im Schienenverkehr kann sich durch die Senkung der CO₂-Intensität der Stromerzeugung nach Umsetzung der Maßnahmen im Energiesektor ergeben; gegenüber dem Stand von 2004 bedeutet dieser Effekt eine weitere Senkung der spezifischen Emissionen auf der Schiene um rund 10 Prozent (bezogen auf den Personen-/Tonnenkilometer).

Im Luftverkehr sind wesentliche Hebel die weitergehende Optimierung im Flugzeugneubau über den Stand der Technik hinaus (z.B. Werkstoffeinsatz, Triebwerksoptimierung), die technische Verbesserung der bestehenden Flugzeugflotte (z.B. Nachrüsten von Winglets, Einbau leichterer Stühle), die Verbrauchsoptimierung beim Flugeinsatz (z.B. durch Gepäckoptimierung) sowie die Vermeidung von Zusatzdistanzen (u.a. Reduzierung Normaldistanzen, verbessertes *Air Traffic Management*). Alle bewerteten Hebel sind mit einem Vermeidungspotenzial von 0,6 Mt CO₂e für den Entscheider wirtschaftlich⁴¹.

Ein Anstieg des Anteils der Biokraftstoffe am gesamten Kraftstoffverbrauch von heute 5 Prozent (2006) auf 17 Prozent (energetisch) bis 2020, entsprechend den diskutierten Zielvorgaben der Bundesregierung, bringt ein zusätzliches Potenzial von 14 Mt CO₂e für PKW und LKW⁴². Bei Benzin kann das Potenzial über Ethanol der ersten Generation, Importe aus Brasilien sowie ab 2015 zum Teil über Ethanol der zweiten Generation erreicht werden. Unter Berücksichtigung der heute geltenden Importzölle von 19 Cent/Liter liegen die Vermeidungskosten 2020 zwischen 130 und 320 EUR/t CO₂e. Bei Diesel erfolgt der Anstieg der Biokraftstoffe hauptsächlich über hydriertes Pflanzenöl, das ebenfalls weitgehend importiert werden wird. Biodiesel aus heimischem Rapsöl wächst nur geringfügig, und *Biomass-to-Liquid* (BTL) erreicht lediglich einen kleinen Marktanteil. Die Vermeidungskosten liegen hier zwischen 190 und 240 EUR/t CO₂e (2020).

38 Die Untersuchung geht von der Annahme aus, dass das gegenwärtige Qualitätsniveau der Infrastruktur für alle Verkehrsträger auch in Zukunft erhalten wird.

39 Z.B. Maßnahmen zur verbesserten Energieverwendung/-rückgewinnung, Leichtbau durch modulare Bauweise, Doppelstockfahrzeuge.

40 Derzeit erfolgt eine detaillierte Kostenbewertung im EU-Projekt „Rail Energy“.

41 Zusätzliches Potenzial kann sich zukünftig auch aus einer Beimischung von Biokraftstoffen ergeben, wobei die Verwendungskonkurrenz der knappen Ressource Biokraftstoff zu berücksichtigen ist; vgl. unten Seite 56f.

42 Die 17 Prozent Biokraftstoffanteil werden in der Kalkulation gleichberechtigt auf Benzin und Diesel angewendet.

Ob sich für den Entscheider – beispielsweise den Autokäufer – die zusätzlichen Kosten über die durchschnittliche Nutzungsdauer von 4,5 Jahren in Form von Verbrauchsreduzierungen amortisieren, hängt jeweils vom spezifischen Technikpaket ab. Allerdings sind die identifizierten technischen Maßnahmen für die Endkunden mit höheren Preisen verbunden, die eine Anschaffungshürde bedeuten können. Beispielsweise würden für PKW bei Einführung aller technischen Maßnahmen außer dem *Mild/Full Hybrid* und unter Berücksichtigung von Kostendegressionseffekten die durchschnittlichen Kosten für einen Neuwagen im Jahr 2020 um 1.250 EUR steigen. Bei einem zusätzlichen (teilweisen) Umstieg auf Hybridfahrzeuge (*Mild/Full Hybrid*) würde sich der durchschnittliche Neuwagenpreis im Jahr 2020 um über 3.000 EUR erhöhen.

Absolut gesehen sinken die Treibhausgasemissionen des Transportsektors bei forcierter Einführung von Biokraftstoffen und Umsetzung der Vermeidungshebel mit Kosten von bis zu 20 EUR/t CO₂e gegenüber der „Stand der Technik“-Projektion um 28 Mt CO₂e. Dies entspricht einer Senkung um 15 Prozent. Im Vergleich zum Niveau von 2004 reduzieren sich die Treibhausgasemissionen des Sektors damit um 11 Prozent, im Vergleich zum Basisjahr um 7 Prozent.



Weitere Entwicklung nach 2020 – Vermeidungspotenziale und -kosten 2030

Bis 2030 können die jährlichen Treibhausgasemissionen in Deutschland gegenüber dem Niveau von 1990 durch weitere Umsetzung von Vermeidungshebeln mit Vermeidungskosten von bis zu 20 EUR/t CO₂e und weitere Umstellung des Energiemix (bei Beibehaltung des Kernkraftausstiegs) um dann 36 Prozent gesenkt werden (auf 794 Mt CO₂e). Die Einführung von Techniken zur Abscheidung und Speicherung von CO₂ (*Carbon Capture and Storage* – CCS) kann die Emissionen zusätzlich um 104 Mt CO₂e (weitere 8 Prozentpunkte gegenüber 1990) verringern, sofern technische Realisierung, rechtliche Absicherung und kommerzielle Verbreitung dieser Technologien gelingen und sie in der Öffentlichkeit Akzeptanz finden. Wie bei der Umstellung des Energiemix entstehen auch bei der Einführung von CCS Vermeidungskosten von deutlich mehr als 20 EUR/t CO₂e – die Spanne reicht von 30 EUR/t CO₂e (Braunkohle) bis 55 EUR/t CO₂e (Industrie). Eine Umsetzung dieser Maßnahmen würde zu einer Verzerrung der Wettbewerbsfähigkeit der betroffenen Industrien führen, sofern sie nicht im globalen Kontext erfolgt.

Für den Zeitraum zwischen 2020 und 2030 wurden in der vorliegenden Studie zum einen die zusätzlichen Vermeidungspotenziale betrachtet, die sich durch eine weitere Umsetzung der bereits bis 2020 einsetzbaren Vermeidungshebel ergeben; zum anderen wurde – als wesentliche derzeit in der Entwicklung befindliche Technologie zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen – CCS betrachtet. Selbstverständlich ist darüber hinaus zu erwarten, dass in den Jahren bis 2030 weitere, neue und innovative Technologien auf den Markt kommen, die ebenfalls einen Beitrag zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen leisten können. Auf eine Abschätzung von Potenzialen aus solchen Technologien wurde jedoch verzichtet.

Im Transport- und im Gebäudesektor sowie in den Industriesektoren werden zwischen 2020 und 2030 durch weitere Durchdringung mit effizienter Technologie zusätzliche Vermeidungspotenziale realisiert, die aus Entscheidersicht wirtschaftlich sind. Über die bereits bis 2020 erreichbaren 127 Mt CO₂e hinaus können zwischen 2020 und 2030 weitere 50 Mt CO₂e umgesetzt werden, die sich aus der Sicht des Entscheiders rechnen. Im Transportsektor (zusätzliches Potenzial 12 Mt CO₂e) wird dabei davon ausgegangen, dass zunehmend auch komplexere und teurere Technologien zum Einsatz kommen, z.B. geschichtete Direkteinspritzung Benziner, vollvariable Ventilsteuerung und mehrstufige Aufladung für Benzin- und Dieselfahrzeuge. Im LKW-Segment werden die zukünftig erwarteten Verbesserungen in der Antriebstechnologie durch die absehbare weitere Verschärfung der Abgasnormen weitgehend wieder aufgezehrt. Im Vergleich dazu spielen im Gebäudesektor neue Technologien keine bedeutende Rolle. Vielmehr leistet die fortschreitende Durchführung der oben geschilderten Sanierungsmaßnahmen hier den größten Beitrag (zusätzliches Potenzial 22 Mt CO₂e). Dasselbe gilt für die Industriesektoren, in denen weitere Verbesserungen in Antriebssystemen und eine weitere Effizienzsteigerung im Gebäudebereich erwartet werden (zusätzliches Potenzial 10 Mt CO₂e)⁴³.

43 Das restliche Zusatzpotenzial stammt aus der Landwirtschaft (zusätzlich 3 Mt CO₂e) und aus weiteren vermiedenen Verlusten in der Stromerzeugung (zusätzlich 3 Mt CO₂e).

Auch der Umfang der Vermeidungshebel mit Vermeidungskosten von bis zu 20 EUR/t CO₂e steigt zwischen 2020 und 2030 noch einmal an. Zusätzlich zu den bereits 2020 erreichbaren 14 Mt CO₂e sind bis 2030 weitere 7 Mt CO₂e mit entsprechenden Vermeidungskosten erreichbar. Hier kommt vor allem ein erhöhtes Potenzial aus der verbesserten Kraftwerkstechnologie bei Braunkohle-Neubauten zum Tragen (8 Mt CO₂e im Jahr 2030 statt 3 Mt CO₂e im Jahr 2020).

Nach dem Ausstieg aus der Kernkraft soll nach derzeitigen politischen Vorgaben zwischen 2020 und 2030 die Umstellung des Energiemix weiter fortschreiten; insbesondere soll der Ausbau erneuerbarer Energien noch einmal erheblich zunehmen. Zusätzlich zu den bereits 2020 ausgewiesenen Potenzialen⁴⁴ ergeben sich weitere Vermeidungspotenziale von 27 Mt CO₂e, vor allem durch zusätzliche Stromerzeugung aus Wind (*Offshore*: weitere 15 Mt CO₂e; *Onshore*: weitere 5 Mt CO₂e) und Biomasse (weitere 4 Mt CO₂e). Auch die Vermeidungspotenziale durch Stromerzeugung aus Photovoltaik steigen weiter an (um 1,3 Mt CO₂e). Für Biokraftstoffe wird hingegen über die Gesamtmenge von 2020 hinaus zunächst kein weiterer Anstieg angenommen⁴⁵. Die durchschnittlichen Vermeidungskosten der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien bleiben aus Entscheidersicht auf Grund rückläufiger Förderungshöhen in etwa auf dem Niveau von 2020 (gut 30 EUR/t CO₂e). Dabei werden einzelne Vermeidungshebel aus Entscheidersicht sogar zunächst teurer werden (z.B. Stromerzeugung aus Biomasse, Photovoltaik). Die durchschnittlichen Vermeidungskosten für Biokraftstoffe dagegen sinken vor allem durch den unterstellten Wegfall der Importzölle für Ethanol auf etwa 95 EUR/t CO₂e (von 175 EUR/t CO₂e).

Mit der Fortsetzung der bereits vor 2020 einsetzenden Umstellung des Energiemix und mit der weiteren Umsetzung der bereits vor 2020 weitgehend technisch ausgereiften Vermeidungshebel lassen sich so insgesamt gegenüber der „Stand der Technik“-Projektion bis 2030 273 Mt CO₂e einsparen. Das Emissionsniveau nach der Umsetzung dieser Hebel liegt mit jährlich 794 Mt CO₂e etwa 22 Prozent unter dem Stand von 2004 (1.025 Mt CO₂e) und 36 Prozent unter dem Stand des Basisjahrs (1.232 Mt CO₂e).

Zusätzlich zu den beschriebenen Hebeln werden nach derzeitiger Einschätzung zwischen 2020 und 2030 die Technologien zur Abscheidung und Speicherung von CO₂ (*Carbon Capture and Storage* – CCS) ein Entwicklungsstadium erreicht haben, in dem ein umfassender Einsatz möglich wird. Wenn diese Entwicklung tatsächlich wie vorhergesehen eintritt⁴⁶, ergeben sich im Energie- und im Industriesektor zusätzliche Vermeidungspotenziale von 104 Mt CO₂e⁴⁷. Sollte dieser Hebel nicht in erwartetem Maße zur Verfügung stehen, so ist aus heutiger Sicht kein Ersatz erkennbar⁴⁸.

44 48 Mt CO₂e ohne Berücksichtigung der CCS-Pilot- und Demonstrationsanlagen in der Stromerzeugung (6 Mt CO₂e).

45 Zwar ist prinzipiell ein weiterer Anstieg denkbar, sofern weltweit weitere Potenziale erschlossen werden können (z.B. durch verstärkte Nutzung von Verfahren der zweiten Generation); da allerdings hier bereits für 2020 von einem Importanteil von zwei Drittel ausgegangen wurde, um den Anteil der Biokraftstoffe auf 17 Prozent am gesamten Kraftstoffverbrauch zu steigern, wurde eine weitere Erhöhung dieser Menge zunächst nicht unterstellt.

46 Vgl. auch unten Seite 54

47 Darin enthalten sind 6 Mt CO₂e aus Pilot- und Demonstrationsprojekten in der Stromerzeugung, die bereits für 2020 ausgewiesen wurden.

48 Der Zubau neuer Kernkraftwerke wurde in der vorliegenden Studie nicht betrachtet.

- Im *Energiesektor* erschließt der Einsatz von CCS-Technologien bis 2030 Vermeidungspotenziale von 66 Mt CO₂e. Dies setzt voraus, dass ab 2020 alle neu gebauten Stein- und Braunkohlekraftwerke sowie die Hälfte aller neuen Gaskraftwerke mit CCS-Technologie ausgestattet werden und dass zusätzlich etwa ein Drittel der zwischen 2005 und 2020 gebauten Kraftwerke bis 2030 mit CCS-Technologie nachgerüstet werden. Die Vermeidungskosten für die CCS-Technologie variieren zwischen 30 und 50 EUR/t CO₂e⁴⁹. Die genaue Höhe der Vermeidungskosten hängt von der eingesetzten Technologie (Oxyfuel, IGCC) ebenso ab wie vom Brennstoff und von der erwarteten Absenkung der Wirkungsgrade der betroffenen Kraftwerke sowie von den Transport- und Speicherkosten für das abgeschiedene CO₂. Prinzipiell ist die Nachrüstung vorhandener Kraftwerke teurer als der Neubau von Kraftwerken mit CCS-Technologie.
- Im *Industriesektor* können durch Einsatz von CCS-Technologien weitere Vermeidungspotenziale von 38 Mt CO₂e gehoben werden. Davon entfallen etwa drei Viertel (28 Mt CO₂e) auf die Stahlindustrie, 7 Mt CO₂e auf die Zementindustrie und 3 Mt CO₂e auf die Chemieindustrie (Ammoniaksynthese). Die Vermeidungskosten für die Einführung von CCS-Technologien in diesen Industrien liegen mit 45 bis 55 EUR/t CO₂e (2030) höher als im Energiesektor, weil hier durchschnittlich kleinere Mengen mit ähnlich hohen Infrastrukturkosten (Abscheideanlagen, Pipelines) abgefangen und abtransportiert werden müssen.

Wenn die Schaffung aller notwendigen Voraussetzungen für die flächendeckende Einführung von CCS gelingt, so können die Treibhausgasemissionen in Deutschland durch zusätzlichen Einsatz dieses Hebels bis 2030 auf 690 Mt CO₂e gesenkt werden. Dies entspricht einer Reduzierung um knapp 33 Prozent gegenüber dem heutigen Niveau (2004) und einer Minderung um 44 Prozent gegenüber 1990.

Dabei ist zu beachten, dass die isolierte Umsetzung von Vermeidungsmaßnahmen durch CCS-Technologien in energieintensiven Industrien (z.B. Stahl, Zement) einen sofortigen Verlust der internationalen Wettbewerbsfähigkeit zur Folge hätte. Auch die Umsetzung von CCS-Technologien in der Stromerzeugung allein würde zu entsprechenden Strompreiserhöhungen von bis zu 15-25 EUR/MWh führen, die ebenfalls vor allem energieintensive Industrien treffen, darunter auch Industriezweige mit hohem Stromverbrauch wie beispielsweise die Nichteisen-Metalle. Diese Effekte würden die Wettbewerbsfähigkeit der betroffenen Industrien erheblich beeinträchtigen, solange sie nicht in einen globalen Kontext eingebettet sind.

49 Bis 90 EUR/t CO₂e für CCS bei Gaskraftwerken.



Voraussetzungen für die Umsetzung

Die Umsetzung der beschriebenen Vermeidungshebel zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen in Deutschland stellt Politik, Gesellschaft und Wirtschaft vor große Herausforderungen. Um die Umsetzung der beschriebenen Vermeidungshebel – insbesondere auch derjenigen, die aus Entscheidersicht prinzipiell wirtschaftlich sind – zu erreichen, müssen klare Rahmenbedingungen für die notwendigen Investitionen geschaffen werden. Darüber hinaus muss für jeden Industriezweig bedacht werden, wie sich die Umsetzung einzelner Vermeidungshebel bzw. deren Einbettung in politische Steuerungssysteme auf die jeweilige Wettbewerbsfähigkeit auswirkt. Damit die politisch induzierte Umstellung des Energiemix gelingt, müssen schließlich die Voraussetzungen für neue Technologien geschaffen werden (insbesondere für CCS), und die Verschiebungen in der Nutzung verschiedener Energieträger müssen im Sinne der Versorgungssicherheit über alle Wirtschafts- und Gesellschaftsbereiche hinweg ausbalanciert werden.

Transparente Rahmenbedingungen für Investitionen

Die beschriebenen Vermeidungshebel bedeuten für die Entscheider in allen Sektoren, dass über ohnehin anstehende Investitionen hinaus kurzfristig weitere Kosten entstehen – selbst wenn sich die zusätzlichen Investitionen über einen mittel- bis langfristigen Zeitraum rechnen (wie beispielsweise im Gebäudebereich). Manche Entscheider – beispielsweise Hausbesitzer jenseits der Pensionierungsgrenze oder öffentliche Investoren, die einer Budgetierung unterliegen – zögern bereits die Durchführung eigentlich notwendiger Investitionen heraus oder unterlassen sie gänzlich. Umso mehr hängt die Bereitschaft, zusätzliche Investitionen zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen zu tätigen, für viele Entscheider davon ab, wie transparent und wie verlässlich die Renditeerwartungen für die jeweilige Investition sind.

Einige wesentliche Rahmenbedingungen wie Brennstoffpreise oder allgemeine Konjunkturentwicklungen entziehen sich dem Zugriff und können lediglich durch geeignete Risikostrategien abgefedert werden. Zwei zentrale Rahmenbedingungen sind hingegen beeinflussbar – ihre Ausgestaltung ist maßgeblich dafür, ob die notwendigen Investitionen tatsächlich zeitgleich mit der Bestandserneuerung getätigt werden.

- **Transparenz der Kosten für Treibhausgasemissionen:** Insbesondere für die energieintensiven Sektoren mit hohen Emissionen ist Klarheit über die entstehenden Kosten für Treibhausgasemissionen unerlässlich. Dies betrifft freie Allokationen ebenso wie die Möglichkeiten, CO₂-Zertifikate aus anderen Regionen anrechnen zu lassen (z.B. CDM-Projekte). Auch der Endverbraucher muss Klarheit darüber erhalten, wie sich die Kosten von Treibhausgasemissionen auf seine eigenen Ausgaben auswirken (z.B. über Strompreise oder Steuern und Abgaben) bzw. wie er selbst diese Kosten beeinflussen kann (z.B. durch Senkung des individuellen Energieverbrauchs oder über eine verbrauchssparende Fahrweise beim PKW).
- **Abgleich von Investitionsanreizen mit den Investitionskriterien der Entscheider:** Anreizprogramme zur Unterstützung der Vermeidung von Treibhausgasemissionen müssen so angelegt sein, dass die Dauer der Förderung ebenso wie die Höhe der

gezahlten Gelder mit den Investitionskriterien der Entscheider zusammenfallen. Laufzeiten von wenigen Jahren sind für große Industrieanlagen oder Kraftwerke ebenso wenig investitionsfördernd wie sehr lange Amortisationszeiten für Privatleute.

Damit die Vermeidungshebel im hier beschriebenen Umfang umgesetzt werden können, ist es notwendig, dass die entsprechenden Investitionsentscheidungen rasch gefällt werden – auch wenn sie sich erst in einigen Jahren oder Jahrzehnten rechnen. Je schneller entsprechend verlässliche Rahmenbedingungen geschaffen werden, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass das mögliche Vermeidungspotenzial tatsächlich bis 2020 bzw. 2030 realisiert werden kann.

Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen

Die oben beschriebenen Vermeidungshebel können zu den angeführten Vermeidungskosten nur dann ohne Beeinträchtigung von Wohlstand und Wirtschaftswachstum in Deutschland umgesetzt werden, wenn die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie im internationalen Vergleich nicht beeinträchtigt wird⁵⁰.

Sollte es gelingen, für die Reduzierung von Treibhausgasen einen globalen Rahmen zu schaffen, innerhalb dessen für Emissionen weltweit die gleichen Kosten anfallen, würde sich die Beeinträchtigung der Wettbewerbsfähigkeit auf die Details der nationalen Umsetzung beschränken. So sind beispielsweise innerhalb des europäischen Emissionshandelssystems EU ETS die Beeinträchtigungen einzelner Industrien bzw. Unternehmen nicht abhängig vom CO₂-Preis, sondern werden durch die Ausgestaltung der nationalen Allokationspläne bestimmt.

Solange allerdings die Reduzierung von Treibhausgasen nicht in globalem Rahmen vorangetrieben wird, entstehen deutliche Wettbewerbsverzerrungen. Insgesamt hat eine Untersuchung für die Europäische Kommission ergeben, dass es selbst bei einer weitgehend freien Allokation (90-95 Prozent) von Emissionszertifikaten bereits bei einem CO₂-Preis von rund 20-25 EUR/t CO₂e zu einer deutlichen Beeinflussung der Wettbewerbsfähigkeit kommt⁵¹. Maßnahmen mit höheren Vermeidungskosten sind deshalb außerhalb von Sektoren, in denen sie umgelegt werden können (wie in manchen Bereichen der Gebäudewirtschaft), nur in einem entsprechenden globalen oder zumindest überregionalen Kontext umsetzbar⁵². Dabei sind die konkreten Auswirkungen für einzelne Industrien unterschiedlich zu beurteilen:

- *Industrien mit hohen prozessbedingten Emissionen* (z.B. Zement oder Stahl) sind auch nach Erreichen von Benchmarkniveau bei der CO₂-Effizienz ihrer Prozesse davon abhängig, für die verbleibenden Emissionen nicht belastet zu werden. Bereits bei einem Preis von 20 EUR/t CO₂e wären in logistisch leicht zugänglichen Regionen Europas weitgehend freie Allokationen erforderlich, um die Wettbewerbsfähigkeit der betroffenen Industrien im internationalen Vergleich zu erhalten. Bei Einführung weiter gehender bzw. sogar voller Auktionierung im Rahmen des Emissionshandels

50 Neben den Vermeidungskosten für Treibhausgase beeinflusst eine Vielzahl weiterer Faktoren die Wettbewerbsfähigkeit einzelner Industrien. Die folgenden Ausführungen sind daher *ceteris paribus* zu verstehen.

51 Vgl. „EU ETS Review. Report on International Competitiveness“, European Commission/McKinsey/Ecofys, Dezember 2006.

52 Dies gilt auch für den Transportsektor, wo international einheitliche Regularien zum Kraftstoffverbrauch einen wichtigen Beitrag zur Erhaltung der Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen leisten könnten.

bis 2020 wären diese Industrien dagegen gegenüber internationalen Wettbewerbern nicht mehr kompetitiv. Bei einem Preisniveau von bis zu 55 EUR/t CO₂e wäre die Einführung von CCS für die Prozessemissionen dieser Industrien daher im europäischen Alleingang nicht tragbar, sondern könnte nur im Rahmen eines globalen Systems realisiert werden.

- *Industrien mit hohen indirekten Emissionen* (z.B. Aluminium sowie andere Nicht-eisen-Metalle) sind in ihrer Wettbewerbsfähigkeit abhängig vom günstigen Zugang zu Rohstoffen und Energie. Bei Annahme einer Strompreissteigerung um 10 EUR/MWh (entsprechend einem CO₂-Preis von 20 EUR/t CO₂e) steigen die Kosten einer durchschnittlichen Aluminiumproduktion um mehr als 10 Prozent. Derartige Kostensteigerungen sind über den Konjunkturzyklus hinweg nicht tragbar, da nicht davon ausgegangen werden kann, dass sie nachhaltig an die Verbraucher weitergegeben werden können. Die betroffenen Industrien sind daher in hohem Maße auf eine Stützung ihrer Wettbewerbsfähigkeit angewiesen, solange die Regelungen zur Treibhausgasvermeidung nicht in ein globales System eingebettet sind.

Wie wichtig die Berücksichtigung dieser Aspekte für die Wettbewerbsfähigkeit einzelner Industrien ist, lässt sich stellvertretend (und stark vereinfachend) am Beispiel der Stahlindustrie zeigen: Die mit der angewandten Methodik berechneten direkten Kosten der Treibhausgasvermeidung durch die bewerteten Maßnahmen mit Vermeidungskosten von bis zu 20 EUR/t CO₂e summieren sich auf jährlich EUR 10 Millionen im Jahr 2020; bei Berücksichtigung aller untersuchten Maßnahmen ergeben sich jährlich EUR 270 Millionen im Jahr 2020⁵³. Dazu kämen die Kosten der verbleibenden Treibhausgasemissionen: In einem Handelssystem mit einer angenommenen Versteigerung von beispielsweise 10-20 Prozent der Emissionsrechte würden bei einem CO₂-Preis von 20 EUR/t CO₂e Zusatzkosten von EUR 110-220 Millionen anfallen; bei einem Preis von 50 EUR/t CO₂e wären es EUR 260-520 Millionen. Dabei wird zunächst ein inelastisches Marktverhalten unterstellt. Zusätzlich würde die Stahlindustrie durch eine Verteuerung des Stroms belastet werden. In Summe könnte der Strompreis bei einem Preis von 20 EUR/t CO₂e zu weiteren Mehrkosten von rund EUR 120 Millionen führen; bei einem Preis von 50 EUR/t CO₂e wären es EUR 300 Millionen. Insgesamt würde sich die Stahlproduktion in Deutschland bei einem CO₂-Preis von 20 EUR/t CO₂e um bis zu 10 EUR pro Tonne Stahl und bei einem CO₂-Preis von 50 EUR/t CO₂e um bis zu 20 EUR pro Tonne Stahl verteuern. Solche Kostenerhöhungen können in vielen Produktbereichen nicht an die Endkunden weitergegeben werden und verringern in jedem Fall die relative Wirtschaftlichkeit inländischer Unternehmen. Selbstverständlich ist diese Rechnung grob vereinfacht und lässt Folgeeffekte unberücksichtigt, wie z.B. Nachfrageelastizität auf der Abnehmer- oder der Emissionsseite. Dennoch ist der zu erwartende Effekt eindeutig: Die Kostenposition der deutschen Stahlindustrie – und in Folge auch der stahlverarbeitenden Industrien – wäre unter diesen Annahmen bei einem deutschen oder europäischen Alleingang auf Dauer nicht mehr wettbewerbsfähig.

Ähnliches gilt für weitere energie- und emissionsintensive deutsche Industrien.

53 Inklusive erster Anlagen mit CCS (1,4 Mt CO₂e mit Kosten von 78 EUR/t CO₂e) und abmessungsnahes Gießen (1,2 Mt CO₂e mit Kosten von 184 EUR/t CO₂e)

Voraussetzungen für neue Technologien

Der größte Teil der in der vorliegenden Studie bewerteten Vermeidungspotenziale lässt sich allein durch den Einsatz heute bereits bekannter und erprobter Technologien realisieren. Insbesondere nach 2020 werden jedoch aus jetziger Sicht einige Technologien relevant, die sich heute noch in einem sehr frühen Entwicklungsstadium befinden. Hierzu gehören insbesondere die Technologien zur Abscheidung und Speicherung von CO₂ (*Carbon Capture and Storage* – CCS), die Stromerzeugung in *Offshore*-Windkraftanlagen und die Einführung von Biokraftstoffen der zweiten Generation. Alle drei Technologien sollen zwischen 2020 und 2030 (und teilweise schon 2020) einen erheblichen Beitrag zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen in Deutschland leisten. Dieser Beitrag wird nicht im erwarteten Umfang realisiert werden können, wenn nicht eine Reihe kritischer Voraussetzungen geschaffen wird.

- *CCS-Technologien* sind heute weltweit noch in einem frühen Entwicklungsstadium. In Deutschland sind mehrere Pilot- und Demonstrationsanlagen in der Planung bzw. im Bau. Bereits diese Anlagen stehen vor erheblichen Herausforderungen, vor allem hinsichtlich der rechtlichen Rahmenbedingungen und der öffentlichen Akzeptanz (z.B. fehlende gesetzliche Regelungen zum Transport von CO₂ bzw. zur langfristigen Speicherung). Bei Umsetzung der oben bewerteten Vermeidungshebel müssten im Jahr 2030 in Deutschland jährlich gut 100 Mt CO₂ nicht nur aufgefangen, sondern auch zu den geeigneten Speichern transportiert und dort dauerhaft fachgerecht aufbewahrt werden. Dies stellt hohe Anforderungen an die notwendigen Regelungssysteme und an den Aufbau einer entsprechenden Infrastruktur, und aus heutiger Sicht ist noch unklar, ob alle Hürden bei der Umsetzung überwunden werden können. Neben den rechtlichen Rahmenbedingungen wird für den Erfolg der CCS-Technologien auch in hohem Maße entscheidend sein, wie schnell sie zu akzeptablen Kosten in industriellem Umfang einsetzbar sein werden. Eine gezielte Förderung der meistversprechenden technologischen Ansätze kann hierzu einen wichtigen Beitrag leisten und steile Lernkurven für die neu zu entwickelnden Prozesse ermöglichen.
- Die *Stromerzeugung aus Offshore-Windparks* steht in Deutschland vor besonderen Herausforderungen, da die meisten dieser *Offshore*-Windparks in deutlich tieferen Gewässern geplant sind als bisher erprobte Anlagen beispielsweise in Skandinavien. Die hierdurch entstehenden technologischen und betrieblichen Schwierigkeiten (z.B. Materialanfälligkeit, erhöhte Risiken bei der Wartung, größere Transportentfernungen zum Festland) sind in ihrem Umfang und in ihren Kosten heute noch nicht zuverlässig einschätzbar. Die Förderung für den Bau von Pilot-*Offshore*-Windanlagen muss diesen Unwägbarkeiten in geeignetem Maße Rechnung tragen, um eine schnelle Marktreife der Technologie zu befördern.
- Heute in Deutschland produzierte *Biokraftstoffe* basieren auf der Umwandlung von Rohstoffen, die auch zur Produktion von Nahrungsmitteln dienen (z.B. Getreide, Pflanzenöle), und sind in Flächenausbeute, relativer Treibhausgasvermeidung und Vermeidungskosten noch nicht optimal. Verfahren der so genannten zweiten Generation, die als Ausgangsstoffe lignozellulosehaltige Biomasse (z.B. Stroh, Holz oder Gräser) verwenden, sind derzeit in der Entwicklung. Wenn diese Technologien vor dem Hintergrund entsprechender politischer Zielvorgaben und Rahmenbedingungen erfolgreich zur Marktreife gebracht werden, erschließt sich nach heutigen

Schätzungen ein globales Potenzial, das – zu niedrigeren Kosten und bei höherer relativer Treibhausgasvermeidung – über 30 Prozent des gesamten Treibstoffbedarfs abdecken könnte. Eine rasche Weiterentwicklung dieser Technologien ist daher eine wichtige Voraussetzung für das Vermeiden von Treibhausgasemissionen insbesondere im Transportsektor.

Versorgungssicherheit und Balance in der Nutzung verschiedener Energieträger

Die Umsetzung der bewerteten Vermeidungshebel verringert Deutschlands Ölimporte (insbesondere im Transportbereich). Gleichzeitig verschiebt sich die Nutzung von Erdgas aus dem Gebäudesektor in die Stromerzeugung und in die Industriesektoren, und der Anteil von Biomasse an der Energieversorgung steigt insgesamt stark an. Die Umsetzung der entsprechenden Vermeidungshebel muss daher sorgfältig koordiniert werden, um eine Konkurrenz um die Nutzung der verschiedenen Energieträger – und damit verbundene Knappheiten und Preissteigerungen – zu vermeiden und die Versorgungssicherheit Deutschlands dauerhaft zu gewährleisten.

Die Versorgungssicherheit für Deutschland gilt als hoch, wenn sowohl der Mix der Energieträger (im Wesentlichen Öl, Gas, Kohle, Biomasse) als auch der Mix der Lieferländer und Lieferanten ausgewogen gestaltet werden kann. Der Ölbedarf Deutschlands wird durch die Maßnahmen zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen reduziert. Braunkohle als heimischer, kostengünstiger und langfristig verfügbarer Energieträger wird auch weiterhin zur Stromerzeugung genutzt werden und einen wesentlichen Beitrag zur Versorgungssicherheit Deutschlands leisten. Steinkohle (für die Stromerzeugung) kann Deutschland auch in Zukunft aus verschiedenen Regionen und von verschiedenen Lieferanten beziehen. Anders stellt sich die Situation für die Versorgung mit Erdgas und Biomasse dar.

Erdgas

Durch den erhöhten Einsatz von Erdgas in der zentralen Strom- und Wärmeerzeugung steigt der Bedarf an Erdgas in diesem Bereich von 115 TWh (2004) auf 160 TWh (2020) bzw. 165 TWh (2030). Auch der Erdgasverbrauch in den Industriesektoren steigt von 364 TWh (2004) auf 380 TWh (2020) bzw. 390 TWh (2030) in etwa im Gleichschritt mit dem Produktionswachstum (abzüglich Energieeffizienz). Gleichzeitig geht der Erdgasbedarf im Gebäudebereich durch sinkenden Energieverbrauch des sanierten und des effizienteren neuen Gebäudebestands zurück von 450 TWh (2004) auf etwa 350 TWh (2020) bzw. etwa 280 TWh (2030). In Summe ergibt sich damit bei Umsetzung aller Vermeidungshebel in der Gesamtmenge des Erdgasbedarfs in Deutschland ein Rückgang von 929 TWh (2004) auf 890 TWh (2020) bzw. 835 TWh (2030). Vor allem aber kommt es bis 2030 zu einer signifikanten Verschiebung zwischen den verbrauchenden Sektoren – weg vom Gebäudebereich und hin zur Nutzung in Industrieanlagen und in der Stromerzeugung.

Um einen mittelfristigen Anstieg des Erdgasbedarfs zu verhindern, ist es daher notwendig, dass die Umsetzung der Vermeidungsmaßnahmen in den verschiedenen Sektoren in etwa im hier angenommenen Umfang eintritt und in etwa mit derselben Geschwindigkeit voranschreitet. Anderenfalls könnte es – insbesondere bei Verzögerung der Umsetzung von Vermeidungsmaßnahmen im Gebäudesektor – zu einem zusätzlichen

Gasbedarf kommen, der im Wesentlichen durch Importe aus den klassischen Bezugsländern, vor allem aus Russland, gedeckt werden müsste. Diese erhöhte Abhängigkeit könnte – je nach Umfang des zusätzlichen Erdgasbedarfs – die Versorgungssicherheit in Deutschland erheblich schwächen.

Biomasse

Im Jahr 2020 wird Biomasse nach Umsetzung der hier bewerteten Vermeidungshebel ca. 1.300 PJ Primärenergie zur deutschen Energieversorgung beitragen. Das entspricht einem Anteil von gut 10 Prozent und ist damit in etwa eine Verdreifachung des Anteils von 2004. Etwa zwei Drittel der Biomasse werden in Biokraftstoffen Verwendung finden, ein Viertel im Energiesektor und der verbleibende Teil im Gebäudesektor. Diese Steigerung macht eine deutliche Erhöhung des Importanteils – vor allem für Biokraftstoffe – notwendig.

Bei Umsetzung der bewerteten Maßnahmen werden im Jahr 2020 etwa 300 PJ (Primärenergie) Biomasse im Energiesektor zur Stromerzeugung genutzt. Daraus werden etwa 36 TWh Strom produziert, was rund 7 Prozent der Bruttostromerzeugung entspricht. Die benötigte Biomasse kann voraussichtlich durch weitere Nutzung von Waldrest- und Schwachholz, Sägenebenprodukten sowie Biogas aus Gülle, Stroh, Ernterückständen, Grünschnitt und Reststoffen aus der Nahrungsmittelproduktion abgedeckt werden. Die derzeit steigenden Holzpreise können dazu beitragen, beim Waldrest- und Schwachholz die Mobilisierung zu erhöhen und damit heute in Teilbereichen noch nicht erschlossene Potenziale zu realisieren.

Etwa 175 PJ (Primärenergie) Biomasse werden zur Wärmeerzeugung im Gebäudebereich dienen. Dazu zählen einerseits Holz- und Pelletheizungen sowie Kaminöfen, andererseits Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen im Nah- und Objektbereich. Während der Biomassebedarf der Erstgenannten mit abnehmendem Raumwärmebedarf zurückgehen wird, ist für den Biomasseverbrauch für KWK (Holz wie Biogas und Biokraftstoffe) ein Anstieg zu erwarten. Hier wird davon ausgegangen, dass der Bedarf ebenfalls aus heimischen Quellen gedeckt werden kann.

Rund 825 PJ (Primärenergie) Biomasse werden im Jahr 2020 im Transportsektor benötigt, um den Anteil von Biokraftstoffen am Gesamtkraftstoffverbrauch von heute etwa 5 Prozent auf dann 17 Prozent (Anteil an der Endenergie) anzuheben. Dies entspricht etwa 350 PJ Endenergie oder einer Menge von ca. 13 Milliarden Litern pro Jahr. Zur Bereitstellung der Biomasse zur Produktion von Biokraftstoffen werden vorrangig nachwachsende Rohstoffe genutzt, die auf landwirtschaftlichen Flächen angebaut werden. Bereits 2006 nahm der Anbau von Energiepflanzen in Deutschland gut 1,6 Millionen Hektar bzw. rund 10 Prozent der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche in Anspruch. Davon entfiel der größte Anteil auf den Anbau von Raps zur Erzeugung von Biodiesel. Nach Schätzungen einschlägiger Studien⁵⁴ stehen unter der Annahme, dass Nahrungs- und Futtermittelproduktion konstant gehalten werden, bis 2020 etwa 0,7 Millionen Hektar zusätzlich für den Anbau von Energiepflanzen zur Verfügung. Über die Verteilung der Anteile dieser 2,3 Millionen Hektar auf Biokraftstoffe und Biogas werden die Landwirte auf Basis der zu erzielenden Deckungsbeiträge entscheiden. In die-

54 Vgl. z.B. „Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse“, Referenzszenario, Öko-Institut, 2004.

ser Studie wird angenommen, dass im Jahr 2020 bei Umsetzung der hier bewerteten Vermeidungshebel rund zwei Drittel der für nachwachsende Rohstoffe zur Verfügung stehenden Fläche zum Anbau von Energiepflanzen zur Erzeugung von Biokraftstoffen der ersten Generation genutzt werden. Das verbleibende Drittel wird jeweils hälftig für die Erzeugung von Biokraftstoffen der zweiten Generation, die gegenüber denen der ersten Generation eine deutlich höhere Ausbeute je Hektar haben, und von Biogas verwendet. Der Bedarf des Transportsektors an Biokraftstoffen kann damit aus heimischer Produktion nur zu einem Drittel gedeckt werden.

Um die verbleibende Lücke in der Nachfrage zu schließen, müssten etwa zwei Drittel der benötigten Biokraftstoffe (bzw. deren Vorstufen) importiert werden. Insbesondere Importe von Ethanol aus Zuckerrohr und/oder von Pflanzenölen für Biokraftstoffe spielen hier eine wesentliche Rolle. Weltweit stehen durchaus entsprechende freie Flächen zur Verfügung und Kapazitäten für den Export – insbesondere für Ethanol aus Brasilien – befinden sich im Aufbau. Allerdings hängt die Verfügbarkeit der für Deutschland benötigten Mengen in hohem Maße davon ab, wie ambitioniert andere Staaten die Einführung von Biokraftstoffen betreiben. Je nachdem, wie Nachfrage und Angebot im Weltmarkt miteinander Schritt halten, kann es daher durchaus zu Lieferengpässen und/oder hohen Preisen kommen. Zudem können – ähnlich wie in Deutschland – Nachhaltigkeitserwägungen die verfügbare Fläche begrenzen.

Angesichts der Flächenkonkurrenz von Biokraftstoffen und Biogas bei einer begrenzten für nachwachsende Rohstoffe zur Verfügung stehenden Fläche ist es fraglich, ob – über die bereits angenommenen Mengen hinaus – ein signifikanter Anteil des über Netze verteilten und vorrangig zur Wärmeerzeugung in Gebäuden dienenden Erdgases durch Biogas ersetzt werden kann⁵⁵.

Selbst bei dieser zurückhaltenden Abschätzung der Verfügbarkeit heimischer Biomasse aus der Landwirtschaft ist allerdings nicht auszuschließen, dass es auf Grund der Zahlungsfähigkeit der energetischen Nutzer (teilweise bedingt durch regulatorische Eingriffe) zu einer Verschärfung der Nutzungskonkurrenz mit den klassischen stofflichen Nutzern kommt. Für Holz sind dies insbesondere die Spanplatten-, die Zellstoff- und in einigen Sortimenten auch die Sägeindustrie. Bei der landwirtschaftlichen Biomasse (Getreide, Raps, Energiepflanzen, Stroh) kann die verstärkte Nachfrage zur Verwendung für Biokraftstoffe und Biogas – auch vor dem Hintergrund einer ohnehin zu beobachtenden globalen Rohstoffverknappung – zu einem Preisanstieg für Rohstoffe in der Nahrungs- und Futtermittelindustrie führen. Entlastend kann hier der Wechsel bei der Biokraftstoffproduktion von Verfahren der ersten zu Verfahren der zweiten Generation wirken.

Insofern insbesondere für die Produktion von Biokraftstoffen heimisches Biomassepotenzial genutzt werden kann, steigt die Versorgungssicherheit. Sobald Biokraftstoffe importiert werden müssen, hängt die Entwicklung der Versorgungssicherheit stark davon ab, wie sich die Liquidität der globalen Märkte für Biokraftstoffe entwickelt.

55 Um einen Anteil von Biogas von 10 Prozent am gesamten Gasbedarf aller Sektoren zu erreichen (ca. 350 PJ Endenergie), müsste neben der vollständigen Nutzung der Potenziale aus Gülle, Ernterückständen, Grünschnitt und nicht-landwirtschaftlichen Reststoffen (Klärschlamm etc.) auf einer Fläche von rund 1,0 Millionen Hektar Energiemais angebaut werden. Eine solche Ausweitung der Anbaufläche ausgehend von rund 200.000 Hektar im Jahr 2006 erscheint problematisch.



Chancen für die deutsche Wirtschaft

Viele Hebel zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen beruhen auf Technologien, Produkten und Dienstleistungen, für die deutsche Unternehmen schon heute innovative Lösungen anbieten. Sowohl die Umsetzung dieser Vermeidungshebel in Deutschland als auch der Export der entsprechenden Technologien, Produkte und Dienstleistungen können sich auf Wirtschaft und Beschäftigung in Deutschland spürbar positiv auswirken. Allerdings werden diese Effekte nur dann in vollem Umfang eintreten, wenn negative Auswirkungen auf die Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen gleichzeitig verhindert werden können.

Die Umsetzung von Vermeidungshebeln bedeutet nicht nur eine Verringerung der Treibhausgasemissionen in Deutschland und – im Falle von vielen Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz (z.B. im Gebäudebereich) – wirtschaftliche Vorteile für den Entscheider, sondern hat oft auch positive Auswirkungen auf Wirtschaft und Beschäftigung in Deutschland insgesamt. Zusätzliche Produkte ebenso wie zusätzliche Dienstleistungen können einen Beitrag zur Verbesserung der Konjunktur leisten.

In einer Reihe von Industrien, die technische Lösungen zum Klimaschutz beisteuern, gehören deutsche Unternehmen zu den Markt- und Technologieführern, etwa im Anlagenbau, in der Elektrotechnik, in der Chemie oder bei alternativen Energien. Wenn Deutschland als Vorreiter im Klimaschutz dazu beiträgt, die Entwicklung internationaler Märkte für deutsche Produkte voranzutreiben, können diese Unternehmen ihre globale Position in der Vermarktung von Produkten und Dienstleistungen zur Treibhausgasvermeidung festigen und ausbauen. Allerdings hängt die Bewertung von Exportpotenzialen naturgemäß stark von der Entwicklung der Energie- und Klimapolitik anderer Staaten ab.

Über die gesamte Bandbreite von Sektoren hinweg wird es voraussichtlich Branchen geben, die überproportional von der erwarteten Marktdynamik profitieren. Zu nennen sind hier:

- **Bauwirtschaft:** Besonders bei der Sanierung des Altbestands entstehen zusätzliche Umsätze durch die Installation effizienter Wärmedämmsysteme an Fassaden, Kellerdecken und im Dachbereich sowie durch den Einbau höherwertiger Fenster und Außentüren. Auch der Kraftwerksneu- und -rückbau sowie die Instandhaltung und der mögliche Ausbau der Verkehrsinfrastruktur bieten Chancen für die Bauwirtschaft.
- **Gebäudetechnik:** Der Einsatz effizienter Heizungs-, Lüftungs-, Klima-, Beleuchtungs- und Regelungstechnik ermöglicht den Technologielieferanten einen langfristigen Ausbau ihres Geschäfts. Auch Anbieter geeigneter IT-Systeme zur Steuerung solcher Technologien können hiervon profitieren.
- **Elektrotechnik:** Besseres Energiemanagement erfordert oft komplexere Mess- und Steuersysteme. Dies gilt sowohl für Gebäude als auch für Fahrzeuge und industrielle Anlagen. Die technischen Maßnahmen bei PKW und LKW beispielsweise setzen eine zunehmende Elektronisierung voraus, vor allem für die Motorsteuerung, für ein

umfassendes Energiemanagement und für die verschiedenen Ausbaustufen der Hybridantriebe. Auch bei der Steigerung der Energieeffizienz bei Haushaltsgeräten und elektrischen Antrieben kommen Innovationen in der Elektrotechnik zum Einsatz.

- **Maschinen- und Anlagenbau:** Substanzielle Umstellungen in Energiegewinnung (vor allem ein höherer Anteil von Windenergie, Gas und Biokraftstoffen) und -transport (Netzerweiterungen) erfordern Investitionen in neue Anlagen in Höhe von mehreren Hundert Milliarden Euro. Dazu kommen Investitionen in die Optimierung von industriellen Prozessen.
- **Transportmittelhersteller und Zuliefererindustrie:** Für die Hersteller von Automobilen, Zügen und Flugzeugen sowie für die entsprechenden Zuliefererindustrien ergeben sich Innovationschancen, z.B. bei der Entwicklung innovativer Antriebssysteme, bei Weiterentwicklungen im Fahrzeugbau (z.B. Optimierung der Antriebssysteme und des Gesamtfahrzeugs, Leichtbau) oder im Verkehrsmanagement (z.B. Vernetzung von Fahrzeugen untereinander und von Fahrzeugen mit der Infrastruktur).
- **Chemieindustrie:** Chemische Produkte sind an vielen Lösungen zur Treibhausgasvermeidung signifikant beteiligt. Beispiele sind: Dämmmaterialien für Gebäude, neue organische Substanzen für sparsame Beleuchtung (OLEDs), Pflanzenbiotechnologie für effizientere Energiepflanzen, Enzyme für die Herstellung von Biokraftstoffen, organische Sensoren für hocheffiziente Photovoltaik, Nanotechnologie als Schlüsseltechnologie für viele Anwendungen im Energie- und Materialbereich, Materialien für Brennstoffzellen und andere Energiespeichersysteme, Katalysatoren für Prozess- und Emissionsoptimierungen oder Hochleistungspolymere für die Gewichtsreduzierung in Transportmitteln.
- **Nichteisen-Metalle:** Höhere Energieeffizienz in der Energieumwandlung und -verteilung sowie in den Sektoren Transport und Gebäude eröffnet einen wachsenden Markt für Nichteisen-Metalle. Beispielsweise leistet die hohe elektrische Leitfähigkeit von Kupfer einen essenziellen Beitrag zur Steigerung der Energieeffizienz von elektrischen Antrieben, das geringe spezifische Gewicht von Aluminium senkt den Kraftstoffverbrauch im Transportsektor, und die hohe Wertbeständigkeit von Kupfer, Zink und Aluminium verlängert die Lebensdauer von energetisch sanierten Gebäuden.
- **Entsorgungswirtschaft:** Bei insgesamt effizienter Organisation der unterliegenden Stoffflüsse kann durch eine Steigerung der Recyclingquote und der daraus resultierenden Erhöhung des Anteils der Sekundärrohstoffe in diversen Materialien in vielen Wirtschaftsbereichen eine Erhöhung der Energieeffizienz erreicht werden.
- **Land- und Forstwirtschaft:** Die deutsche Land- und Forstwirtschaft profitiert von der erhöhten Nachfrage nach Biomasse zur Strom- und Wärmeerzeugung sowie zur Herstellung von Biokraftstoffen. Die in der vorliegenden Studie angenommene Nachfrage übersteigt das mögliche Angebot der deutschen Land- und Forstwirtschaft deutlich, selbst wenn Anbauflächen ausgeweitet werden. Bereits heute ist zu beobachten, wie eine erhöhte Nachfrage die Preise für Holz und landwirtschaftliche Produkte steigen lässt.

Die beschriebenen Chancen, die sich für deutsche Unternehmen aus der Umsetzung von Hebeln zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland und international ergeben können, sind hier lediglich beispielhaft aufgeführt. Im Einzelnen muss für jeden Vermeidungshebel betrachtet werden, welche deutschen Unternehmen durch welche Produkte und Dienstleistungen von den entsprechenden Entwicklungen profitieren können – bzw. welche zusätzlichen Voraussetzungen dafür geschaffen werden müssen.



Anhang: Methodik

Die vorliegende Studie lehnt sich methodisch an das Vorgehen an, das bei der Erstellung der globalen Kostenkurve zur Treibhausgasvermeidung durch McKinsey & Company, Inc. und Vattenfall eingesetzt wurde⁵⁶. Die dort verwendete Methodik wurde in Zusammenarbeit mit dem McKinsey Global Institute (MGI) sowie den Professoren Robert Socolow, Stephen Pacala und Robert H. Williams (Princeton University) und Professor Dennis Anderson (Imperial College London) entwickelt. Für die hier vorliegende Studie wurde das Vorgehen für Deutschland außerdem mit den Professoren Dr. Martin Hellwig (MPI Bonn), Dr. Wolfgang Ströbele (Universität Münster) und Dr. Carl Christian von Weizsäcker (Universität zu Köln) diskutiert.

Untersuchungsumfang

Die Studie berücksichtigt alle Treibhausgase, die in der Kyoto-Berichterstattung enthalten sind. Neben CO₂ sind dies CH₄ (Methan), N₂O (Lachgas), HFC/PFC (Fluorkohlenwasserstoffe) und SF₆ (Schwefelhexafluorid). Die Nicht-CO₂-Gase wurden mit Hilfe der gängigen Relationen in CO₂-Äquivalente (CO₂e) umgerechnet. So genannte LULUCF-Emissionen (*Land Use, Land Use Change, and Forestry*) wurden im Rahmen der Studie nicht betrachtet.

Im Untersuchungsumfang sind alle Treibhausgasemissionen enthalten, die Deutschland im Sinne der Kyoto-Berichterstattung zugerechnet werden. Eingeschlossen sind damit Emissionen, die bei der Produktion von Gütern und Dienstleistungen an deutschen Standorten entstehen, auch wenn die Produkte anschließend im Ausland genutzt bzw. konsumiert werden. Ausgeschlossen sind dagegen Emissionen, die bei der Herstellung von importierten Produkten, Vorprodukten oder Rohstoffen entstehen. Bei den transportbedingten Emissionen werden entsprechend der Kyoto-Berichterstattung nur innerdeutsche Transportleistungen betrachtet. Internationale Flüge, die für einen Großteil der Emissionen des Luftverkehrs verantwortlich sind, bleiben dagegen unberücksichtigt.

Die Studie bewertet prinzipiell alle verfügbaren technischen Hebel zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen. Verhaltensänderungen, die als Einschränkungen der Lebensqualität wahrgenommen werden könnten (z.B. weniger Konsum, Einschränkungen im PKW-Angebot, niedrigere Raumtemperaturen), waren nicht Gegenstand der Bewertung. Gleichzeitig wurde davon ausgegangen, dass die Sektoren der deutschen Wirtschaft so weiter wachsen werden, wie derzeit prognostiziert wird. Das bedeutet insbesondere, dass für die Verlagerung von CO₂-intensiven Produktionsprozessen ins Ausland keine Entwicklungen angenommen wurden, die über bestehende Trends hinausgehen.

⁵⁶ „A cost curve for greenhouse gas reduction“, McKinsey Quarterly 1, 2007.

Bewertung der Vermeidungshebel

In der vorliegenden Studie wurden insgesamt über 300 technische Vermeidungshebel bewertet. Damit sind nach Einschätzung der beteiligten Unternehmen und Verbände alle derzeit diskutierten technischen Ansatzpunkte mit mittlerer bis hoher Realisierungswahrscheinlichkeit abgedeckt. Vermeidungshebel, die zu einer Beeinträchtigung der Lebensqualität führen oder die Industriestruktur fundamental verändern, wurden nicht bewertet.

Bei der Bewertung der Vermeidungshebel wurde als Aufsetzpunkt die „Stand der Technik“-Projektion verwendet, die oben (Seite 25ff.) im Detail beschrieben ist. Die Bewertung der Vermeidungspotenziale und -kosten betrachtet neben dem Jahr 2020 auch das Jahr 2030, da im Zeitraum zwischen 2020 und 2030 erhebliche technologische Weiterentwicklungen vor allem im Bereich der Abscheidung und Speicherung von CO₂ (*Carbon Capture and Storage* – CCS) zu erwarten sind. Auf eine weitere Ausweitung des Zeithorizonts wurde verzichtet, da die Einschätzung weiter gehender technologischer Entwicklungen für die Jahre nach 2030 aus heutiger Perspektive mit zu hohen Unsicherheiten behaftet ist. Allerdings ist davon auszugehen, dass im Zeitraum bis 2030 weitere innovative Technologien auf den Markt kommen können, die gegenüber heute eine weitere Steigerung der Energieeffizienz bzw. eine weitere Senkung von Emissionen bewirken können.

Jede Maßnahme wurde hinsichtlich ihres Vermeidungspotenzials für Treibhausgasemissionen und ihrer Nettokosten im Vergleich zur Referenztechnologie in der „Stand der Technik“-Projektion bewertet.

Die *Bewertung des Vermeidungspotenzials* erfolgte in drei Schritten:

1. Ermittlung des maximalen technischen Vermeidungspotenzials unter Berücksichtigung von externen Limitationen (z.B. technische Realisierbarkeit, Ressourcenknappheit oder Zyklen der Bestandserneuerung).
2. Festlegung der erwarteten Durchdringungsraten unter der hypothetischen Annahme, dass der Entscheider für die Mehrkosten der jeweiligen Maßnahme kompensiert wird. Die Durchdringung wurde so im Vergleich zum maximalen technischen Potenzial verringert, um beispielsweise nicht ökonomisch motivierten Präferenzen der Entscheider Rechnung zu tragen (z.B. Ablehnung von Energiesparlampen auf Grund besonderer Beleuchtungsbedürfnisse). Grundsätzlich reflektieren die Annahmen über die Durchdringungsraten ambitionierte, und trotzdem in der Praxis realisierbare Umsetzungsvolumina.
3. Berücksichtigung von Interdependenzen mit anderen Vermeidungshebeln. So verringert z.B. eine erhöhte Wärmedämmung den Heizungsbedarf und damit das Einsparpotenzial von effizienteren Heizungen.

Bei der *Berechnung der Vermeidungskosten* wurde jeweils die Differenz zwischen den Kosten des Vermeidungshebels und den Kosten der jeweiligen Referenztechnologie auf Basis einer Vollkostenrechnung bewertet, die Betriebskosten und Investitionen umfasst. Dabei wurden für neue Technologien jeweils technologiespezifische Lernraten unterstellt, die zu einer allmählichen Kostendegression bis 2020 bzw. bis 2030 führen. An zwei Beispielen aus dem Transportsektor kann das Vorgehen illustriert werden: Wenn beispielsweise durch ein verbessertes Thermomanagement im Jahr 2020 je Fahrzeug 5 EUR gespart werden, weil der geringere Kraftstoffverbrauch die Zusatzkosten überkompensiert, ergibt sich bei einer CO₂-Minderung von 0,05 t CO₂e – das entspricht bei einer jährlichen Laufleistung von 10.000 km einer Verbrauchsreduktion um 0,2 Liter/100 km oder 5 g CO₂e/km – eine Ersparnis von 100 EUR/t CO₂. Für eine Benzindirekteinspritzung, die 2020 jährliche Zusatzkosten von 100 EUR für den Endkunden bedeutet und gleichzeitig 0,2 t CO₂e einspart, ergeben sich dagegen Vermeidungskosten von 500 EUR/t CO₂e.

Die Berechnung der Vermeidungskosten erfolgte zum einen aus Perspektive des jeweiligen Entscheiders, zum anderen aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive. In der Gesamtbewertung der Vermeidungspotenziale und -kosten ergeben sich hierdurch kaum Unterschiede; einzelne Hebel können aber je nach Perspektive deutlich teurer oder günstiger sein.

- Bei der Bewertung der Vermeidungshebel aus der *Entscheiderperspektive* wurde insbesondere mit den jeweils spezifischen Amortisierungszeiträumen gerechnet (z.B. 4,5 Jahre für PKW als durchschnittliche Haltedauer für Erstkäufer). Darüber hinaus wurden die jeweiligen Zinssätze der Entscheider berücksichtigt (von 4 Prozent für Privathaushalte bis 9,5 Prozent für die Industrie). Schließlich wurden Industrie- bzw. Endverbraucherpreise für Energie ebenso in die Bewertung einbezogen wie relevante Steuern, Förderprogramme (z.B. EEG) und bestehende Zölle (z.B. für Ethanolimport). Veränderungen in der Kaufbereitschaft, die sich aus der Umsetzung einzelner Vermeidungshebel ergeben können, wurden hingegen nicht abgebildet. Im vorliegenden Bericht werden – sofern nicht ausdrücklich anders angegeben – Vermeidungskosten aus der Entscheiderperspektive angeführt.
- Bei der Bewertung aus *gesamtwirtschaftlicher Perspektive* wurden gesamtwirtschaftliche Amortisierungszeiträume und Kapitalkosten (7 Prozent) veranschlagt. Kosteneinsparungen, z.B. durch reduzierte Energiekosten, wurden zu Herstellkosten der eingesparten Güter eingerechnet. Förderprogramme, Steuern und Transaktionskosten blieben bei der gesamtwirtschaftlichen Perspektive unberücksichtigt. Auf eine separate Darstellung der gesamtwirtschaftlichen Perspektive wurde hier verzichtet, da für die Umsetzung der einzelnen Vermeidungshebel vor allem relevant ist, wie attraktiv diese für die jeweiligen Investoren sind.

Vermeidungspotenziale und -kosten wurden für jeden Sektor in einer Vermeidungskostenkurve zusammengestellt. Diese Kurve zeigt auf der X-Achse, welchen Beitrag jeder einzelne Vermeidungshebel zur Treibhausgasvermeidung liefert. Auf der Y-Achse sind die Vermeidungskosten pro Tonne CO₂e für den jeweiligen Vermeidungshebel abgetragen, und zwar jeweils für ein bestimmtes Jahr. Die Vermeidungshebel, die sich links in der Vermeidungskurve (auf oder unterhalb der Nulllinie) befinden, sind aus Entscheidersicht über die Nutzungsdauer der Maßnahme wirtschaftlich, d.h. entweder kostenneutral oder sogar mit einer Ersparnis verbunden. Von links nach rechts sind

die Maßnahmen in aufsteigender Reihenfolge nach der Höhe der jeweiligen Vermeidungskosten sortiert. Dabei sind die Vermeidungshebel jeweils überschneidungsfrei (auch für sich gegenseitig ausschließende Hebel), so dass das Vermeidungspotenzial aller Hebel über die Kurve aufaddiert werden kann. Die Reihenfolge impliziert allerdings nicht, dass die Vermeidungshebel in der dargestellten Abfolge umgesetzt werden sollen. Eine Addition der kumulierten Vermeidungskosten über die verschiedenen Sektoren hinweg ist dagegen nicht möglich, da es hierbei – auf Grund der gewählten Entscheiderperspektive – zu Überschneidungen kommt.

Für die Berechnung der Vermeidungspotenziale im Energiesektor wurde zunächst die Stromnachfrage ermittelt, die sich nach Umsetzung aller Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz ergibt. Auf der Basis dieser reduzierten Nachfrage wurden dann die Vermeidungshebel zur Senkung der Treibhausgasemissionen in der Stromerzeugung bewertet. Die Berechnung der Vermeidungskosten für die Hebel im Energiesektor erfolgte jeweils im Vergleich mit der spezifischen Referenztechnologie bzw. -anlage, die durch die Umsetzung des Hebels ersetzt wird. So ersetzt beispielsweise der Zubau erneuerbarer Energien den Zubau anderer Kapazitäten aus der „Stand der Technik“-Projektion⁵⁷. Bei CCS-Maßnahmen ist die Referenztechnologie hingegen jeweils die spezifische Technologie zur Stromerzeugung aus dem entsprechenden Energieträger (d.h. Braunkohle mit CCS ersetzt Braunkohle mit verbesserter Kraftwerkstechnologie etc.).

Für die Bewertung von Maßnahmen zur Steigerung der Stromeffizienz in den Bereichen Industrie, Gebäude und Transport wurde die durchschnittliche CO₂-Intensität der Stromerzeugung der zugebauten Kapazität aus der „Stand der Technik“-Projektion zu Grunde gelegt⁵⁸. Maßnahmen zur Reduzierung der CO₂-Intensität in der Stromerzeugung wurden dem Energiesektor zugerechnet. Entsprechende Effekte aus der Stromerzeugung in industriellen KWK-Anlagen wurden ebenfalls im Energiesektor berücksichtigt, auch wenn der verstärkte Einsatz entsprechender Anlagen durch die Industrie veranlasst wird. Das entsprechende Vermeidungspotenzial in der industriellen Wärmeerzeugung wurde hingegen dem Industriesektor zugerechnet.

Im Vergleich mit dem Basisszenario wurde auch ein Ölhochpreisszenario bewertet. In diesem sinken die Vermeidungskosten der meisten Maßnahmen im Vergleich zur jeweiligen Referenztechnologie um 10 EUR/t CO₂e bis zu 50 EUR/t CO₂e, da insbesondere durch Energieeffizienzmaßnahmen bei höheren Ölpreisen höhere monetäre Einsparungen entstehen. Lediglich die verstärkte Nutzung von Erdgas (an Stelle von Stein- oder Braunkohle) wäre durch die gestiegenen Gaspreise in einem solchen Szenario mit höheren Vermeidungskosten verbunden.

57 Zugebaute Kapazitäten von heute bis 2020 in der „Stand der Technik“-Projektion: 42 Prozent Steinkohle, 25 Prozent Braunkohle, 26 Prozent Gas, 7 Prozent Öl und Sonstige; zugebaute Kapazitäten von 2020 bis 2030: 47 Prozent Steinkohle, 31 Prozent Braunkohle, 20 Prozent Gas, 2 Prozent Öl und Sonstige.

58 Die durchschnittliche CO₂-Intensität des Zubaumix aus Kohle und Erdgas nach Eigenverbrauch der Kraftwerke und nach Netzverlusten sinkt in der „Stand der Technik“-Projektion von 0,72 t CO₂e/MWh (2010) auf 0,64 t CO₂e/MWh (2020) und steigt dann auf 0,68 t CO₂e/MWh (2030).

Wesentliche makroökonomische Grundannahmen sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Sektorübergreifende Grundannahmen

		Annahmen			Quelle
		2010	2020	2030	
Allgemeine Grundannahmen	• Jährliches Wachstum BIP	1,6%	1,6%	1,6%	Global Insight
	• Bevölkerungsentwicklung in Mio.	82,0	80,7	78,5	DESTATIS
	• Diskontierungsraten (real)				Arbeitsgruppen
	– Energiesektor	7%	7%	7%	
	– Industriesektor	9,5%	9,5%	9,5%	
– Gewerbe	9%	9%	9%		
	– Privatpersonen	4%	4%	4%	
Energiepreise, real (2005)	• Rohöl in USD pro Barrel*	57	52	59	Annual Energy Outlook 2007 (EIA)
	– Hochpreisszenario	63	66	75	EWI/EEFA**
	• Steinkohle in EUR/MWh	7,2	7,6	8,1	EWI/EEFA**
	• Braunkohle in EUR/MWh	4,3	4,3	4,3	EWI/EEFA**
	• Erdgas*** in EUR/MWh	20,1	18,8	20,3	EWI/EEFA**
	– Hochpreisszenario	22,0	23,0	25,0	EWI/EEFA**

* Umrechnung: 1 EUR = 1,2 USD
 ** Energiewirtschaftliches Gesamtkonzept 2030
 *** Frei Kraftwerk; berechnet auf Basis EIA Ölpreis

Quelle: Studie „Kosten und Potenziale der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland“ von McKinsey & Company, Inc. im Auftrag von „BDI initiativ – Wirtschaft für Klimaschutz“

Schaubild 9

Betrachtung von Sekundäreffekten

Die vorliegende Studie liefert einen wesentlichen Beitrag zur Quantifizierung der volkswirtschaftlichen Kosten der Treibhausgasvermeidung in Deutschland, hat aber nicht den Anspruch, diese Quantifizierung vollständig abzuleiten. Die Bewertung der Vermeidungshebel erfolgte in der vorliegenden Studie weitgehend ohne Berücksichtigung von Sekundäreffekten. Dies gilt insbesondere für eventuelle Auswirkungen der Umsetzung von Vermeidungshebeln auf Realeinkommen, für die Auswirkungen höherer Energie- und Produktpreise einerseits und geringerer laufender Energiekosten andererseits auf den Konsum sowie für die Kapitalbindung durch höhere Investitionen zur Verminderung der Treibhausgasemissionen. Derartige volkswirtschaftliche Sekundäreffekte sind ebenso wie Effekte aus der Umverteilung zwischen Nationen oder zwischen Staat, Industrien und Endverbrauchern (z.B. die Verteilung von Einnahmen aus einem CO₂-Handels- oder Steuersystem) stark von der nationalen und internationalen Ausgestaltung politischer Steuerungsinstrumente abhängig. Eine Quantifizierung der Sekundäreffekte wurde deshalb nicht durchgeführt.

Ansprechpartner

BDI initiativ – Wirtschaft für Klimaschutz

Joachim Hein

j.hein@bdi.eu

Klaus Mittelbach

k.mittelbach@bdi.eu

Martin Schröder

m.schroeder@bdi.eu

Internet:

www.wirtschaftfuerklimaschutz.de

McKinsey & Company, Inc.

Leo Birnbaum

leo_birnbaum@mckinsey.com

Anja Hartmann

anja_hartmann@mckinsey.com

Christian Malorny

christian_malorny@mckinsey.com

Jens Riese

jens_riese@mckinsey.com

Thomas Vahlenkamp

thomas_vahlenkamp@mckinsey.com

Impressum

Herausgeber: McKinsey & Company, Inc.

Verantwortlich für den Inhalt: Thomas Vahlenkamp

Redaktion: Philipp Beckmann, Leonhard Birnbaum, Philipp Carlsson-Szlezak, Daniela Cornelius, Kalle Greven, Anja Hartmann, Jan-Henrik Hübner, Florian Kühn, Christian Malorny, Clemens Müller-Falcke, Thorsten Parr, Michael Peters, Jens Riese, Thomas Vahlenkamp, Stephan Weyers, Richard Winkelmann

Alle Rechte vorbehalten. Copyright 2007 by McKinsey & Company, Inc. Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung von McKinsey & Company, Inc., unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

