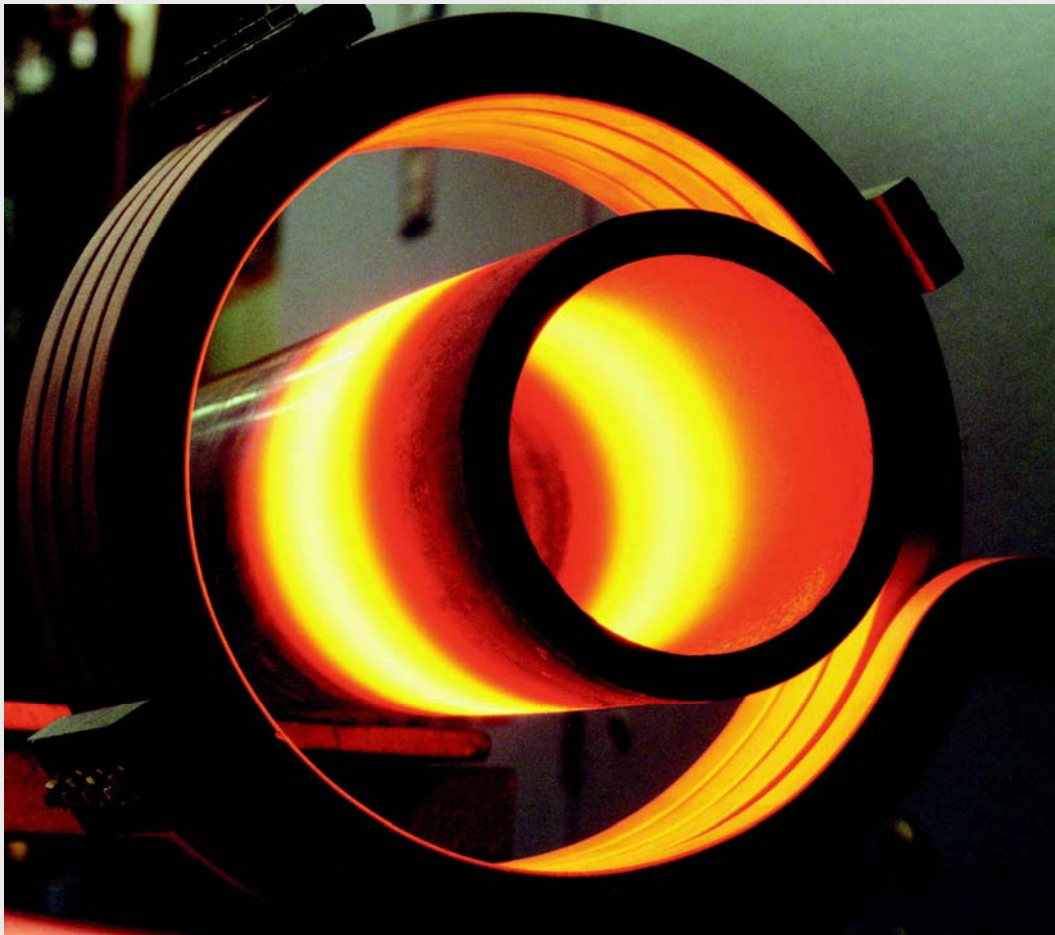


---

# CO<sub>2</sub>-Bilanz Stahl

Ein Beitrag zum Klimaschutz





Die vorliegende Studie wurde unabhängig im Auftrag der Wirtschaftsvereinigung Stahl durch The Boston Consulting Group erstellt.

Besonderer Dank gilt dem Einsatz der Beteiligten aus den Mitgliedsunternehmen der Wirtschaftsvereinigung Stahl sowie den zahlreichen Experten für konstruktive Beiträge und Unterstützung bei der Validierung der Analysen.

Verantwortlich für die Erstellung der vorliegenden Studie war die weltweit führende Strategieberatung The Boston Consulting Group (BCG). Während angemessene Maßnahmen zur Sicherstellung der Fehlerfreiheit der in dieser Studie dargestellten Informationen getroffen wurden, gibt BCG keine Zusicherungen und Gewährleistungen für die Richtigkeit der getroffenen Aussagen und übernimmt keine Haftung für Ungenauigkeiten und Unvollständigkeiten. Die Ergebnisse dieser Studie sollten nicht uneingeschränkt ohne eigene unabhängige Analysen verwendet werden, für welche BCG keine Haftung übernimmt.

---

---

## Inhalt

Executive Summary	5
Einführung	5
I. Ausgangssituation weltweit und in Deutschland	6
II. Die Aufgabenstellung der Studie	9
III. Methodik der Studie	9
IV. Die CO <sub>2</sub> -Bilanz der Stahlindustrie	14
V. Fazit: Politische Klimaziele in Deutschland sind ohne innovative Stahlanwendungen nicht zu erreichen	15
Appendix: Stahlanwendungen zur CO <sub>2</sub> -Reduktion: Sechs Fallbeispiele	17
Quellenverzeichnis	28

---

## Executive Summary

Aufgabenstellung der vorliegenden Studie ist es, die Auswirkungen der Stahlindustrie auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland in einer ganzheitlichen Sichtweise über eine umfangreiche CO<sub>2</sub>-Bilanz zu analysieren. Dafür werden ausgewählte Fallbeispiele in den Bereichen Energieerzeugung, Verkehr sowie Haushalte und Kleinverbraucher betrachtet, bei denen Innovationen des Werkstoffs Stahl und die Anwendung von Stahl in innovativen, klimaschonenden Anwendungen CO<sub>2</sub>-reduzierende Wirkung entfalten. Für das Jahr 2020 ergibt sich allein durch die betrachteten Beispiele zu Stahlanwendungen ein jährliches Gesamteinsparpotential von ca. 74 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>.

Verglichen mit den Gesamtemissionen der Stahlindustrie aus dem Jahr 2007 von ca. 67 Millionen Tonnen resultiert daraus eine positive CO<sub>2</sub>-Bilanz.

## Einführung

Seit der Klimarahmenkonvention im Jahre 1992 wird dem Klimaschutz international zunehmend Bedeutung zugemessen. Vor allem Deutschland und die EU haben auf diesem Feld in den vergangenen Jahren ihre Bemühungen verstärkt und bei vielen Themen eine internationale Vorreiterrolle eingenommen. Dabei standen und stehen insbesondere energieintensive Industrien als bedeutende Emittenten von CO<sub>2</sub> im Fokus. Das Ziel, die industriellen Treibhausgasemissionen zu begrenzen und zu senken, hat zu vielfältigen Regulierungsinitiativen geführt, wie speziell dem 2005 eingeführten europäischen CO<sub>2</sub>-Emissionsrechtehandel. Angesichts der hohen Bedeutung fossiler Energieträger für die Produktionsprozesse energieintensiver Industrien werfen einseitige oder asymmetrische Regulierungen in der EU und Deutschland aber auch die Frage der internationalen Wettbewerbsfähigkeit gegenüber

Für die gewählten Fallbeispiele lässt sich ein durchschnittliches Verhältnis der Einsparung gegenüber den Emissionen bei der Produktion des dafür erforderlichen Stahls von 6 : 1 ermitteln. Die größten Hebel finden sich bei der Wirkungsgradsteigerung fossiler Kraftwerke und beim Ausbau erneuerbarer Energien, aber auch beispielsweise bei der Reduktion der Emissionen im Verkehr durch leichtere Fahrzeuge. Rund ein Drittel des Klimazieles der Bundesregierung (einer 40%igen Reduktion der Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2020 gegenüber 1990) lassen sich nur mithilfe von Stahl erfüllen. Eine leistungsfähige Stahlindustrie ist also auch aus klimapolitischer Sicht ein wichtiges Glied in der Wertschöpfungskette, um die erforderlichen Werkstoffinnovationen bereitzustellen und entsprechende Forschung und Entwicklung zu betreiben.

außereuropäischen Regionen ohne vergleichbare Maßnahmen für die dort ansässige Industrie auf, bis hin zur Gefahr von Produktions- und Emissionsverlagerungen („Carbon Leakage“). Dies trifft auch für die Stahlindustrie zu, die aufgrund ihrer hohen prozessbedingten Emissionen aus der Reduktion von Eisenerz zu Roheisen und dessen Verarbeitung zu Stahl für einen wesentlichen Teil der industriellen CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland steht. Tatsächlich greift eine Fokussierung auf die Emissionen im Zusammenhang mit den Produktionsprozessen zu kurz. Bei ganzheitlicher Betrachtung muss neben den verursachten Emissionen auch in den Blick einbezogen werden, welchen Beitrag eine Industrie und ihre Produkte und insbesondere Produktinnovationen zu den erforderlichen Emissionseinsparungen in anderen Sektoren leisten. Nur auf dieser Basis kann auch aus klimapolitischer Sicht

bewertet werden, wie wichtig eine wettbewerbs- und leistungsfähige Stahlindustrie für Deutschland und die EU ist. Die vorliegende Studie ermittelt vor diesem Hintergrund eine CO<sub>2</sub>-Bilanz für

Stahl, in der die CO<sub>2</sub>-Reduktionen durch Stahlanwendungen den durch die Produktion dieser Stahlanwendungen verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen gegenübergestellt werden.

## I. Ausgangssituation weltweit und in Deutschland

Im Zusammenhang mit dieser Zielsetzung ist es zunächst hilfreich, sich die Ausgangssituation bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen weltweit und in Deutschland vor Augen zu führen: Seit Beginn der Industrialisierung hat sich die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre um 35 % erhöht.<sup>1</sup> Zwischen 1990 und 2007 stiegen die weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen um 38 %.<sup>2</sup> Vor allem Asien hat an dieser Entwicklung einen großen Anteil. China hat zwischen 1990 und 2007 die CO<sub>2</sub>-Emissionen beinahe verdreifacht und damit die weltweit höchste Wachstumsrate zu verzeichnen. Analysiert man die CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Kopf, stehen nach wie vor die USA weltweit an der Spitze unter den großen Industrienationen. Dort fielen 2007 knapp 22 Tonnen CO<sub>2</sub> je Einwohner an.<sup>3</sup>

1997 wurde auf der Weltklimakonferenz in Kyoto das sogenannte Kyoto-Abkommen beschlossen, welches 2005 in Kraft trat. Darin verpflichtet sich unter anderem die EU, die Treibhausgase bis 2012 um 8 % gegenüber 1990 zu reduzieren. Auch wenn der UN-Klimagipfel in Kopenhagen im Dezember 2009 noch keine verbindlichen Ziele vorgab, ist für die nähere Zukunft mit einer weiteren Ausweitung der globalen Anstrengungen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen zu rechnen.

Deutschland, eine der führenden Industrienationen der Welt mit einem Anteil von ca. 6 % an der globalen Wirtschaftsleistung<sup>4</sup>, verursacht 2,3 % der weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen. Zwischen 1990 und 2007 hat Deutschland seine CO<sub>2</sub>-Emissionen von 1.036 Millionen Tonnen (Mt) auf 841 Mt um etwa 19 % reduziert und nimmt damit in der Klimapolitik eine internationale Vorreiterrolle ein (Abb. 1). Die unterschiedlichen Anstrengungen einzelner Wirtschaftsbranchen haben hier nachweislich Früchte getragen: So konnte von der Automobilindustrie der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch neuer PKWs seit 1990 um 18 % vermindert werden.<sup>5</sup> Seit 1990 sank der Energieverbrauch für die Erwärmung von Räumen um 33 %.

Der pro Kilowattstunde anfallende Ausstoß von CO<sub>2</sub> (spezifische CO<sub>2</sub>-Emission des Stromerzeugungsmixes) konnte zwischen 1990 und 2006 um fast 20 % reduziert werden.<sup>6</sup> Neben den Anstrengungen der Industrie selbst sind auch Förderprogramme der Bundesregierung für die positiven Entwicklungen verantwortlich. Betrachtet man die CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland, die sich 2007 auf rund 840 Mt CO<sub>2</sub> beliefen, nach den sie verursachenden Sektoren, so ergibt sich folgendes Bild:

---

<sup>1</sup> IPCC (2007)

<sup>2</sup> BMU (2009), BMWi (2008)

<sup>3</sup> BMU (2009), BMWi (2008), US Census Bureau (2009)

---

<sup>4</sup> UNCTAD (2008)

<sup>5</sup> BMU (2009), BMWi (2008), VDA (2009), KBA (2009)

<sup>6</sup> BMU (2009), BMWi (2008)

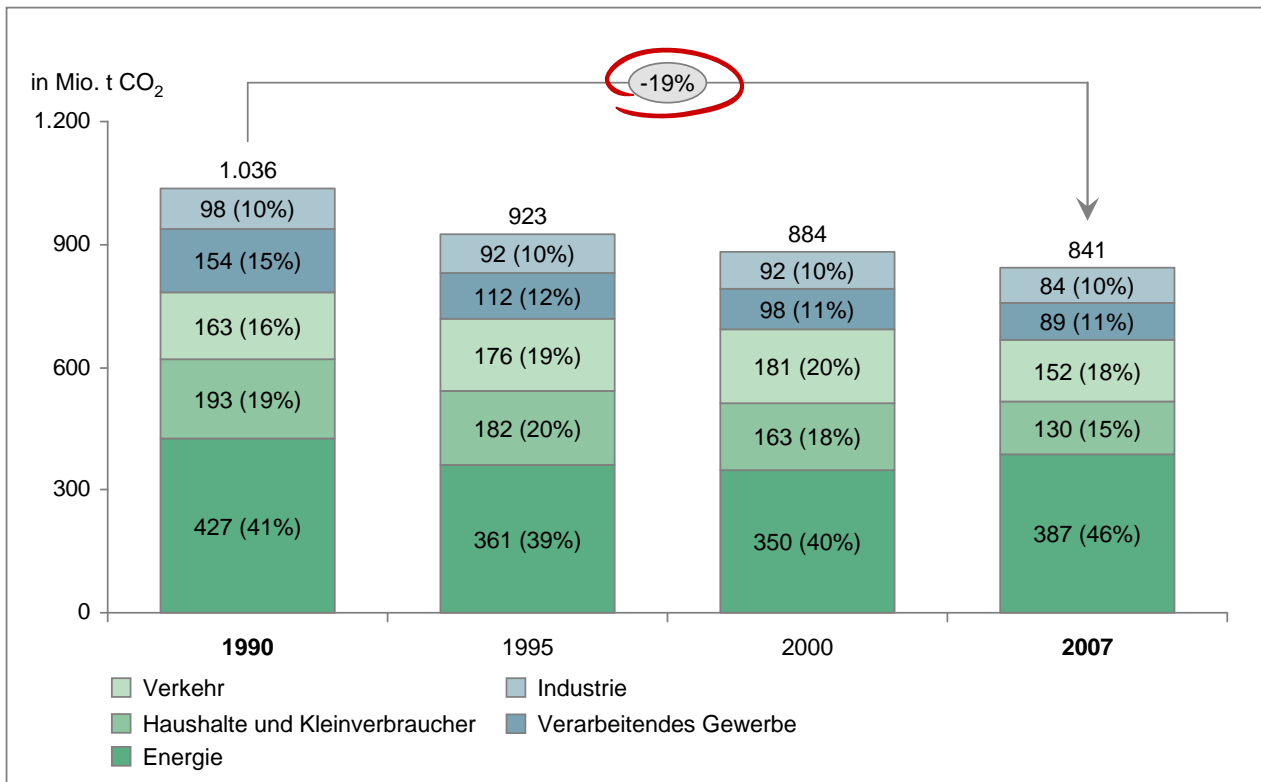


Abbildung 1: Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Sektoren in Deutschland (1990 – 2007)

Die Energiewirtschaft verursacht fast die Hälfte aller Emissionen. Die CO<sub>2</sub>-Anteile der Sektoren Verkehr (20 %) und Industrie (10 %) sind seit 1995 etwa konstant. Die durch Haushalt und Gewerbe verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen sind hingegen stark rückläufig und beliefen sich 2007 nur noch auf 15 %.

2007 beschloss die deutsche Bundesregierung auf Schloss Meseberg das sogenannte „Integrierte Energie- und Klimaprogramm“ (IEKP). Zentraler Punkt dieses Programms ist das Ziel, bis 2020 eine Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 40 % im Vergleich zu 1990 zu erreichen. In absoluten Zahlen entspräche dies einer Reduktion um ca. 400 Millionen Tonnen auf ca. 620 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>. Bis 2050 wird im Meseberg-Programm sogar eine CO<sub>2</sub>-Reduktion um 80 % gegenüber 1990 angestrebt. Um dieses ambitionierte Ziel zu erreichen, hat die

Bundesregierung ein Bündel von Zielen und Maßnahmen formuliert. Diese reichen von einem verstärkten Einsatz von Gaskraftwerken sowie einer Erneuerung des Kraftwerksbestands mit einer Wirkungsgradsteigerung um 7 %, über den Ausbau erneuerbarer Energien auf ca. 25 % der Stromerzeugung und eine Verdoppelung des Kraft-Wärme-Kopplungs-Anteils bis hin zu einer Erhöhung der Energieeffizienz im Stromverbrauch und der Emissionsreduktion im Individual- und Güterverkehr.<sup>7</sup>

Welchen Beitrag kann nun der Werkstoff Stahl leisten, damit diese ehrgeizigen Ziele des deutschen Energie- und Klimaprogramms tatsächlich erreicht werden? Anders gefragt: Lassen sie sich überhaupt ohne Stahl erreichen? Um diese Frage sachlich und faktenbezogen beantworten zu

<sup>7</sup> BMU (2008) u. a.

können, legt die Studie eine CO<sub>2</sub>-Bilanz vor, in der die CO<sub>2</sub>-Reduktionen durch Stahlanwendungen den durch die Produktion dieser Stahlan-

wendungen induzierten CO<sub>2</sub>-Emissionen gegenübergestellt werden.

### **Exkurs 1: Historische Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Stahlproduktion**

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Stahlerzeugung –in Deutschland ca. 67 Millionen Tonnen im Jahr 2007 – entstehen im Wesentlichen bei der Roheisen- und Rohstahlproduktion. Rund 65 bis 70 % der Gesamtemission pro Tonne produzierten Stahls fallen auf dieser Ebene an. Im Zeitraum von 1960 bis 2008 hat die Stahlindustrie in Deutschland den pro Tonne produzierten Rohstahls anfallenden Energieaufwand kontinuierlich um über 40 % reduziert. Meilensteine zur Erreichung dieses Resultats waren die Verbesserung der Energieeffizienz im Produktionsprozess, eine bessere Nutzung von in der Stahlproduktion anfallenden Nebenprodukten, die Reduktion von Ausbringungsverlusten sowie ein verbessertes Recycling von Stahl enthaltenden Produkten.

Die Stahlindustrie in Deutschland konnte ihre CO<sub>2</sub>-Emissionen je produzierter Tonne Stahlfertigprodukt von 1990 bis 2007 um 23 % senken. Dies war vor allem durch Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung und zur Senkung des Reduktionsmittelverbrauchs möglich, wie z. B. die Verbesserung der Koksqualität. In den Betrachtungen der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen der deutschen Stahlindustrie wurde jeweils das in Deutschland herrschende Verteilungsverhältnis von 68 % über die Hochofenroute und 32 % über die Elektroofenroute (2008) zugrunde gelegt.



## II. Die Aufgabenstellung der Studie

Wie eingangs betont, will die vorliegende Studie eine ganzheitliche Sichtweise auf die klimapolitischen Auswirkungen und Beiträge der Stahlindustrie und ihrer Produkte vermitteln. Dazu wird eine CO<sub>2</sub>-Bilanz vorgelegt, in der durch innovative Stahlanwendungen ermöglichte CO<sub>2</sub>-Reduktionen auf der einen Seite und durch die Produktion dieser Stahlanwendungen bzw. der Emissionen der gesamten Stahlproduktion hervorgerufenen CO<sub>2</sub>-Emissionen auf der anderen Seite gegeneinander abgewogen werden. Der Schwerpunkt der Studie liegt dabei auf Deutschland. Nur solche Stahlanwendungen, die sich auf die in Deutschland anfallenden CO<sub>2</sub>-Emissionen

auswirken, werden berücksichtigt. Die Studie betrachtet ausschließlich CO<sub>2</sub>-Emissionen und keine anderen Treibhausgase.

Die Berechnungen und Analysen der Studie nehmen die tatsächlichen Werte des Jahres 2007 als Ausgangszahlen und kalkulieren das mögliche Einsparpotential stets im Hinblick auf das Jahr 2020. Als Resultat der Untersuchungen ergibt sich schließlich die CO<sub>2</sub>-Bilanz der Stahlindustrie.

Auf diese Weise lässt sich der Beitrag der Stahlindustrie für das Erreichen der politischen Klimaziele beurteilen.

## III. Methodik der Studie

Die Methodik dieser Studie beruht sowohl hinsichtlich der zugrunde gelegten Ausgangsdaten als auch der unterstellten Prognosen auf externen Daten renommierter Forschungsinstitute sowie auf ausgewählten Fallbeispielen. Was die aktuellen CO<sub>2</sub>-Zahlen für Deutschland angeht, wurde das Jahr 2007 als Referenzjahr gewählt, für welches Daten unabhängiger Forschungsinstitute als Grundlage dienen. Die Studie untersucht also den Zeitraum von 2007 bis 2020 und konzentriert sich allein auf die Entwicklung in Deutschland. Eine Übertragung der Analyse auf die Europäische Union wäre aber möglich. Die generellen Vorhersagen für die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen insgesamt bis 2020, auf denen diese Studie basiert, entstammen in wissenschaftlichen Untersuchungen modellierten Szenarien.<sup>8</sup>

Die Studie basiert auf zwei wesentlichen Grundprinzipien: Zum einen liegt der Schwerpunkt der

Ermittlung der CO<sub>2</sub>-Einsparpotentiale auf Innovation, d. h., es wird entweder der Einsatz neu entwickelter Stähle zur Effizienzverbesserung in bestehenden Anwendungen betrachtet (z. B. Wirkungsgradsteigerungen in fossilen Kraftwerken) oder der Einsatz von Stahl in innovativen Anwendungen (z. B. Windenergie) oder beides. Die dafür erforderlichen Stahlinnovationen sind in Deutschland bereits heute vorhanden oder zumindest in der Entwicklung und somit vor 2020 verfügbar. Das Feld der Werkstoffsubstitution wird hingegen bewusst ausgeklammert.

Zum anderen wird ein äußerst konservativer Ansatz verfolgt, etwa durch die unten erläuterte Filterlogik, die umfassende Einbeziehung der Emissionen aus der Produktion einschließlich der Rohstoffgewinnung, während die Klimabeiträge durch exportierte Stahlanwendungen ausgeklammert werden. Das gewählte Verfahren hat dabei den Vorteil, dass die ermittelten CO<sub>2</sub>-Einsparpotentiale durch Stahlanwendungen als besonders zuverlässig gelten können.

---

<sup>8</sup> Energieszenarien basiert auf Studien des EWI Köln (2005) und Studien i. A. des Umweltbundesamtes

Auf dieser Grundlage aktueller und zukünftiger CO<sub>2</sub>-Emissionen konzentriert sich die Studie darauf, die CO<sub>2</sub>-Reduktionsbeiträge der Stahlanwendungen zu quantifizieren. Die Studie formuliert also keine umfassende Einschätzung der Entwicklung der gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen und Gesamtreduktionsgrade der Stahlbranche. Vielmehr wird auf der Basis von acht ausgewählten Fallbeispielen der Einfluss von innovativen Stahlanwendungen auf die zukünftige Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen abgeschätzt und zur Bestimmung des Gesamteffekts überschnei-

dungsfrei hochgerechnet.

Bei den gewählten Fallbeispielen lassen sich zum einen Anwendungen unterscheiden, deren Realisierung nur unter Einsatz von Stahl möglich ist, und solche Anwendungen, bei denen andere Werkstoffe maßgeblich beteiligt sind. Zum anderen lässt sich nach der Perspektive „Optimierung bestehender Produkte“ oder „Nutzung neuer Anwendungen“ differenzieren (Abb. 2).

	Anwendung nur mit Stahl möglich	Auch alternative Werkstoffe möglich
Optimierung bestehender Anwendungen	Effizienzsteigerung durch verbesserte Stahleigenschaften	Optimierungseffekte potentiell auch mit anderen Werkstoffen erreichbar
Neue Anwendungen	Einsatz von Stahl unter Bedingungen, die keine anderen Werkstoffe zulassen	Ersatz von bisherigen Materialien in neuen Stahleinsatzfeldern

Abbildung 2: Segmentierung der Fallbeispiele nach Wirkung von Stahl auf CO<sub>2</sub>-Einsparung

Abbildung 3 verdeutlicht das Vorgehen am Beispiel der im PKW-Verkehr anfallenden CO<sub>2</sub>-Emissionen: Das im Mittelpunkt der Untersuchung stehende Delta ergibt sich aus dem Vergleich der Emissionsentwicklung unter An-

nahme des Einsatzes der untersuchten Stahlanwendungen mit der Emissionsentwicklung seit dem Referenzjahr 2007 ohne Berücksichtigung dieser Stahlanwendungen.

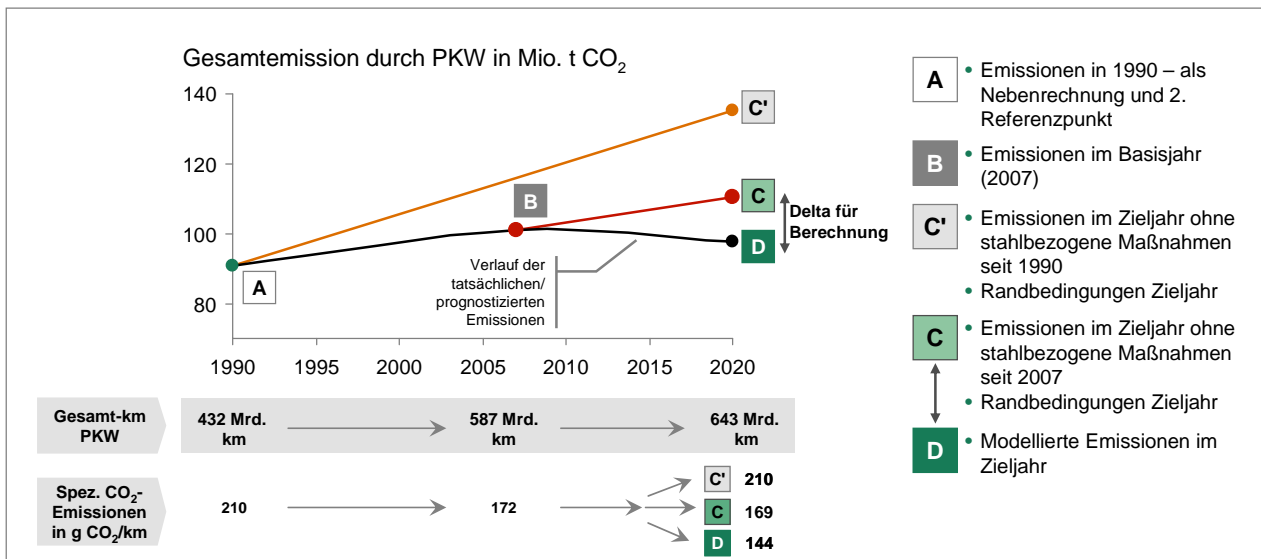


Abbildung 3: CO<sub>2</sub>-Einsparungen werden für den Zeitraum 2007 – 2020 berechnet

Für die Auswahl der Fallbeispiele werden die bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe entstehenden CO<sub>2</sub>-Emissionen als ursprüngliche Quelle zugrunde gelegt und die vier grundsätzlich möglichen Hebel für eine Absenkung von CO<sub>2</sub>-Emissionen in diesem Bereich betrachtet: die Reduktion der Wirkungsgrad- und Effizienzverluste bei der (direkten) Verbrennung fossiler Brennstoffe zur Energieerzeugung bzw. die Reduktion der Verluste bei der Sekundärenergiebereitstellung und -nutzung (Hebel I); die Reduktion der spezifischen Emissionen bei bestehenden Produkten (Hebel II); die Reduktion durch Nutzung und Ausbau neuer Anwendungen zur Vermeidung von Emissionen (Hebel III) sowie die Reduktion durch Steigerung der Materialeffizienz bei bestehenden Anwendungen (Hebel IV).

Die sich aus dieser Systematik ergebenden Beispiele wurden im Rahmen einer vierstufigen Filterlogik weiter eingegrenzt (Abb. 4): Erstens wurden nur Stahlanwendungen berücksichtigt, die in Deutschland eingesetzt werden und dort einen unmittelbaren Einspareffekt bewirken. Zweitens wurden nur Anwendungen einbezogen, die zu einer signifikanten Veränderung der CO<sub>2</sub>-Emis-

sionen im untersuchten Zeitraum 2007 – 2020 führen. Drittens wurden keine Fallbeispiele mit einem komplexen Mix von Werkstoffen und möglichen Wechselwirkungs- oder Substitutionseffekten aufgenommen, um die Eindeutigkeit der späteren Anrechnung auf die Stahlanwendungen sicherzustellen. Viertens wurden nur Fallbeispiele mit einem absoluten CO<sub>2</sub>-Reduktionspotential von mindestens einer Million Tonnen CO<sub>2</sub> berücksichtigt. Auf Basis dieser restriktiven Auswahl ergaben sich für die weiteren Analysen und Untersuchungen acht Fallbeispiele, bei denen CO<sub>2</sub>-Emissionen durch den Einsatz von Stahl in neuen Anwendungsfeldern oder den Ersatz von Stahlprodukten mit innovativeren Stählen reduziert oder vermieden werden: Effizienzsteigerungen bei fossilen Kraftwerken, Zubau von Windkraftwerken, weitere regenerative Energien, effizientere Transformatoren, effizientere Elektromotoren, Gewichtsreduktionen von PKWs, Gewichtsreduktionen von LKWs und Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung. Die Fallbeispiele stehen für etwa 10 Prozent der in Deutschland produzierten Stahlmenge. Sie werden im Appendix genauer beschrieben und charakterisiert.

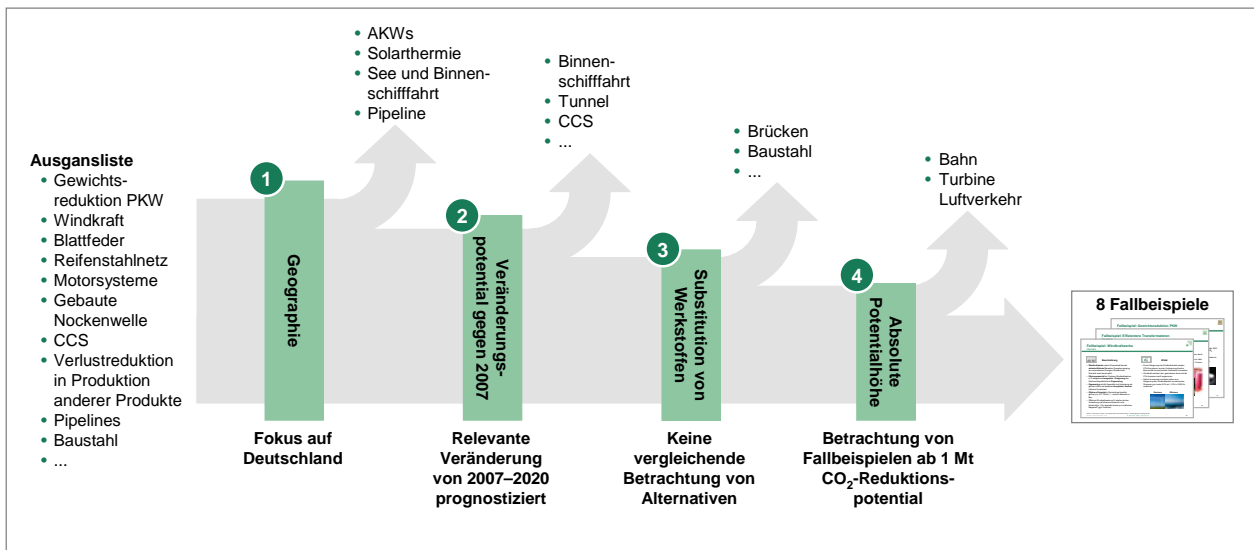


Abbildung 4: Vierstufige Filterlogik führt zu einer „Shortlist“ von acht Fallbeispielen

Die Filterlogik bewirkt, dass zur Sicherstellung einer eindeutigen Zurechnung zu Stahl eine ganze Reihe von Stahlanwendungen mit erheblichem CO<sub>2</sub>-Reduktionspotential in dieser Studie nicht berücksichtigt wird. Der Filter der Geographie führt beispielsweise dazu, dass Pipelines zum Gastransport oder der Export deutscher Autos und die dadurch ermöglichten Reduktionen der CO<sub>2</sub>-Emissionen nicht angerechnet werden. Der Filter des nennenswerten Veränderungspotentials hat zur Folge, dass die Bereiche der Schifffahrt oder Carbon Capture and Storage (CCS) nicht einbezogen werden, da zum einen die Schifffahrt ihr Potential bereits entfaltet hat und zum anderen bei CCS bis 2020 keine signifikanten Potentiale erwartet werden. Die Werkstoffsubstitution wird grundsätzlich nicht berücksichtigt, um den Fokus rein auf Innovationen der Stahlindustrie zu setzen. Der Filter der Substitution von Werkstoffen lässt zum Beispiel die Emissionsvermeidung in anderen Industrien, etwa den Minderverbrauch von Zement durch besseren Baustahl, unberücksichtigt. Der Filter eines absoluten Reduktionspotentials von mindestens einer Million Tonnen CO<sub>2</sub> schließlich führt dazu, dass etwa Turbinen im Luftverkehr, Züge oder der

Rollwiderstand bei Reifen nicht aufgenommen wurden. Bei vollständiger Einbeziehung aller möglichen Stahlanwendungen wären die zu erwartenden CO<sub>2</sub>-Reduktionseffekte also wesentlich höher als die in der vorliegenden Studie quantifizierten. Um die auf Grundlage der vierstufigen Filterlogik ausgewählten acht Fallbeispiele zu bewerten, werden die ausgewählten Stahlanwendungen in ihrem Lebenszyklus betrachtet. Die anfänglich anfallenden CO<sub>2</sub>-Emissionen werden also auf den gesamten Lebenszyklus der Stahlanwendung umgelegt.

Die CO<sub>2</sub>-Bilanzierung erfolgt durch die Gegenüberstellung des CO<sub>2</sub>-Reduktionspotentials durch Stahlanwendungen mit den CO<sub>2</sub>-Emissionen, die im Zuge der Produktion und Bereitstellung dieser Anwendungen entstehen. Dabei wird zunächst das Brutto-CO<sub>2</sub>-Reduktionspotential durch die Stahlanwendungen kalkuliert, in das auch die Beiträge anderer Werkstoffe einfließen. In einem nächsten Schritt wird der Beitrag von Stahl zur Realisierung dieses Brutto-CO<sub>2</sub>-Reduktionspotentials in Ansatz gebracht, so dass der dem jeweiligen Einsparpotential zurechenbare Stahlbeitrag bestimmt werden kann. Das so

errechnete Netto-CO<sub>2</sub>-Reduktionspotential wird nun den durch die Anwendung und Produktion des Stahls verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen ge-

genüßgestellt. So erhält man im Ergebnis die CO<sub>2</sub>-Bilanz der Stahlindustrie. (Abb. 5).

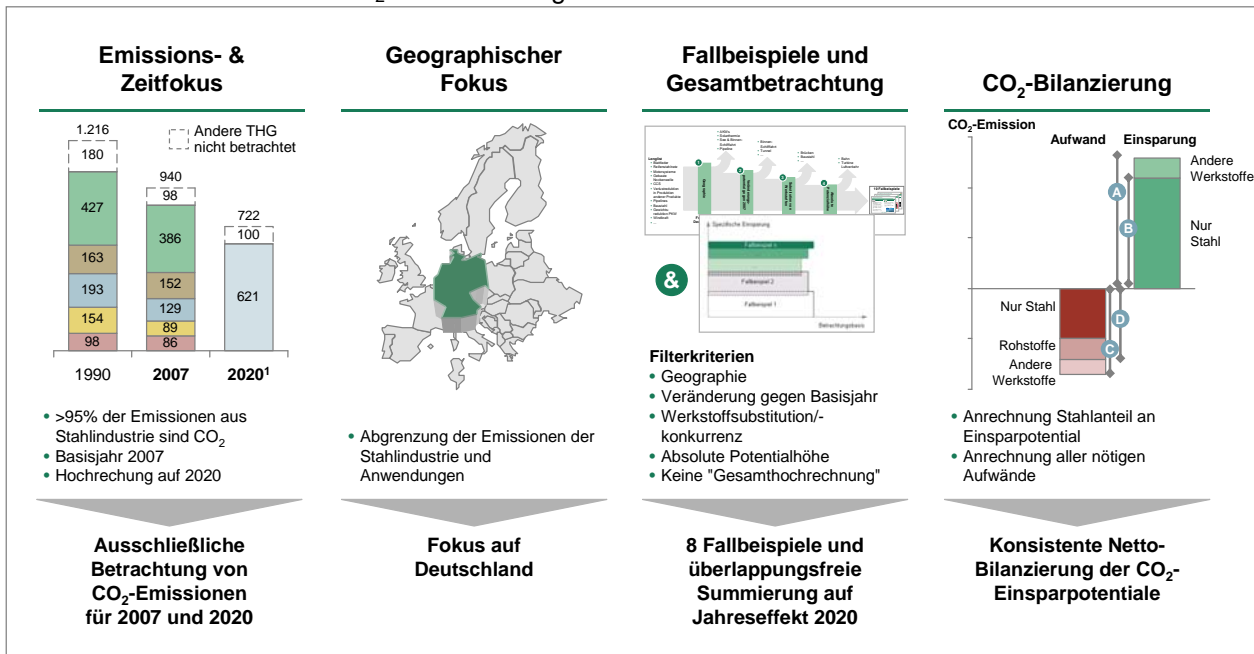


Abbildung 5: Überblick über Schwerpunkt und Methodik der Studie

## Exkurs 2: Stahlinduzierte CO<sub>2</sub>-Emissionen entlang des Produktionsprozesses

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Stahlindustrie lassen sich in drei Betrachtungsbereiche gliedern. In Scope I werden die direkt in der Stahlproduktion anfallenden CO<sub>2</sub>-Emissionen berücksichtigt. In Scope II werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Zusammenhang mit der für die Stahlproduktion verwendeten fremdbezogenen Elektrizität erfasst. In Scope III werden hauptsächlich die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Zusammenhang mit dem für die Stahlproduktion notwendigen Rohstoffabbau (primär Eisenerz und metallurgische Kohle) berücksichtigt.

Grundsätzlich gibt es zwei Verfahren der Stahlproduktion: die Oxygenstahlroute (BOF = Basic Oxygen Furnace) zur Primärerzeugung von Rohstahl und die Elektrostahlroute (EAF = Electric Arc Furnace) zur Stahlherstellung aus Schrott. Dabei fallen für beide Verfahren unterschiedlich hohe CO<sub>2</sub>-Emissionen auf allen Stufen des Stahlproduktionsprozesses – von der Rohstoffgewinnung über Verkokung, Stahlerzeugung, Warmwalzen, Kaltwalzen und Vergütung bis zum Endprodukt – an. Für die Zwecke dieser Studie wurden der für Deutschland ermittelte Anteil des BOF-Verfahrens von 68 % und der Anteil des EAF-Verfahrens von 32 % zugrunde gelegt.

## IV. Die CO<sub>2</sub>-Bilanz der Stahlindustrie

Auf der Grundlage der skizzierten Aufgabenstellung der Studie sowie der beschriebenen Methodik ergibt sich für die acht untersuchten Fallbeispiele folgendes Resultat (Abb. 6): Brutto errechnet sich ein CO<sub>2</sub>-Einsparpotential im Zusammenhang mit innovativen Stahlanwendungen von 87 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> im Jahr. Unter Berücksichtigung des spezifischen Stahlbeitrags der einzelnen Fallbeispiele ergibt sich ein Nettoeffekt von ca. 74 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> im Jahr. Die fünf größten Einsparmöglichkeiten liegen dabei im Bereich der Erneuerung fossiler Kraftwerke (29,5 Millionen t), im weiteren Ausbau der Windenergie (14,2 Millionen t), in der Gewichtsreduktion von PKWs (11,2 Millionen t), im Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (9,2 Millionen t) sowie in weiteren regenerativen Energien (5 Millionen t).

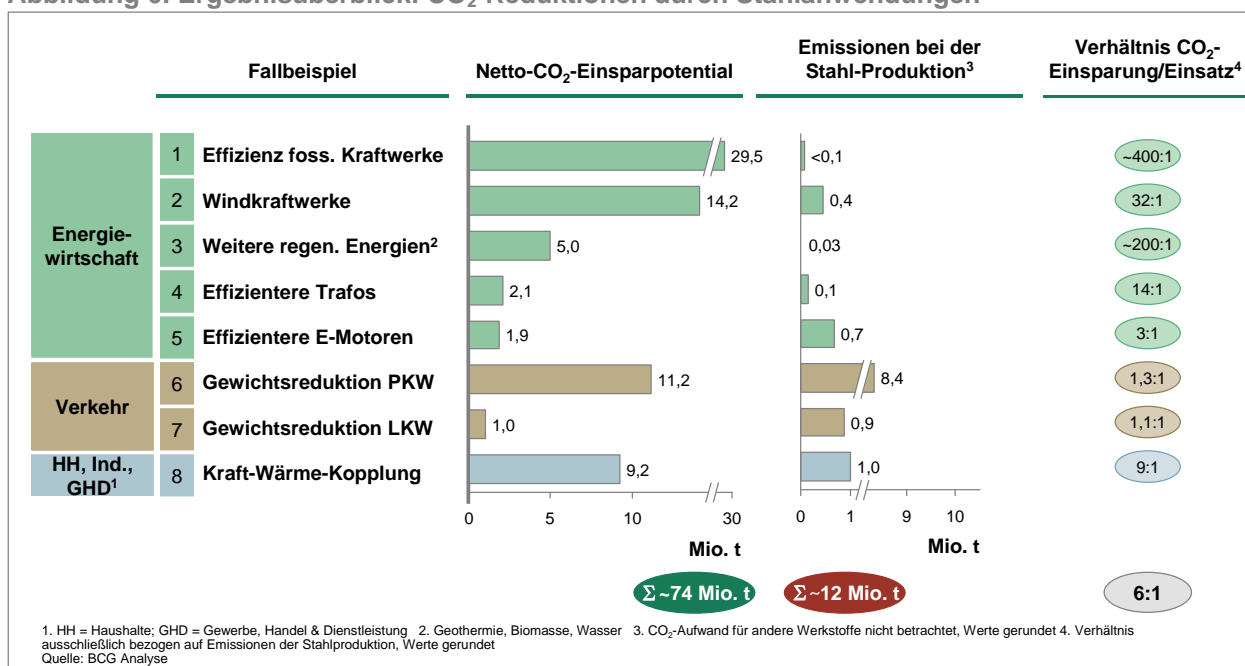
Stellt man zur Veranschaulichung das jährliche Netto-Einsparpotential der acht ausgewählten Fallbeispiele von 74 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> den gesamten durch die Stahlproduktion in Deutschland jährlich verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen von ca. 67 Millionen Tonnen gegenüber, ergibt sich rechnerisch allein durch diese Beispiele eine positive CO<sub>2</sub>-Bilanz. Die Emissionen, die durch die Stahlproduktion in Deutschland entstehen, werden also durch die untersuchten Beispiele mehr als kompensiert.

Die Bilanz würde bei einer weniger konservativen Filterlogik, also beispielsweise ohne den Fokus auf Deutschland oder den Zeitraum 2007 bis 2020, noch positiver ausfallen. In diesem Fall

lassen sich die gesamten Einsparungen auf das Zwei- bis Fünffache der Summe der analysierten Fallbeispiele schätzen.

Führt man sich vor Augen, dass die über 4 Millionen exportierten deutschen Fahrzeuge an ihrem Bestimmungsort mindestens eine ähnliche CO<sub>2</sub>-Reduktionswirkung von ca. 10 Millionen Tonnen wie in Deutschland entfalten, dass exportierte Kraftwerkstechnik den spezifischen CO<sub>2</sub>-Ausstoß fossiler Kraftwerke in der ganzen Welt reduziert, dass über die Binnenschifffahrt in Deutschland noch einmal ca. 20 % des Straßengütertransportaufkommens (ca. 40 Millionen Tonnen an CO<sub>2</sub>-Emission stammen aus dem Güterverkehr) geleistet werden, lässt sich erahnen, wie groß das nicht betrachtete CO<sub>2</sub>-Potential noch ist.

Bezogen auf die ausgewählten Fallbeispiele mit ihren Emissionen aus der Stahlproduktion von ca. 12 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> und einem Reduktionspotential von ca. 74 Millionen Tonnen kann der Werkstoff Stahl für diese Anwendungen potentiell eine CO<sub>2</sub>-Reduktion erreichen, die etwa sechsmal so hoch liegt wie die durch die Stahlherstellung für diese Anwendungen verursachten Emissionen. Den wirksamsten Erfolgshebel bietet dabei der Bereich fossiler Kraftwerke. Hier beträgt das angesprochene Verhältnis sogar 400 : 1. Für die regenerativen Energien liegt das entsprechende Verhältnis bei 200 : 1, für Windkraftwerke beträgt es 32 : 1, für effizientere Transformatoren 14 : 1 und für Kraft-Wärme-Kopplung 9 : 1.

Abbildung 6: Ergebnisüberblick: CO<sub>2</sub>-Reduktionen durch Stahlanwendungen

## V. Fazit: Politische Klimaziele in Deutschland sind ohne innovative Stahlanwendungen nicht zu erreichen

Allein die CO<sub>2</sub>-Reduktionspotentiale der betrachteten Fallbeispiele resultieren in einer positiven CO<sub>2</sub>-Bilanz für Stahl. Der Einsatz innovativer Stahlprodukte kann also die assoziierten CO<sub>2</sub>-Emissionen zur Bereitstellung der Anwendungen durch gesteigerte Effizienz in der Energieerzeugung, Verbrauchsminderungen und Emissionsvermeidung ausgleichen und in den gewählten Beispielen sogar einen vielfachen positiven Effekt erzielen. Ein wesentliches Ergebnis der Studie ist darüber hinaus, dass die ambitionierten Klimaziele der Bundesregierung ohne die Stahlindustrie nicht erreicht werden können (**Abb. 7**): Die Bundesregierung strebt an, bis 2020 die CO<sub>2</sub>-Emissionen gegenüber dem Vergleichsjahr 1990 um 40 % zu senken. Das bedeutet eine Reduktion von rund 840 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> im Jahr 2007 auf rund 620 Millionen Tonnen bis 2020. Zu dieser Verminderung um 220 Millionen Tonnen leisten die betrachteten Stahlanwendungen mit einem CO<sub>2</sub>-Brutto-Reduktionspotential

von rund 87 Millionen Tonnen einen Beitrag von etwa 40 %.

Rund 80 % der Reduktionspotentiale der in dieser Studie untersuchten Fallbeispiele lassen sich nur mit Hilfe der Anwendung von Stahl realisieren. Das allein dem Werkstoff Stahl zurechenbare Einsparpotenzial von 74 Millionen Tonnen macht ein Drittel des von der Bundesregierung angestrebten Reduktionszieles aus. Dieser Beitrag lässt sich nicht durch alternative Werkstoffe ersetzen, da Stahl bei wesentlichen Anwendungen technisch und ökonomisch betrachtet, praktisch alternativlos ist, so z.B. bei Kraftwerken und Windenergieanlagen.

Der Werkstoff Stahl hat durch seine vielfältigen Anwendungen eine wesentliche Bedeutung für viele Bereiche der technischen Infrastruktur wie Gebäude, Verkehrswege oder Versorgung. Eine leistungsfähige Stahlindustrie ist der in dieser Studie entwickelten Logik folgend auch ein wichtiges Glied in der Wertschöpfungskette, um kli-

mapolitisch wesentliche Werkstoffinnovationen und Entwicklung zu betreiben.  
bereitstellen und entsprechende Forschung

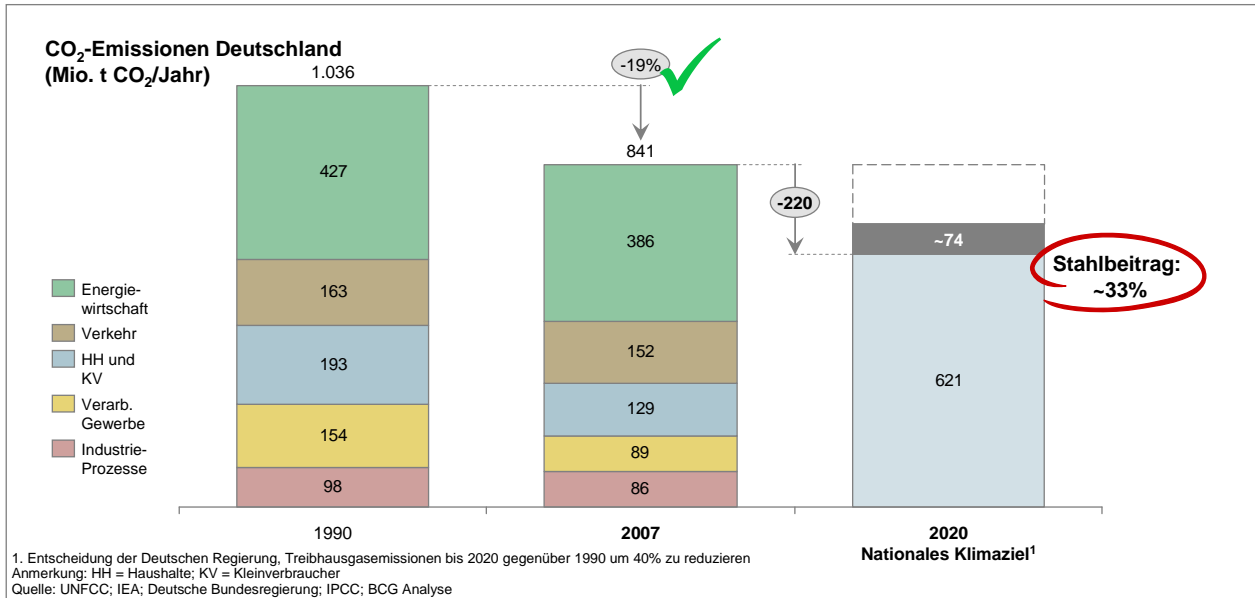


Abbildung 7: Beitrag von Stahl zu politischen CO<sub>2</sub>-Reduktionsplänen der Bundesregierung beträgt bis zu 33 %



## Appendix: Stahlanwendungen zur CO<sub>2</sub>-Reduktion: Sechs Fallbeispiele

Im Folgenden sollen die Berechnungen und Ergebnisse für die wesentlichen untersuchten Fallbeispiele im Detail erläutert werden.

### Beispiel: Steigerung der Effizienz fossiler Kraftwerke

Die Wirkungsgradverbesserung bei Dampfkraftwerken wurde in den vergangenen Jahren durch eine konsequente Optimierung des Gesamtprozesses erreicht. Als wichtigste Einzelmaßnahmen sind dabei die Erhöhung der Dampftemperaturen und Dampfdrucke, die Verringerung von inneren Verlusten in der Dampfturbine und beim Eigenverbrauch sowie die Verbesserung der Rückkühlung und des Dampferzeugerwirkungsgrads zu nennen. Die Erhöhung der Dampfzustände erfordert die Entwicklung und den Einsatz speziell entwickelter neuer hochwarmfester Stahlsorten, die in Kesseln und Dampfleitungen extrem hohen Druck- und Temperaturbelastungen widerstehen. Während heute noch Kraftwerke aus den 1960er Jahren mit Wirkungsgraden von knapp über 30 % im Einsatz sind, liegen bis zum Jahr 2020 Wirkungsgrade von 51 % bei Steinkohle und 47 % bei Braunkohle (ohne Kraft-Wärme-Kopplung) im Bereich des Möglichen.<sup>9</sup> Bei Kombi-Kraftwerken werden etwa zwei Drittel des Stroms über die Gasturbine und ein Drittel über die Dampfturbine erzeugt. Durch angemessene Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen wird man bis 2020 Wirkungsgrade von 63 % bei GuD-Kombikraftwerken verwirklichen können. Erste GuD-Kraftwerke, die um 1980 installiert wurden, hatten noch einen Wirkungsgrad von ca. 50 %. Mit einer Leistung von 340 MW wird die weltweit größte und leistungsfähigste Gasturbine

derzeit in Irsching getestet. Sie wiegt 440 t und besteht zu 95 % aus Stahl. Moderne Steinkohle-, Braunkohle- und GuD-Kraftwerke weisen im wesentlichen Teil, der Bau- und Elektrotechnik, einen Stahlanteil von ca. 80 bis 90 % auf.<sup>10</sup>

Bei der Berechnung der CO<sub>2</sub>-Reduktionspotentiale durch effizientere fossile Kraftwerke wurde von folgenden Prämissen ausgegangen: Im Jahr 2007 wird Strom mit durchschnittlichen spezifischen Emissionen von 1,16 t CO<sub>2</sub>/MWh bei Braunkohlekraftwerken, 0,87 t CO<sub>2</sub>/MWh bei Steinkohlekraftwerken und 0,37 t CO<sub>2</sub>/MWh bei Erdgaskraftwerken erzeugt.<sup>11</sup>

Für das Jahr 2020 wird eine Verminderung der spezifischen Emissionen auf 0,95 t CO<sub>2</sub>/MWh bei Braunkohlekraftwerken, 0,74 t CO<sub>2</sub>/MWh bei Steinkohlekraftwerken und 0,30 – 0,37 t CO<sub>2</sub>/MWh bei Erdgaskraftwerken prognostiziert. Würden diese Verbesserungen nicht eintreten, lägen die Emissionen der für 2020 prognostizierten Stromproduktionsmenge beim erwarteten Strommix um 37 Millionen t CO<sub>2</sub>/a höher. Für das Jahr 2020 wurden Prognosewerte des Stromerzeugungsmix verwendet, um den Effekt der Wirkungsgradverbesserung zu separieren und den Mixeffekt aus der Betrachtung auszuschließen. Bei einer zunehmenden Bedeutung von Gas würden die Emissionen zusätzlich reduziert, was erst durch Stahl-Pipelines ermöglicht wird.

<sup>9</sup> EWI (2005), Siemens (2009) u. a.

<sup>10</sup> EWI (2005), Platts (2009) u. a.

<sup>11</sup> EWI (2005)

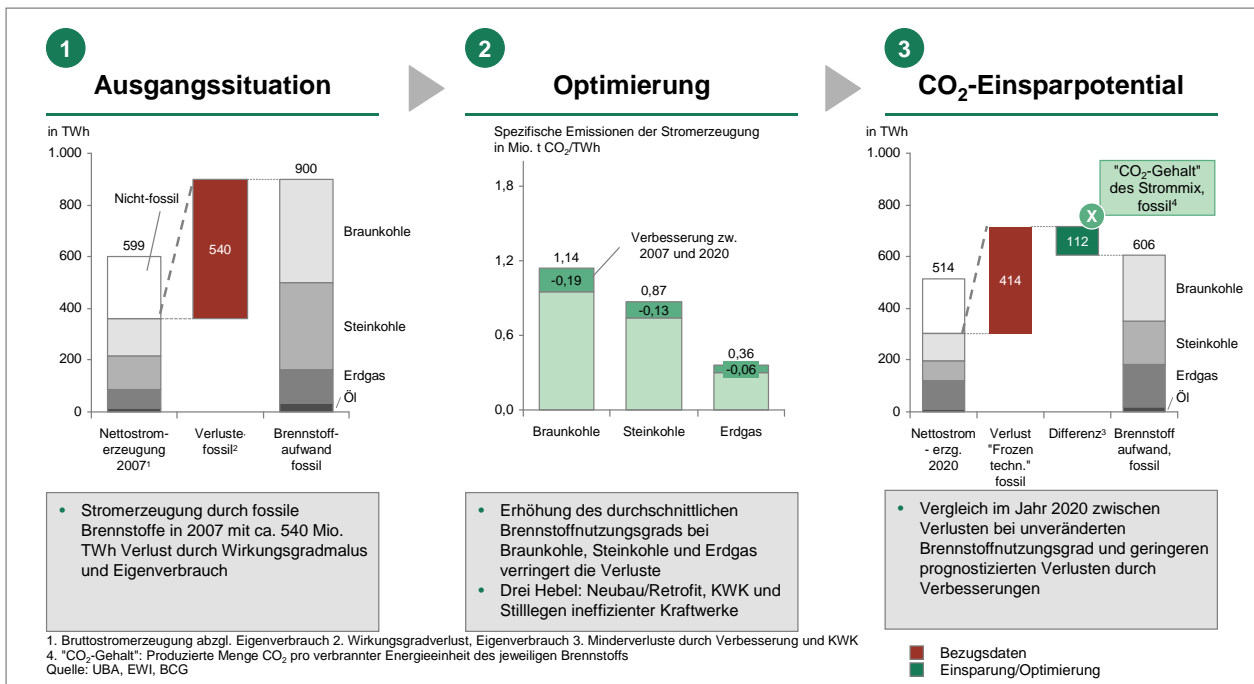


Abbildung 8: CO<sub>2</sub>-Reduktion bei fossilen Kraftwerken durch Effizienzgewinne

Im Rechenmodell wurde ein Neubau von 13 GW Gaskraftwerken, 6,5 GW Steinkohle- und 4,6 GW Braunkohlekraftwerken unterstellt. Der entsprechende Materialaufwand zur Installation der Kraftwerke und die korrespondierenden CO<sub>2</sub>-Emissionen zur Materialerzeugung und Produktbereitstellung wurden quantifiziert und auf eine typische Lebensdauer fossiler Kraftwerke von 35 Jahren umgelegt. So ergibt sich eine CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion durch Stahlinnovationen und -komponenten bis 2020 von ca. 37 Mt CO<sub>2</sub>. Daraus folgt für die Effizienzsteigerung fossiler Kraftwerke ein Verhältnis zwischen CO<sub>2</sub>-Emissionen im Jahr 2020 und umgelegtem Aufwand für Stahl allein von 400 : 1.

Der spezifische CO<sub>2</sub>-Ausstoß eines Kraftwerks resultiert aus dem Kohlenstoffgehalt des Brennstoffs und dem elektrischen Wirkungsgrad des Kraftwerks. Je höher der durchschnittliche elektrische Wirkungsgrad, desto weniger fossile Brennstoffe müssen zur Erzeugung des Stroms

verbrannt werden. Der durchschnittliche Wirkungsgrad wiederum ergibt sich aus den jeweiligen Wirkungsgraden des Kraftwerksbestands. In den vergangenen Jahren hat sich der Wirkungsgrad von Neuanlagen kontinuierlich erhöht und wird sich in Zukunft noch weiter verbessern. Damit führt eine Verjüngung des Kraftwerksparks zu einer Senkung der durchschnittlichen spezifischen Emissionen. Zwischen 2007 und 2020 werden nach Ablauf ihrer geplanten Lebensdauer 26 GW an Kraftwerkskapazität fossiler Kraftwerke stillgelegt. Auch der vorgesehene Ausstieg aus der Kernenergie in Deutschland hat einen Kapazitätsverlust zur Folge. Werden bestehende Kraftwerke nach Ende ihrer Lebensdauer durch neuwertige ersetzt, so bedeutet dies einen Sprung des Wirkungsgrads von ca. 11 – 12 % bei Kohlekraftwerken und ca. 10 % bei Gas- und Dampfkraftwerken. Ein weiterer Ausbau von Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen führt zusätzlich zu Emissionsverminderungen (Details in der Beschreibung der Kraft-Wärme-Kopplung).

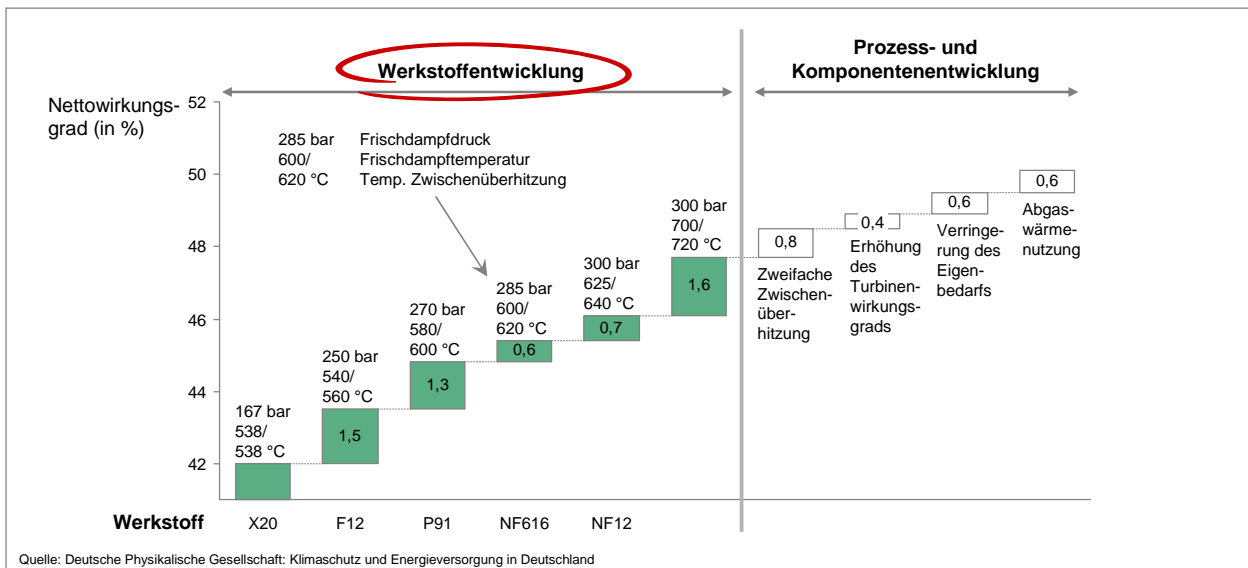


Abbildung 9: Werkstoffentwicklung wirkt sich positiv auf Verbesserung des Wirkungsgrads aus

Bei einem verstärkten Ausbau von Kohlekraftwerken bis 2020 würden die absoluten Emissionen der Stromerzeugungsbranche voraussichtlich weniger stark zurückgehen. Der Beitrag neuer Kohlekraftwerke und damit der Beitrag von

Stahl wäre aber deutlich höher, da bei Kohlekraftwerken aufgrund der höheren spezifischen Emissionen gegenüber Erdgas eine wesentlich stärkere Einsparung stattfände.

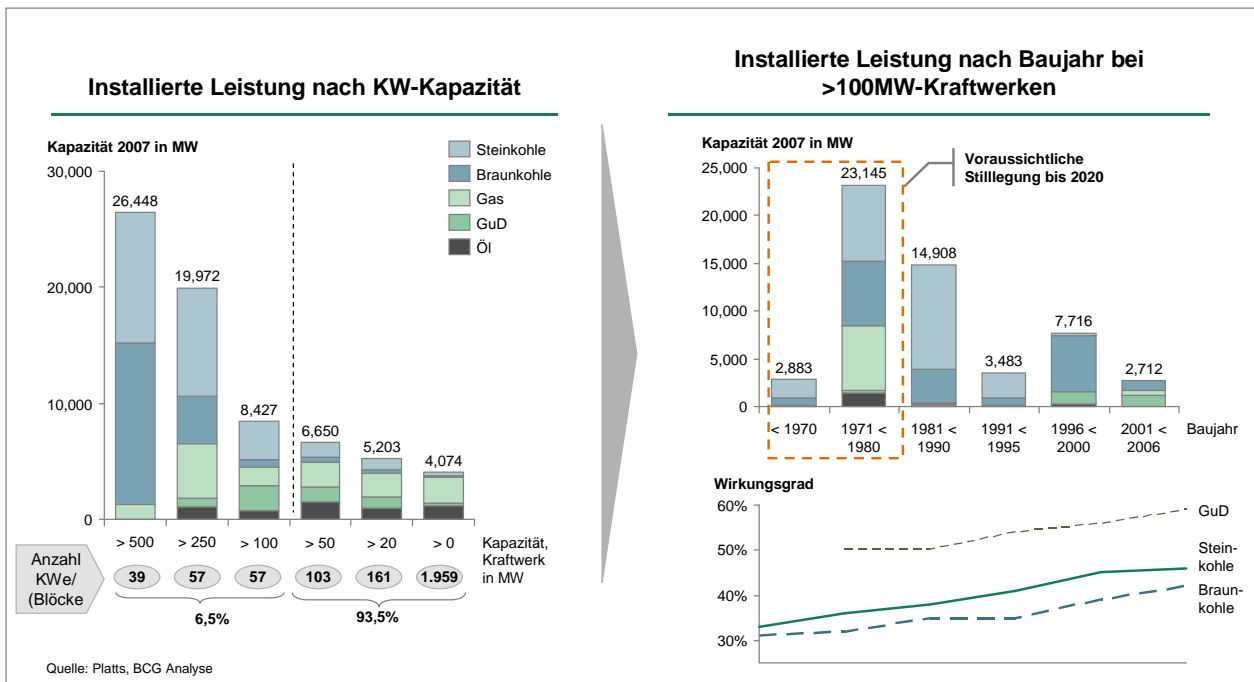


Abbildung 10: Verbesserung der Effizienz fossiler Kraftwerke

### Beispiel: Ausbau der Windenergie

Die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Reduktionspotentiale durch Windkraftwerke geht von folgenden Prämissen aus: Der Anteil der Windenergie am deutschen Strommix hat sich seit Beginn der 90er Jahre auf eine Einspeisung von knapp 40 TWh im Jahr 2007 erhöht. Dies entspricht fast 7 % der Nettostromproduktion. Bis 2020 wird gemäß den politischen Zielsetzungen eine Einspeisung von 76 TWh – und damit knapp 15% Windkraftanteil – angenommen. Für 2020 geben die Klimaziele einen Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung von ca. 25 % vor.

Bei der Berechnung wurden zunächst die Emissionen des prognostizierten Strommix im Jahr 2020 berücksichtigt. Danach wurde angenommen, dass bei einer ab 2007 konstant bleibenden Einspeisung von Strom, der durch erneuerbare Energien erzeugt wird, die „fehlende“ Strommen-

ge durch den verbleibenden Strommix „kompensiert“ werden müsste. In diesem Fall wären die absoluten Emissionen der Stromproduktion deutlich höher und es ergibt sich somit ein Windkraftpotential von ca. 16 Millionen t/a zur Verminderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2020.<sup>12</sup>

<sup>12</sup> EWI (2005), BMU (2008), DENA (2005) u. a.

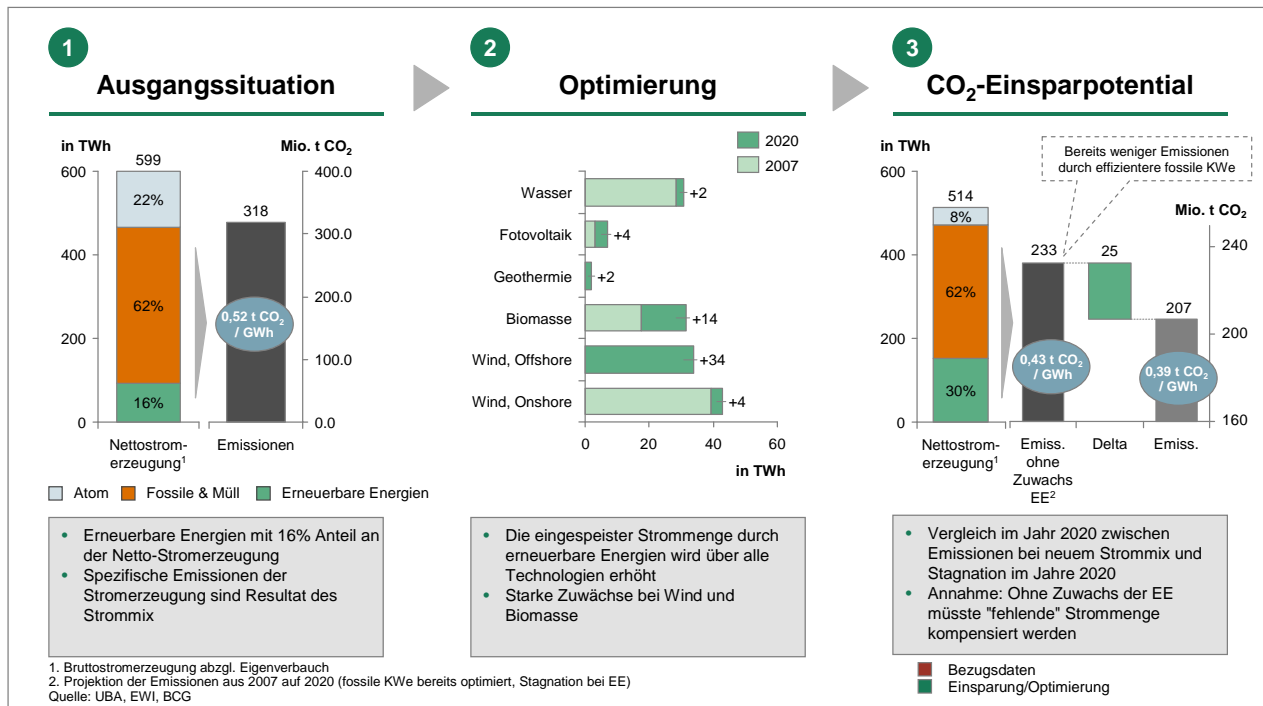


Abbildung 11: Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen der Stromproduktion durch erneuerbare Energien

Windkraftanlagen verdrängen also konventionelle Kraftwerke und führen so zu einer Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen durch die Verbrennung fossiler Energieträger und zu einer Reduktion des spezifischen CO<sub>2</sub>-Ausstoßes des deutschen Strommix. Für den angestrebten Ausbau der Windenergie wird bis 2020 ein Zubau von 1,8 GW an Onshore-Windkraft und 10 GW an Offshore-Kapazität angenommen<sup>13</sup>. Für die Bereitstellung der Windkraftanlagen entstehen bei der Stahlproduktion Emissionen von ca. 9 Millionen t CO<sub>2</sub>. Dieser Aufwand wurde auf eine zwanzigjährige Lebenszeit umgelegt. Daraus ergibt sich für die Windkraftwerke ein Verhältnis zwischen CO<sub>2</sub>-Einsparungen im Jahr 2020 und umgelegtem Aufwand für Stahl allein von 32 : 1. Die bisherige Entwicklung im Bereich der Windkraftwerke hat dazu geführt, dass „onshore“ das flächenmäßige Potential so gut wie ausgeschöpft

ist. Aus Landschaftsschutzgründen ist dieses Potential ohnehin begrenzt. Da moderne Windkraftträder kontinuierlich größer und leistungsfähiger geworden sind, kann durch Ersatz älterer kleiner Windkraftträder noch begrenzt zusätzliches Onshore-Potential erschlossen werden (Repowering). Die Studie geht daher davon aus, dass die Steigerung des Windkraftanteils am deutschen Strommix von derzeit ca. 7 % auf ca. 15 % im Jahr 2020 zu einem großen Anteil aus dem Ausbau der Offshore-Windenergie folgt, deren Entwicklung noch am Beginn steht. Derzeit wird mit *alpha ventus* der erste deutsche Windpark installiert. Gegenüber Onshore-Windrädern haben Offshore-Anlagen unter anderem den Vorteil, dass auf See die durchschnittliche Anzahl der Volllaststunden fast doppelt so hoch ist wie auf dem Land. Zur Erreichung der politischen Zielsetzungen wird für Offshore-Windenergie bis 2020 eine ähnliche Entwicklung angenommen, wie sie für Onshore-Windenergie in den vergangenen Jahren zu beobachten war.

<sup>13</sup> EWI (2008)

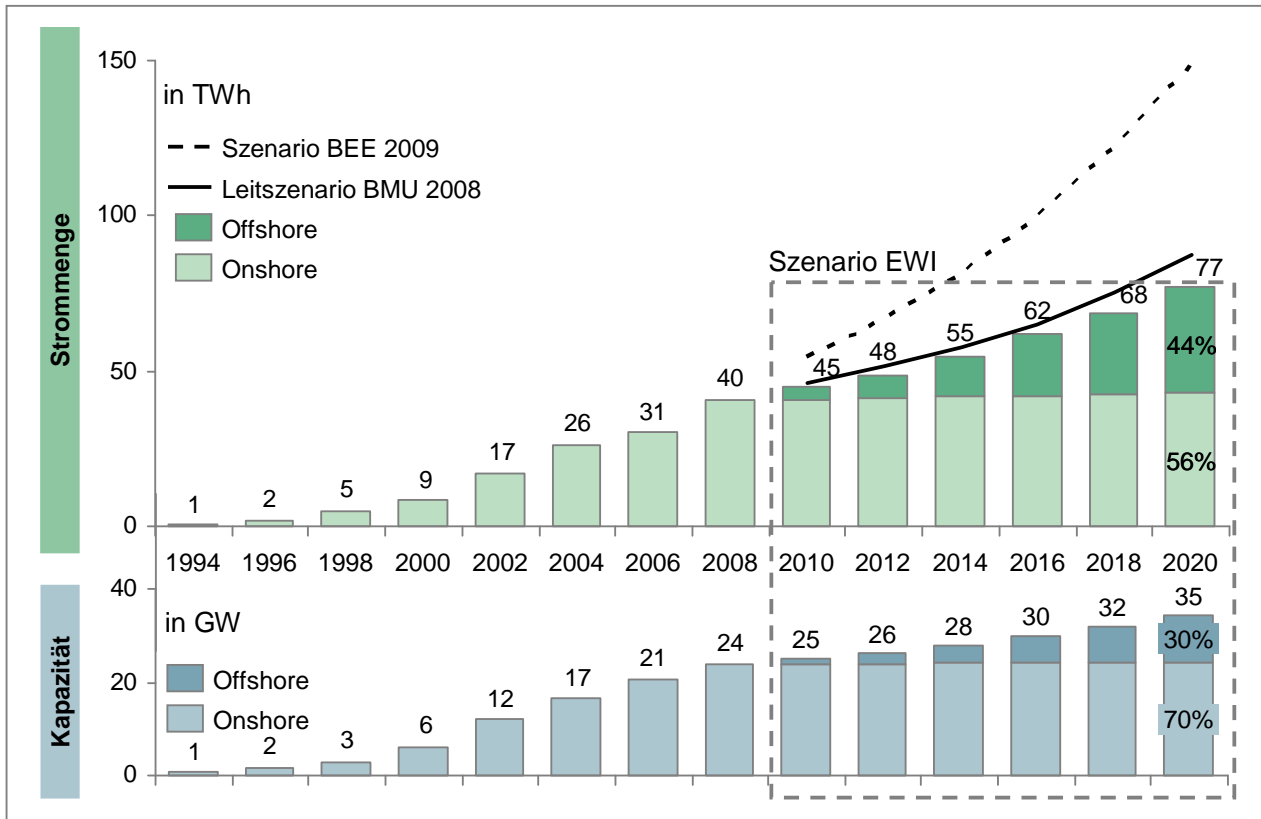


Abbildung 12: Strommenge und Kapazität der Windenergieanlagen in Deutschland von 1994-2020

Bei Onshore-Windrädern bestehen in der Regel Turm, Gondel und das Getriebe des Rotors zum größten Teil aus Stahl. Dies ergibt fast 90 % Materialanteil des Werkstoffs Stahl (exklusive Betonfundament). Bei Offshore-Windanlagen liegt der Stahlanteil noch wesentlich höher als bei Onshore-Windkraftträgern, da hier zusätzlich das Fundament aus Stahl besteht (z. B. Tripods bei alpha ventus). Ein 200-MW-Tripod-Offshore-Windpark besteht aus ca. 100.000 t Stahl. Die Infrastruktur, wie Umspannstation oder Versorgungsschiffe, weist ebenfalls einen erheblichen Stahlanteil auf.

Eine Leitstudie des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit sowie Prognosen anderer Institute sagen einen noch größeren Zuwachs an Windenergie bis 2020 voraus.<sup>13</sup> Bei einem möglichen stärkeren Ausbau von Kohlekraftwerken gegenüber den geplanten Gaskraftwerken bis 2020 wären die Einsparungen noch deutlich höher, da der Mix der durch die erneuerbaren Energien verdrängten fossilen Kraftwerke dadurch höhere spezifische Emissionen (t CO<sub>2</sub>/TWh) hätte als prognostiziert.

<sup>13</sup> EWI (2008), UBA (2007), DEWI (2009) u. a.

### Beispiel: Gewichtsreduktion bei PKWs und LKWs

Die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Reduktionspotentiale durch Gewichtsreduktion bei PKWs und LKWs geht von folgenden Prämissen aus: Der PKW-Verkehr in Deutschland emittierte 2007 ca. 110 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>. Der Verkehr durch LKWs (Fahrzeuge über 3,5 t) war für rund 30 Mt CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Straßenverkehr werden durch den Kraftstoffverbrauch der Fahrzeuge verursacht, welcher wiederum durch die Faktoren Motoreffizienz, Rollwiderstand, Luftwiderstand und Fahrzeuggewicht beeinflusst wird. Eine Gewichtsreduktion bei PKWs ist durch den Einsatz von High-Performance-Stahl für Fahrwerk und Karosserie – etwa durch Verwendung von Tailored Blanks – zu erreichen. Ein Vergleich verschiedener Baureihen zeigt eine Verlangsamung und in den aktuellsten Fahrzeuggenerationen sogar teilweise schon eine Umkehr des historischen Trends zu stetig steigendem Fahrzeuggewicht. Neufahrzeuge verbrauchen ca. 10 % weniger Treibstoff als die bestehende PKW-Flotte in Deutschland. Das Gewicht eines Fahrzeugs ist ein wesentlicher Einflussfaktor für den Benzinverbrauch und damit die CO<sub>2</sub>-Emission (Einsparung bei PKW von ca. 0,35 l/100 kg/100 km).<sup>14</sup>

Die Innovationen der Stahlindustrie in Form hochfester Stahlsorten ermöglichen nun die Produktion erheblich leichter Fahrzeuge. Je nach Bauteil (Rohkarosserie, Türen, Klappen) sind Gewichtseinsparungen von 10 bis 40 % möglich. Die Berechnung in dieser Studie isoliert den Beitrag von Stahl durch Analyse der Reduktionspotentiale des Stahlanteils in Fahrzeugen und betrachtet zusätzliche Effizienzsteigerungseffekte durch Motorwirkungsgrad,  $c_w$ -Wert oder Reifenrollwiderstand nicht. Diese Effekte werden nur

implizit in der prognostizierten CO<sub>2</sub>-Emission pro Fahrzeug berücksichtigt. Für die Lebenszyklusbetrachtung wurde über die durchschnittliche Gesamtjahresfahrleistung von ca. 13.000 km p. a. eines PKW die mögliche CO<sub>2</sub>-Reduktion berechnet. Die Emissionen aus der für die Produktion von PKWs nötigen Stahlerzeugung wurden über die in Deutschland typische Lebensdauer von acht Jahren umgelegt. Damit ergibt sich aus der prognostizierten Gesamtfahrleistung der deutschen Autoflotte im Jahr 2020 von knapp 600 Milliarden Kilometern eine potentielle CO<sub>2</sub>-Reduktion von ca. 11 Millionen Tonnen für den PKW-Verkehr. Der Beitrag des Stahls wird dabei aufgrund der Isolation der Gewichtsreduktion des Stahls auf 100 % geschätzt. Die stahlinduzierten CO<sub>2</sub>-Emissionen zur Produktion der Fahrzeuge summieren sich auf ca. 8 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>. Für 2020 werden knapp 45 Millionen PKWs in Deutschland erwartet. Daraus ergibt sich für die Gewichtsreduktion von PKWs ein Verhältnis zwischen CO<sub>2</sub>-Einsparungen im Jahr 2020 und umgelegtem Aufwand für die Stahlerzeugung allein von 1,3 : 1.<sup>15</sup>

Die Gewichtsreduktion von LKWs wirkt sich nur teilweise auf den LKW-Diesel-Verbrauch aus. Bei vielen Fahrten wird das eingesparte Gewicht als zusätzliche Nutzlast kompensiert. Damit allerdings lässt sich über eine höhere durchschnittliche Beladung der Fahrzeuge die Anzahl der nötigen Fahrten reduzieren. Die Fahrtenreduktion wirkt nur bei voll beladenen Fahrten und Beladung mit kontinuierlich zuladbaren Gütern. Bei Fahrten mit Volumenrestriktion (große Güter mit geringer Dichte, wie z. B. Leergut oder Möbel), Fahrten mit schwerem Stückgut (Maschinen etc.) oder teilbeladenen und leeren Fahrten wirkt

<sup>14</sup> IFEU (2003), IFEU (2006) u. a.

<sup>15</sup> KBA (2009) u. a.

sich nur die Reduktion des Kraftstoffverbrauchs aus. Sie führt zu ca. 1,4 % CO<sub>2</sub>-Einsparungen pro 10 % Gewichtsreduktion und berechnet sich über die anteilige Einsparung (ca. 0,06 l/100 kg/100 km) am Durchschnittsverbrauch der aktuellen LKW-Flotte. Die Reduktion der nötigen Fahrten führt demgegenüber sogar zu einem relativen Effekt von ca. 5,7% CO<sub>2</sub>-Reduktion pro 10 % Gewichtsreduktion. Im LKW-Verkehr ist somit

über die genannten Hebel eine Einsparung von ca. 1 Million Tonnen CO<sub>2</sub> möglich.

Ebenso wie bei den PKWs wird auch bei den LKWs der Beitrag des Stahls aufgrund der Isolation der Gewichtsreduktion des Stahls auf 100 % geschätzt. Daraus ergibt sich für die Gewichtsreduktion von LKWs ein Verhältnis zwischen CO<sub>2</sub>-Einsparungen im Jahr 2020 und umgelegtem Aufwand für Stahl allein von 1,1 : 1.

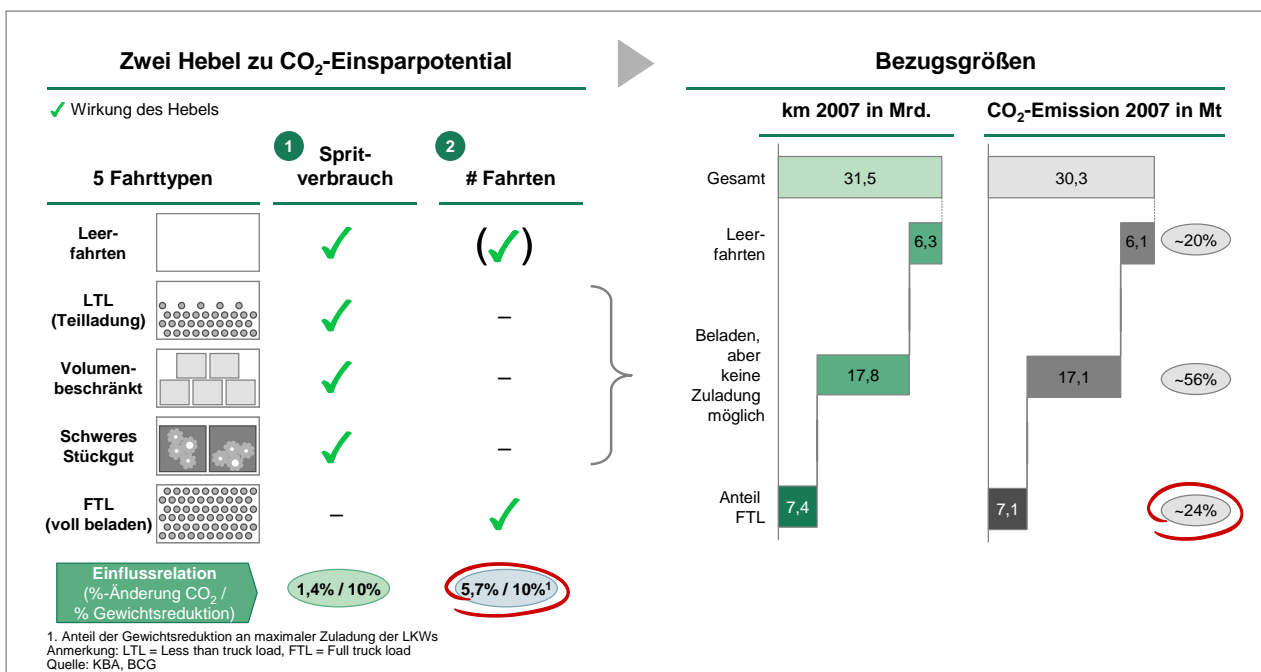


Abbildung 13: CO<sub>2</sub>-Einsparpotential durch Gewichtsreduktion bei LKWs

### Beispiel: Effizientere Transformatoren

Die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Reduktionspotentiale durch effizientere Transformatoren geht von folgenden Prämissen aus: Bei der Stromübertragung und -verteilung entstehen Verluste im Stromnetz und bei der Verteilung in Transformatoren von ca. 4 – 4,5 % der Bruttostromerzeugung (Stromproduktion der Kraftwerke nach Eigenverbrauch). 2007 gingen ca. 25 TWh bei der Übertragung und Verteilung von Strom verloren, was in etwa der Leistung von drei konventionellen Kohlekraftwerken entspricht und bei den für 2020 geschätzten spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen

ca. 13 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> verursacht.<sup>16</sup> Der Großteil der Verluste entsteht im Niederspannungsnetz auf der Ebene der Verteiltransformatoren durch Blindleistung. Die Verluste am ersten Transformator sind aufgrund sehr hoher Wirkungsgrade und Auslastung relativ gering. Bei der Übertragung entstehen zwar relevante Verluste, welche aber durch Stahlanwendungen nicht oder kaum beeinflussbar sind.

<sup>16</sup> AGEB (2008), VDE (2008)



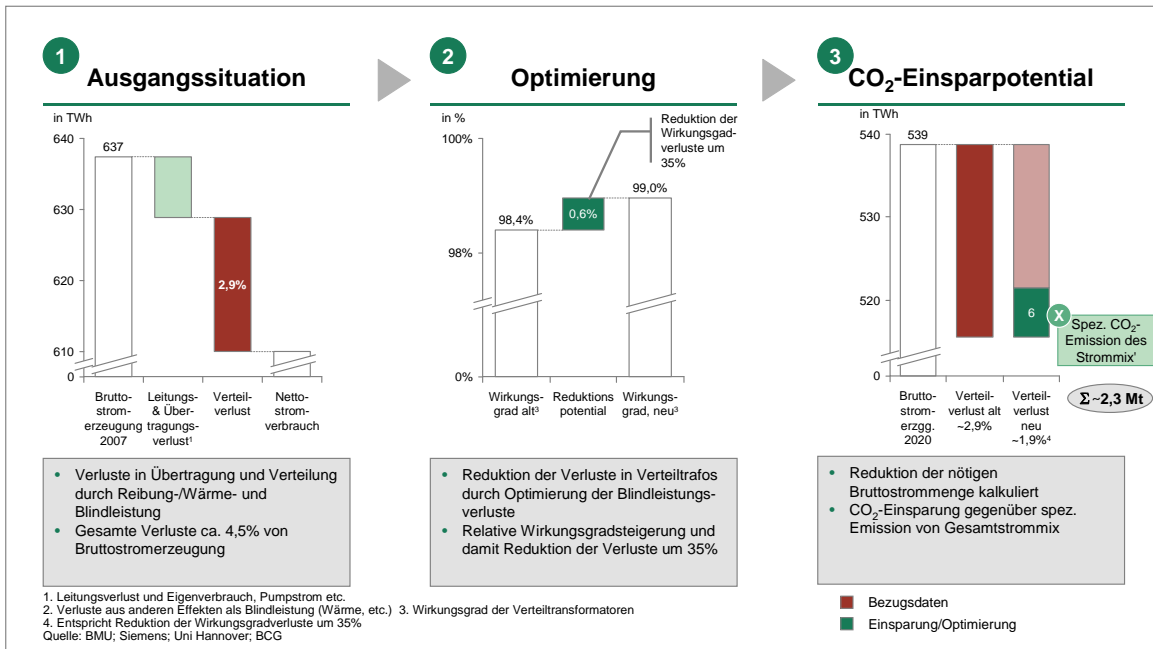


Abbildung 14: Fallbeispiel Transformatoren – CO<sub>2</sub>-Reduktion durch Verlustminderung

Verluste in der Stromübertragung und -verteilung resultieren primär aus Reibung, Wärme und Blindleistung. Der Wirkungsgrad eines konventionellen Verteiltransformators liegt zwar bereits bei über 98 % und ist primär begrenzt durch die physikalischen Eigenschaften des Stahlkerns. Durch moderne kornorientierte Stahlkerne ist jedoch eine relative Verringerung der Verluste um etwa 35 % möglich. Um bei stark ausgelasteten Anwendungen wie Transformatoren niedrige Ummagnetisierungsverluste zu erreichen und hohen Ansprüchen an Permeabilität gerecht zu werden, wird Stahl mit möglichst einheitlicher Orientierung der Kristallite erzeugt, d. h. kornorientierte (KO) Bänder.<sup>17</sup>

Theoretisch ist eine Reduktion der Blindleistungsverluste von bis zu zwei Dritteln gegenüber konventionellem Stahl möglich.<sup>18</sup> Stahlinnovationen erhöhen also den Wirkungsgrad der Transformatoren durch Spezialstahl und verringern

damit die entstehenden Verluste auf der Verteilenebene.

Durch Stahlinnovationen im Bereich der Transformatoreffizienz könnten im Jahr 2020 gegenüber 2007 ca. 2,3 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> weniger emittiert werden. Für die Berechnungen der Studie wurde der Stahlbeitrag wegen des großen Einflusses der Stahlkerne auf den Wirkungsgrad der Transformatoren und wegen der Ausschließlichkeit der Nutzung von Stahl als Werkstoff auf 90 % geschätzt. Die CO<sub>2</sub>-Reduktion ergibt sich über eine Verminderung der nötigen Bruttostrommengen durch geringere Verluste. Der optimierte Stahl ist zwar teurer, aber durch Reduktion der Verluste rechnen sich die Investitionen schon nach kurzer Zeit. Die aktuellen Erneuerungsraten von ca. 3 % der installierten Basis pro Jahr müssten allerdings deutlich erhöht werden, um bis 2020 das volle Potential zu erreichen. Daraus ergibt sich im Bereich der Transformatoreffizienz ein Verhältnis zwischen CO<sub>2</sub>-Einsparungen im Jahr 2020 und umgelegtem Produktionsaufwand von 14 : 1.

<sup>17</sup> SEEDT (2008), Dt. Kupferinstitut (2007) u. a.

<sup>18</sup> VDE (2008), SEEDT (2008)

### Beispiel: Kraft-Wärme-Kopplung

Wärmeenergie spielt besonders in Haushalten (Raumwärme, Warmwasser) und Industrie (Prozesswärme) eine große Rolle. Bei Haushalten macht die Raumwärme etwa 80 % des Gesamtenergiebedarfs aus. Die Wärmenachfrage wird in Zukunft zwar durch aktuelle Entwicklungen im Bereich der Wärmedämmung und der Niedrigenergiehäuser sinken, aber trotzdem eine wesentliche Rolle bei der Energieerzeugung spielen. Durch Kraft-Wärme-Kopplung wird die Abwärme in Kraftwerken zur Stromerzeugung als Wärmeenergie nutzbar. Heißes Wasser oder Dampf aus Kraftwerken wird über Rohrleitungsnetze zu den Endverbrauchern transportiert und dort über Wärmetauscher an die Wärmeversorgung angeschlossen. Die Brennstoffausnutzung bei der gleichzeitigen Erzeugung von Strom und Wärme kann bis zu 90 % betragen. Die Bundesregierung strebt an, den Anteil von Kraft-Wärme-Kopplung an Strom- und Wärmeerzeugung zu verdoppeln, und fördert die Stromerzeugung durch Kraft-Wärme-Kopplung finanziell. Zur Nutzung von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen werden der gleichzeitige Bedarf an Strom und Wärme sowie die Nähe zum Endverbraucher angenommen.

Wachstumsfeld für den Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen sind vor allem dezentrale Blockheizkraftwerke (BHKW) zur Erzeugung von Nahwärme für Siedlungen, große Gebäude, Schwimmbäder oder Industrieparks. Auch Mini- und Mikro-KWK-Anlagen für einzelne Gebäude oder Haushalte werden in Zukunft verstärkt eingesetzt werden. Dabei wird als Nebenprodukt zur Wärmeerzeugung Strom für die Objektversorgung miterzeugt. Diese Anlagen sind allerdings in der Quantifizierung dieser Studie nicht berücksichtigt, da hier kein Leitungsnetz und damit re-

levante Mengen Stahl zur Wärmeübertragung benötigt wird.<sup>19</sup>

KWK-Anlagen erhöhen durch Abwärmtransport in Stahlrohren den Gesamtwirkungsgrad fossiler Kraftwerke. Für die Wärmeerzeugung aus KWK-Anlagen werden geringe zusätzliche CO<sub>2</sub>-Emissionen der Wärmeenergie zugeschlagen (Zuschlag berechnet nach der finnischen Methode<sup>20</sup>). Durch diese Stahlanwendung werden im Jahr 2020 gegenüber 2007 ca. 10 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> weniger emittiert. Der Stahlbeitrag hierbei wird aufgrund des großen Einflusses der Stahlrohre auf die Realisierbarkeit von KWK-Anlagen und der Ausschließlichkeit der Nutzung von Stahl als Werkstoff auf 90 % geschätzt. Zum Ausbau des Netzes ist eine zusätzliche Trassenlänge von ca. 50.000 km notwendig. Für die Rohrleitungen wird ein Stahlgewicht von ca. 450 t/km angenommen. Stahlinduzierte Emissionen aus der Produktion der Röhren werden über einen Lebenszyklus von 40 Jahren verteilt. Daraus ergibt sich im Bereich Kraft-Wärme-Kopplung ein Verhältnis zwischen CO<sub>2</sub>-Einsparungen im Jahr 2020 und umgelegtem Produktionsaufwand für Stahl allein ~~Der angestrebte~~ KWK-Zubau erfordert jedoch intensive politische und wirtschaftliche Anstrengungen, netzgebundene Wärme bei zurückgehender Wärmenachfrage in den Haushalten deutlich auszuweiten.

---

<sup>19</sup> IEA (2009)

<sup>20</sup> Berechnung des Zuschlags unter Vergleich zu separater Erzeugung von Wärme und Strom, siehe auch TU Dresden (2008)

<sup>21</sup> BMU (2008), AGFW (2008), UBA (2007) u. a.

**Exkurs 3: Bedeutung von Stahlrecycling und Materialeffizienz am Beispiel von Verpackungs Dosen**

Die Auswahl von Werkstoffen in den verschiedensten Anwendungen wird vermehrt unter Umweltaspekten und Lebenszyklusbetrachtungen getroffen. Stahlprodukte sind durch Wiederverwertbarkeit und vergleichsweise einfache Trennbarkeit von übrigen Materialien in nahezu jeder Anwendung zu einem sehr hohen Anteil praktisch verlustfrei recycelbar. Das Recycling von Stahlprodukten spart bis zu zwei Drittel Energie ein. Außerdem führt es zu einer Optimierung des Ressourceneinsatzes und damit zur Schonung natürlicher Ressourcen.<sup>22</sup>

Ein anschauliches Beispiel für Stahlrecycling lässt sich im Verpackungsbereich finden. Verpackungen aus Stahl sind besonders relevant für den Recyclingkreislauf durch die vergleichsweise kurze Lebensdauer der Produkte. Durch eine Verringerung der Blechdicken bei Lebensmittel- und Getränkedosen wurden in den letzten Jahren erhebliche Materialeffizienzgewinne realisiert und dadurch CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Stahlproduktion vermieden. 2008 wurden über 90 % aller Weißblechverpackungen recycelt. Kunststoffe weisen demgegenüber die niedrigste Recyclingquote bei den gängigen Verpackungsmaterialien auf. Während der Verpackungsverbrauch in den letzten zehn Jahren in Deutschland um insgesamt 20 % gestiegen ist, sank der Stahlanteil am Verpackungsverbrauch im selben Zeitraum kontinuierlich.

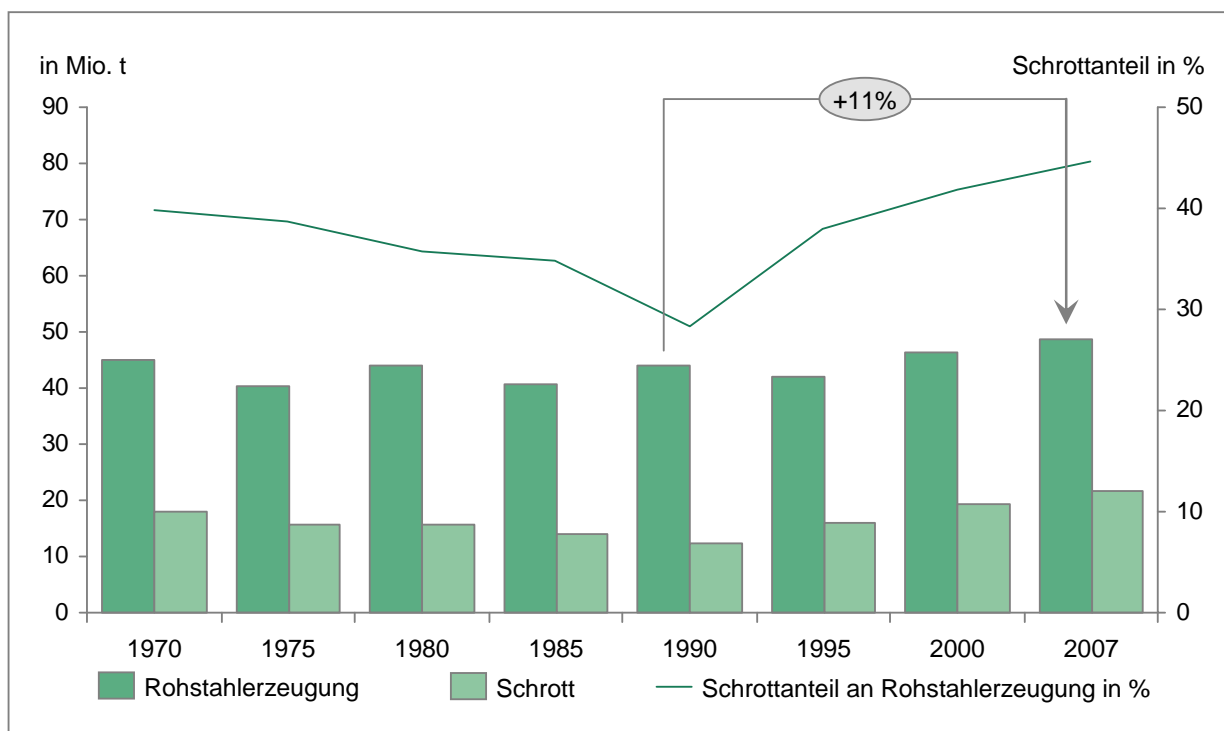


Abbildung 15: Entwicklung Rohstahlerzeugung und Schrottanteil in der deutschen Stahlindustrie

<sup>22</sup> Philipp, Still, Volkhausen (2003)

---

## Quellenverzeichnis

- AGEB (2008), Energieverbrauch Jahresbericht, <http://www.ag-energiebilanzen.de/viewpage.php?idpage=1>
- AGFW (2008), AGFW-Report
- BAG (2008), Prognose Güter- und Personenverkehr,  
[http://www.bag.bund.de/cln\\_010/nn\\_46210/DE/Home/homepage\\_\\_node.html\\_\\_nnn=true](http://www.bag.bund.de/cln_010/nn_46210/DE/Home/homepage__node.html__nnn=true)
- BAST (2008), Verkehrsdaten aus Deutschland,  
[http://www.bast.de/cln\\_007/DE/Home/homepage\\_\\_node.html?\\_\\_nnn=true](http://www.bast.de/cln_007/DE/Home/homepage__node.html?__nnn=true)
- BEE (2009), Wege in die moderne Energiewirtschaft
- BMU (2008), Leitstudie 2008, [http://www.bmu.de/erneuerbare\\_energien/downloads/doc/42383.php](http://www.bmu.de/erneuerbare_energien/downloads/doc/42383.php)
- BMU (2008), Weiterentwicklung der Ausbaustrategie Erneuerbare Energien
- BMW (2009), Energiedaten gesamt (xls),  
<http://www.bmw.de/BMWi/Navigation/Energie/energiestatistiken.html>
- DENA (2005), Netzstudie Studie I
- DENA (2009), Kurzanalyse der Kraftwerks- und Netzplanung in Deutschland bis 2020 (mit Ausblick auf 2030)
- Deutsche Physikalische Gesellschaft (2005), Klimaschutz und Energieversorgung in Deutschland
- Deutsches Kupferinstitut (2007), Verteiltransformatoren
- DEWI (2009), Status der Windenergienutzung in Deutschland
- Ehrenberg, A.; Geiseler, J. (1997), Ökologische Eigenschaften von Hochofenzement – Lebenswegphase Produktion
- European Commission (–), Improving the Penetration of Energy-Efficient Motors and Drives
- EWI (2005), Energiewirtschaftliches Gesamtkonzept 2030
- GVM (2009), Entwicklung der Verwertungsquoten Verpackungsverbrauch
- IEA (2007), Fuel-Efficient Road Vehicle Non-Engine Components
- IEA (2009), CHP and DH—Sustainable Energy Technologies for Today and Tomorrow
- IEA (2009), CO<sub>2</sub> Emissions from Fuel Combustion
- IFEU Heidelberg (2003), Energy Savings by Lightweighting
- IFEU Heidelberg (2006), Potential Contribution of Light-Weighting to Reduce Transport Energy Consumption
- IPCC (2007), 4<sup>th</sup> Assessment Report
- KBA (2009), Bestand an Personenkraftwagen am 1. Januar 2009
- KBA (2009), Statistische Daten zu Autoflotte, Fahrleistung etc.,  
[http://www.kba.de/cln\\_005/nn\\_124384/DE/Statistik/statistik\\_\\_node.html?\\_\\_nnn=true](http://www.kba.de/cln_005/nn_124384/DE/Statistik/statistik__node.html?__nnn=true)
- KBA (2009), Statistische Daten zu LKW-Flotte, Fahrleistung etc.,  
[http://www.kba.de/cln\\_005/nn\\_124384/DE/Statistik/statistik\\_\\_node.html?\\_\\_nnn=true](http://www.kba.de/cln_005/nn_124384/DE/Statistik/statistik__node.html?__nnn=true)
- Kuckshinrichs (2007), CO<sub>2</sub> Emissions of Global Metal-Industries: The Case of Copper
- Matthias, D. (2003), Ganzheitliche Bilanzierung der Energiebereitstellung für die Aluminiumherstellung
- NASA (2009), NASA GISS Surface Temperature (GISTEMP) Analysis
- Platts (2009), World Electric Power Plants Database
- Progtrans (2007), Güterverkehr Deutschland 2050
- Progtrans (2007), Passenger Transport
-

- 
- Sargent & Lundy (2009), Coal-Fired Power Plant Heat Rate Reductions
- Schweizer Bundesamt für Energiewirtschaft (1997), Verminderung der Verluste von Netztransformatoren
- SEEDT (2008), Strategies for Development and Diffusion of Energy-Efficient Distribution Transformers (SEEDT)—Project Report
- Shell (2009), Shell-PKW-Szenarien
- Siemens (2009), Siemens Energy Kraftwerks- und Turbinenproduktbeschreibung, <http://www.energy.siemens.com/entry/energy/hq/de/?tab=energy#energy.xml-1213565-0-0>
- Specht, E.; Jeschar, R (1995), Kumulativer Energieaufwand bei verschiedenen Produktionslinien von Abwasserrohren aus Steinzeug
- Stein, D.; Brauer, A. (2004), Umweltverträglichkeit Ökobilanz
- ThyssenKrupp (2009), Elektroindustrie unterstützt neue EU-Verordnung zu energiesparenden Elektromotoren und intelligenten Antrieben
- TU Dresden (2008), Ökologische Bewertung von KWK-Anlagen
- Philipp, J; Still, G.; Volkhausen, W (2003), Ökologische Vorteile durch das Recycling von Stahl, Stahl und Eisen 123 Nr. 6/7
- UBA (2003), Klimaschutz in Deutschland bis 2030, <http://www.umweltbundesamt.de/klimaschutz/index.htm>
- UBA (2007), Potenziale von Nah- und Fernwärmenetzen für den Klimaschutz bis zum Jahr 2020, <http://www.umweltbundesamt.de/energie/versorgung.htm>
- UBA (2008), Bestimmung spezifischer Treibhausgas-Emissionsfaktoren für Fernwärme
- UBA (2009), Aufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen in Deutschland im Jahr 2007
- UBA (2009), Energy Efficiency in Electric Motors
- UBA (2009), Ermittlung der Potenziale für die Anwendung der Kraft-Wärme-Kopplung und der erzielbaren Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen, <http://www.umweltbundesamt.de/energie/versorgung.htm>
- UBA (2009), Klimaschutz und Versorgungssicherheit – Entwicklung einer nachhaltigen Stromversorgung
- UNCTAD (2008), United Nations Conference on Trade and Development: Handbook of Statistics
- US Census Bureau (2009), International Data Base on Population, <http://www.census.gov/ipc/www/idb/country.php>
- VA TECH ELIN Transformatoren (2003), Umweltfreundliche Verteiltransformatoren
- VDA (2008), Das Nutzfahrzeug – Umweltfreundlich und effizient
- VDE (2008), Effizienz- und Einsparpotentiale elektrischer Energie
- VIK (2006), CO<sub>2</sub>-Kennzeichnung von Strom aus KWK-Anlagen
- Voestalpine (2008), Ultra-High Strength Hot Rolled Steel Strip—a Contribution to Increase the Payload of Trucks
- World Auto Steel (2009), Advanced High Strength Steel—Application Guidelines
- WV Stahl (2005), Merkblatt 401 – Elektroband und -blech
- WV Stahl (2009), Statistisches Jahrbuch der Stahlindustrie
-