

## **Herausforderungen und Chancen des Transformationsprozesses in der deutschen Industrie bis 2050**

### **Zusammenfassung**

Oliver Lössch, Eberhard Jochem, Felix Reitze, Michael Schön, Felipe Toro, Christian Gollmer, Jürgen Blazejczak, Franz Garnreiter, Ali Hassan, Harald Legler †

Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien GmbH (IREES)

Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien (IREES)

---

**Geschäftsführung**

Dipl.-Ing. Michael Mai und Dipl.-Ing. Michael Schön

**Hauptsitz**

Schönfeldstraße 8

D - 76131 Karlsruhe

Telefon +49 721 – 915 2636 – 36

Fax +49 721 – 915 2636 – 11

[www.irees.de](http://www.irees.de)

**Handelsregisternummer**

Amtsgericht Mannheim HRB 111193

**Bankverbindung**

Sparkasse Karlsruhe-Ettlingen

IBAN: DE48660501010108025198, BIC: KARSDE66

---

**Autoren:**

Dipl.-Phys. Oliver Lösch (Projektleitung),

Prof. Dr. Eberhard Jochem,

Dipl.-Ing. Michael Schön,

Dr. rer. nat., M. Sc. Felix Reitze und

Dr. rer. pol., MBA Felipe Toro

Bitte beachten Sie, dass dieses Dokument aus Umweltschutzgründen auf den zweitseitigen Druck ausgelegt ist.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Motivation: Status Quo und Zielsetzung der Entwicklung industrieller Treibhausgasemissionen .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Handlungsoptionen für die Transformation der deutschen Industrie .....</b>	<b>6</b>
2.1	Grundlegender Wandel der Produktion sowie produktionsseitige Handlungsoptionen .....	6
2.2	Nachfrageseitige Handlungsoptionen .....	10
<b>3</b>	<b>Bedeutung von Außenhandel und Strukturwandel für den Transformationsprozess der deutschen Industrie .....</b>	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>Fazit .....</b>	<b>19</b>
<b>5</b>	<b>Empfehlungen.....</b>	<b>20</b>

## 1 Motivation: Status Quo und Zielsetzung der Entwicklung industrieller Treibhausgasemissionen

Das übergeordnete Ziel dieser Studie ist neben der breiten Problemdarstellung, die Möglichkeiten für eine Transformation der Industrie zu einer klimaverträglichen Produktionsstruktur zu analysieren und daraus erste Empfehlungen für politische Maßnahmen zu entwickeln. Die Teilziele der Studie sind in Kapitel 1.1. der Langfassung dargestellt.

Das nationale Klimaschutzziel für Deutschland sieht eine Reduktion der Treibhausgasemissionen um 80 bis 95 Prozent bis 2050 gegenüber 1990 vor, entsprechend einer Reduktion von 1.248 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalentemissionen (CO<sub>2</sub> äq.) in 1990 auf dann noch circa 62 bis 250 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> äq. in 2050. Der Sektor Industrie trug im Jahr 2014 mit circa 183 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> äq. circa 20 Prozent zu den Gesamtemissionen bei (UBA 2016)<sup>1, 2</sup>. Zwar hat dieser seine Emissionen seit 1990 von 283 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> äq. bis 2014 um 35 Prozent verringert (UBA 2016), jedoch stagnieren die industriellen Treibhausgasemissionen in Deutschland seit 15 Jahren (BMUB 2014). Angesichts dieser Stagnation, der ambitionierten Minderungsziele sowie der aus aktuellen Szenarien resultierenden Einschätzung, dass der Industriesektor seine Emissionen in der Größenordnung des Gesamtziels mindern muss (siehe Kapitel 1.2 der Langfassung) ist eine grundlegende Umwandlung des industriellen Produktionssystems erforderlich.

Viele der Produktionsanlagen der Grundstoffindustriestämme haben sehr lange Reinvestitionszyklen von drei bis vier Jahrzehnten oder sogar darüber hinaus (Marceau et al. 2006; Pauliuk et al. 2012; Arens et al. 2016). Diese Transformation bis 2050 ist eine Innovationschance für die deutsche Industrie und angesichts der notwendigen Reinvestitionen bleibt dafür wenig Zeit. Damit besteht die Gefahr, dass die Emissionsverläufe dieser Anlagen für diese Zeiträume mehr oder weniger festgelegt sind und es zu Lock-In-Effekten kommt, die das Erreichen der Emissionsziele deutlich erschweren.

Aktuelle Modellstudien zeigen mittels verschiedener Zielszenarien die notwendige Treibhausgasemissionsminderung der Industrie im Verhältnis zum angestrebten Gesamtziel. Für diese Untersuchung wurden die Studien „Klimaschutzszenarien 2050“ (Öko-Institut, Fraunhofer ISI, 2015), die „Energierferenzprognose“ (Prognos, EWI, GWS, 2014a) sowie „Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050“ (UBA, 2014b) ausgewertet.

### ***Vergleich der wesentlichen Ergebnisse der untersuchten Szenarien***

Die Energierferenzprognose untersucht nur die Energiebedarfsentwicklung der Industrie und daher emissionsseitig nur energiebedingte Treibhausgasemissionen. Prozessbedingte Emissionen (2014 etwa 61 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> äq.) werden nicht untersucht. Die Studie Treibhausgasneutrales Deutschland geht von einer Minderung um 95 Prozent (UBA 2014) aus. Es handelt sich dabei um eine technologieorientierte Machbarkeitsstudie, die keine Rahmendaten benennt und „nur“ eine machbare Ent-

---

<sup>1</sup> Inklusiv 2 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> äq. aus der Produktverwendung (zum Beispiel fluorierte Gase)

<sup>2</sup> Hinzu kommen circa 127 Millionen Tonnen indirekte CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Strombezug

wicklung ohne fossile Energieträger aufzeigen will. Das Referenzszenario „AMS“ (Öko-Institut und Fraunhofer ISI 2015) verfehlt mit einer Minderung um 56 Prozent das Ziel klar. Das Szenario „KS80“ kommt auf eine Minderung um 79,5 Prozent gegenüber 1990, „KS95“ sogar auf eine überproportionale Minderung um 99,5 Prozent. Die Autoren der Studie „Klimaschutzszenarien 2050“ sehen keine Möglichkeit, dass andere Sektoren zu Gunsten des Industriesektors ihre Emissionen überproportional mindern könnten. Das Zielszenario „EnRef ZS“ (Prognos et al. 2014) liegt mit einer Minderung um 64 Prozent in 2050 auf dem Niveau des Referenzszenarios „AMS“ (63 Prozent). Dies ist möglich, weil andere Sektoren demgegenüber überproportional mindern. Daher können die energiebedingten Treibhausgasemissionen im Sektor Industrie hier höher sein als in den Zielszenarien der anderen Autoren.

Die Ergebnisse von Öko-Institut und Fraunhofer ISI zeigen, **dass die Minderung bei den energiebedingten Treibhausgas-Emissionen notwendigerweise über das Gesamtziel von -80 Prozent oder -95 Prozent hinausgehen muss, weil bei den prozessbedingten Treibhausgasemissionen unterstellt wird, dass letztere nicht im gleichen Maße zur Zielerreichung beitragen können.**

Auch bei den prozessbedingten Emissionen ist ein erheblicher Fortschritt gegenüber dem Business-as-usual-Szenario erforderlich. Die Emissionsminderungen fallen in allen Szenarien etwas schwächer aus, was auf der Einschätzung beruht, dass die Reduktion energiebedingter Emissionen einfacher und kostengünstiger ist.

Aus dem nationalen Klimaschutzziel für 2050 und der Analyse der Zielszenarien folgt, dass die Industrie die notwendigen Treibhausgasminderungen nicht durch ein reines Ausschöpfen der - *unter den heutigen Produktionsbedingungen* – bestehenden Möglichkeiten realisieren kann – auch wenn dies natürlich ein sehr wichtiger Aspekt ist – sondern dass neue technische, strukturelle und organisatorische Möglichkeiten durch diverse Akteure innerhalb dieses Innovationssystems (zum Beispiel innovative Technologiehersteller, Forschung und Entwicklung, Intermediäre und so weiter) eröffnet und realisiert werden müssen. Dies bedeutet auch, die Nachfrage nach Produkten und Dienstleistungen unter dem Gesichtspunkt der Treibhausgasemissionen neu zu betrachten.

## 2 Handlungsoptionen für die Transformation der deutschen Industrie

Für die Industrie bedeutet die Transformation zu einem klimaneutralen Wirtschaften, dass es mit dem Ausschöpfen rentabler Effizienzpotenziale nicht getan ist, auch wenn dies selbstverständlich ein wichtiger Teil der Lösung ist. Neue technische, strukturelle und organisatorische Möglichkeiten müssen eröffnet und realisiert werden.

Für die Industrieemissionen ist Folgendes von grundsätzlicher Bedeutung:

- Innovative Prozesssubstitutionen und Prozessoptimierungen inklusive der Adressierung von Prozessemissionen, Abwärme- und CO<sub>2</sub>-Nutzung und CO<sub>2</sub>-Speicherung
- Intensivierung von Materialeffizienz und Materialsubstitution inklusive des Ausbaus einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft und optimierter Produktgestaltung
- die bestmögliche Nutzung von weiteren Energieeffizienzpotenzialen
- eine erhebliche Flexibilisierung der Energienachfrage inklusive Eigenerzeugung
- eine erhebliche Substitution der fossilen Rohstoffe und Energieträger.
- eine Förderung des nachhaltigen Konsums

### 2.1 Grundlegender Wandel der Produktion sowie produktionsseitige Handlungsoptionen

#### Herausforderungen für den grundlegenden Wandel der Produktion

Grundlegende Herausforderungen sind für die deutsche Industrie und das gesamte Innovationssystem hinsichtlich der Entwicklung, Demonstration und Marktdurchdringung technischer und organisatorischer Möglichkeiten für eine signifikante Treibhausgas-Intensitätsminderung - und damit für eine grundlegende Transformation – in Kürze zusammengefasst:

- Die langen Zeitspannen für die Entwicklung und Erprobung von Prozessinnovationen und den Einsatz von besten verfügbaren Technologien (BVT) in der Industrie.
- Die sehr langen Reinvestitionszyklen bei Anlagen der Grundstoffindustrie und auch bei Großkessel- und großen Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (Lebensdauer über 30 Jahre) sind zu beachten, wenn sich die Frage stellt, *wann* bestimmte Handlungsoptionen angegangen werden sollen. Die jeweilige Mindest-Emissionsmenge dieser Anlagen bis 2050 wäre dann bereits festgelegt. Damit wäre auch ein Teil des Gesamt-Emissionspfades von heute bis 2050 bereits festgelegt (Pauliuk et al. 2012; Arens et al. 2016; Marceau et al. 2006).
- Die Wettbewerbsfähigkeit unterschiedlicher Industriezweige sowie Unternehmen und die politischen Rahmenbedingungen – auch im Ausland - gegenüber zukünftigen Investitionsentscheidungen in Deutschland.
- Die Beiträge zur Treibhausgasreduzierung der Materialeffizienz und Materialsubstitution sind aus heutiger Sicht nicht oder nur schwer quantifizierbar. Die hohe Reduktion der Kosten ist eine wichtige Motivation für Innovation bei den Herstellern. Wei-

terhin spielt auch die notwendige Akzeptanz einer Materialsubstitution bei energieintensiven Grundstoffen eine wichtige Rolle; hier sind beispielsweise Sicherheitsaspekte zu nennen.

- Die Beiträge der Energieeffizienz und der Flexibilisierung der Stromnachfrage und Eigenerzeugung hängen von den energiewirtschaftlichen Marktbedingungen und der Überwindung der Hemmnisse bei unterschiedlichen Akteuren im Innovationssystem, vor allem hinsichtlich von Investitionsentscheidungen seitens der Industrie, ab.
- Bei der Substitution von fossilen, emissionsintensiven Energieträgern durch andere fossile oder erneuerbare Energieträger oder Eigenerzeugung (Kraft-Wärme-Kopplung, Organic Rankine Cycle) stellt die Wirtschaftlichkeit der Alternativen, sofern externe Kosten weiterhin vernachlässigt werden, eine besondere Herausforderung dar.
- Der intra- und intersektorale Strukturwandel könnte künftig eine noch größere Bedeutung für die Verminderung der Energienachfrage und damit auch der Treibhausgasemissionen der Industrie spielen. Dies wird letztlich, wenn man die Wertschöpfungsketten bis an ihren Anfang zurückverfolgt, zu einer deutlichen Verminderung des Bedarfs an energieintensiven Grundstoffen führen.

Um Lock-In-Effekte soweit wie möglich zu vermeiden, müssten bereits heute anspruchsvolle technische Standards hinsichtlich des Material- und Energieverbrauchs dieser Anlagen während ihrer Lebensdauer oder bei jeglicher Reinvestition umgesetzt werden. Innovative Produkt- und Prozesssubstitutionen sollten im Innovationssystem zusammen mit der Industrie weiter entwickelt und getestet werden.

Es wäre zu prüfen, ob es Wege gibt, über Landesgrenzen hinweg Kooperationen zur Produktion von Industriegütern zu suchen, wenn diese volkswirtschaftlich für alle Beteiligten und zudem ökologisch sinnvoll sind (siehe Kapitel 3, Seite 29 der Langfassung).

### **Einflussfaktoren für den grundlegenden Wandel der Produktion**

Bis zum Jahr 2050 wird die zunehmende Verflechtung der verschiedensten Wissenschaftsdisziplinen (Mechatronik, Nano- und Kunststofftechnologie (Roes 2011), Bioverfahrenstechnik (Hermann 2010), Bionik, Leichtbau, Maschinenbau, Elektro- und Medizintechnik, etc.) neue Chancen für die Generierung von Innovationen in der Industrie eröffnen (Zweck et al. 2015). Es könnte in manchen Bereichen zu einer Miniaturisierung der Komponenten und Bauteile sowie zu einer verbesserten Abstimmung der Produktion mit individuellen Kundenwünschen kommen. Resultierende Treibhausgas-einsparungen können derzeit schwer quantifiziert werden, hier wären weitere Analysen zu empfehlen.

Durch den rascheren Technologiewandel aufgrund der „Digitalisierung“ der Produktion sowie inkrementeller oder grundlegender Innovationen in verschiedensten Bereichen könnte eine Dynamisierung der Produktlebenszyklen, das heißt eine Verkürzung der Zeit zwischen zwei Produktgenerationen, stattfinden.

### **Technologische Handlungsfelder**

Anhand der durchgeführten Analyse wurde eine erste Priorisierung der diskutierten Handlungsoptionen (siehe Kapitel 3.1 der Langfassung) hinsichtlich ihrer Minderungspotenziale vorgenommen. Ergänzend dazu werden die noch notwendigen Aufwendungen für Forschungs- und Entwicklungsaufwendungen sowie den Markteintritt bzw. die

Diffusion der Handlungsoptionen abgeschätzt. Die nachfolgende Reihung in dieser Zusammenfassung entspricht der Priorisierung der Handlungsoptionen (eine detailliertere Darstellung ist in Kapitel 3.1.6. der Langfassung zu finden).

Um eine möglichst große Wirkung auf das heutige Niveau der Treibhausgasemissionen des Industriesektors zu erzielen müssen auch die aktuellen Prozessemissionen der Industrie beachtet werden.

Bevor die eigentliche Diffusion von **Prozesssubstitutionen- und Prozessoptimierungen** starten kann, muss das Vertrauen der Anwender gewonnen werden; dies kann durchaus zehn Jahre dauern. Bis 2030 sollte daher eine intensivere Forschung zur Optimierung und Weiterentwicklung bestehender und neuer Verfahren zur Produktion energieintensiver Grundstoffe betrieben werden. Auch sollten Demonstrationsanlagen für die Produktion neuartiger Materialien (zum Beispiel innovative Bindemittel als Ersatz für klassischen Zement) im industriellen Maßstab in Betrieb genommen werden (Hermann 2010). Um neue, „transformative“ Technologien zügig einsetzen zu können, bedarf es produktbegleitender Dienstleistungen (wie zum Beispiel Beratung, Planung, Finanzierung, Contracting). Diese sollten daher intensiv mit „Fördern und Fordern“ begleitet werden.

Für die Transformation müssen verstärkt Verfahrensinnovationen zum Einsatz kommen: Membrantechnik zur Stofftrennung, mechanische Trocknung oder innovative Techniken zur Abwärmerückgewinnung (Organic Rankine Cycle-Anlagen, Seebeck-Effekt, Temperatur-Kaskaden, Einspeisung in Wärmenetze). Eine deutliche Reduktion von Produktionsauschuss kann durch verstärkte Simulation der betroffenen Produktionsabläufe (inklusive Einbezug der Zulieferer) erzielt werden (Schubert und Kreysa 2010). Hierzu trägt die Prozessoptimierung durch verstärkten Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien bei. Daran anschließen könnten sich bei Markteintritt eine Informations- und Aufklärungskampagne sowie eine berufliche Fortbildung zu diesen Technologien.

Carbon Capture and Storage (CCS) und Carbon Capture and Usage (CCU) sind unter den **Prozesssubstitutionen- und Prozessoptimierungen** näher zu betrachten und werden derzeit häufig diskutiert, vor allem bezüglich der Frage, wie deren Beitrag zu Emissionsminderungen bis zur Mitte des Jahrhunderts realisiert werden könnte. **Carbon Capture and Usage (CCU)** kann insbesondere in der Grundstoffchemie für eine Reihe von Produktionen von Interesse sein (siehe Carbon2Chem unter Kapitel 3.1.1 der Langfassung). Die technische Reife und wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit von CCU muss sich allerdings erst noch erweisen beziehungsweise vorangetrieben werden. Die Potenziale zur Treibhausgasreduzierung von CCU hängen in erheblichem Maße davon ab, was mit dem genutzten CO<sub>2</sub> geschieht, und darüber hinaus vom ökonomischen Anreiz, beispielsweise durch die Höhe des ETS-Zertifikatepreises. Bei der **chemischen Speicherung von Energie** wird damit letztlich die Substitution fossiler, nicht-fluktuierender Energieträger durch erneuerbare Energieträger ermöglicht und damit werden dauerhafte CO<sub>2</sub>-Minderungen erzielt. Wird das CO<sub>2</sub> jedoch für die Produktion von Produkten genutzt, ist für jedes einzelne Produkt zu prüfen, wie lange das CO<sub>2</sub> tatsächlich gespeichert bleibt und ob und wann es gegebenenfalls wieder in die Atmosphäre freigesetzt wird. Die resultierenden CO<sub>2</sub>-Mengen, durch die verschiedenen CCU-Optionen gemindert werden könnten, sind daher derzeit noch schwer abschätzbar.



Im Unterschied zu den anderen hier dargestellten Optionen ist das oftmals diskutierte **Carbon Capture and Storage (CCS)** als Verdrängungs- und nicht als Vermeidungsoption anzusehen: CO<sub>2</sub> wird als Abfall in unterirdische Formationen gepresst. Aus Unternehmenssicht liegen die Vorteile von CCS auf der Hand: Mit einer „Nachschaltung“ an die eigentliche Produktion müssten die Produktionsverfahren nicht radikal geändert werden, insbesondere für die Minderung der industriellen Prozessemissionen. Die Einlagerung von CO<sub>2</sub> ist jedoch mit Risiken verbunden: die Prozesse, die nach Einpressung in wasserführende Schichten oder ausgebeutete Erdgaslagerstätten ablaufen sind noch nicht hinreichend untersucht. Es ist nicht ausgeschlossen, dass durch Störungen in den Deckschichten das CO<sub>2</sub> (teilweise) wieder freigesetzt werden könnte. Dies macht umfassende geologische Prüfungen und Risikoabschätzungen für jede potentielle Speicherstätte unabdingbar, ohne dass diese absolute Gewähr für Risikofreiheit liefern könnten (Wietschel et al. 2010). Eine „Knappheit“ hinsichtlich der theoretisch möglich erscheinenden Speicherkapazität zur Speicherung von industriellen Prozessemissionen ist laut Wietschel et al. (2010) nicht gegeben; Viebahn et al. (2012) hingegen weisen, als Ergebnis der Auswertung einer Reihe von früheren Studien, eine erhebliche Spannbreite der abgeschätzten verfügbaren Speicherkapazitäten auf. Sollte CCS in industriellem Maßstab eingesetzt werden, müssen die Risiken und externen Kosten der unterirdischen Speicherung abgeschätzt werden.

Eine Reihe von weiteren Ansatzpunkten zur beschleunigten Verminderung industrieller Emissionen bieten die vielfältigen Optionen **der Materialeffizienz, der Materialbeziehungswise Werkstoffsubstitution sowie des Materialdesigns**. Diese erstrecken sich auf den Ausbau einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft mit der Rückführung und dem Recycling gebrauchter Endprodukte sowie dem Recycling aus Deponien (Fehring et al. 2014; Moser-Marzi und Erdelean 2014), auf die Vermeidung der Nachfrage nach emissionsintensiven Grundstoffen, eine optimierte Produktgestaltung und Materialsubstitution bis hin zu einer Nutzungsintensivierung und einem Pooling von Verbrauchs- und Investitionsgütern. Die Vielfalt an Maßnahmen bietet nach ersten Schätzungen erhebliche Möglichkeiten mit einem Treibhausgas-Reduktionspotenzial von etwa 0,5 Prozent beziehungsweise 1,5 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> jährlich (Jochem und Reitze 2014; Jochem et al. 2016).

Häufig werden heutzutage schwere Werkstoffe (zum Beispiel Stahl) durch leichtere Werkstoffe ersetzt, allerdings findet diese Substitution auch in die Gegenrichtung statt. Die reine Substitution eines Werkstoffes durch einen alternativen Werkstoff stellt oft nicht die beste Lösung dar; zielführender ist häufig die Kombination verschiedener Werkstoffe zu einem Verbundwerkstoff (Technica 2014). Heute ist noch nicht abzusehen, welche energieintensiven Grundstoffe wie weit bis 2050 durch alternative Materialien ersetzt werden können.

Bei der **Verminderung der Verluste bei Energiewandlern von Endenergie auf Nutzenergie (inklusive der Verteilung der Nutzenergie)** lassen sich zukünftig noch große Einsparungen innerhalb der gesamten Industrie erzielen. Für einen grundlegenden, transformativen Wandel der Produktion betreffen solche Effizienzverbesserungen in erster Linie die i) Querschnittstechnologien im Bereich Strom (zum Beispiel Elektromotoren mit höherem Wirkungsgrad) und ii) die Querschnittstechnologien im Bereich Wärme- und Kältebereitstellung, zum Beispiel die Wärmeerzeugung in Kesselanlagen und mittels Wärmepumpen.

Die Transformation des Energiesystems und auch der Industrie wird in erheblichem Umfang ein fluktuierendes Stromangebot bedeuten. Neben den verschiedenen, relativ kostspieligen Speicher- und Power to X –Konzepten dürfte die **Flexibilisierung der Stromnachfrage und Stromeigenerzeugung** in Industriebetrieben zukünftig eine wichtige Rolle spielen. Teil eines transformativen Pfades muss daher die Ausschöpfung neuer Möglichkeiten sein, die in vielen Fällen deutlich kostengünstiger sind als die thermischen und chemischen Speichermöglichkeiten für Strom, die heute große Aufmerksamkeit genießen (IREES und ISI 2015). Eine ähnliche Flexibilisierung ist auch im Zusammenhang mit kleinen industriellen Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen, in der Industrie gegeben.

Die **Transformation durch Energieträgersubstitution** bietet erhebliche Minderungspotenziale. Die CO<sub>2</sub>-intensive Kohle wird als reiner Energieträger in der Industrie derzeit ausschließlich in einigen Prozessen und Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen der Grundstoffindustrie eingesetzt und könnte größtenteils durch Erdgas beziehungsweise Flüssiggas (Verminderung circa 8 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr) bis 2020 beziehungsweise 2030 substituiert werden.

Darüber hinaus sollten erneuerbare Energieträger darunter Holzhackschnitzel, organische Abfallstoffe, klimafreundlich erzeugte Fernwärme beim Niedertemperaturbedarf oder Abwärme verstärkt genutzt werden. Auch solarthermische Anwendungen können sinnvolle Optionen für die Industrie bieten. Mittelfristig ist auch Erdgas zu substituieren.

## 2.2 Nachfrageseitige Handlungsoptionen

### Zusammenhang zwischen Nachfrage und Produktion, Entwicklung des Konsums

Die Nachfrage ist für Niveau und Struktur der industriellen Produktion einer Volkswirtschaft mitverantwortlich. Die Strukturwandeleffekte innerhalb einzelner als auch zwischen verschiedenen Branchen sind eng mit der Nachfrage verknüpft. In den letzten circa 25 Jahren ist der Anteil des Konsums an der inländischen Verwendung des Bruttoinlandsproduktes von circa 75 auf 80 Prozent gestiegen und die Bruttoinvestitionen sind von circa 30 auf 25 Prozent zurückgegangen. Zusätzliches Einkommen der privaten Haushalte wird seit Beginn der 90er Jahre (nahezu) ausschließlich für zusätzlichen Konsum aufgewendet: die Sparquote sinkt (Destatis 2015c). Die Ausstattung der privaten Haushalte mit Gebrauchsgütern in den Jahrzehnten seit dem „Wirtschaftswunder“ ist dermaßen gestiegen, dass heute (im Durchschnitt) von Sättigung gesprochen werden kann. Konsum ist heute oftmals entweder Ersatzkonsum oder wird wesentlich durch andere Faktoren als den rein funktionell-materiellen Nutzen mitbestimmt. Veränderte und oftmals kürzere Konsumzyklen sind die Folge. Insgesamt kann also von einer Zunahme der Bedeutung des Konsums gesprochen werden.

Der Industrie (Verarbeitendes Gewerbe) lassen sich insgesamt circa 36 bis 42 Prozent<sup>3</sup> der Konsumausgaben insofern „zuordnen“, als dass diese letztlich durch die industrielle Produktion erst ermöglicht werden beziehungsweise dass die Produktion von Konsumausgaben in dieser Höhe abhängig ist.

---

<sup>3</sup> Zuteilung zu Verarbeitendem Gewerbe mit Hilfe der Fachserie 15 von DESTATIS

Die Bedeutung der durch (privaten) Konsum bedingten (nationalen) Industrieproduktion für die (nationalen) Treibhausgasemissionen zu analysieren ist komplex und kann hier nicht weiter vertieft werden

### **Handlungsoptionen**

Hauptansatzpunkt auf der Nachfrageseite ist letztlich die Kaufentscheidung der privaten Verbraucher. Innerhalb der Industrie verursacht Konsum eine industrielle Zwischennachfrage.

Bei der Nachfrage entlang der industriellen Wertschöpfungskette gibt es einige Hemmnisse, die adressiert werden könnten um die Treibhausgasemissionen zu mindern:

- Durch Anpassung von sehr hohen Qualitätsanforderungen (seitens der Hersteller gegenüber ihren Zulieferern), die nicht durch einen Nutzenmehrwert gerechtfertigt sind, könnten große Einsparungen an Energie und Material erzielt werden. Alternativ könnten zwei Qualitätsstufen angeboten werden.
- Beim Einkauf könnten die Unternehmen durch gezielte Vorgaben die Abnahme von energie- und materialeffizienten Investitions- und Gebrauchsgütern deutlich erhöhen. Diese Nachfragemacht der Unternehmen wird derzeit wenig genutzt. Es gibt mittlerweile den Indikator des „ökologischen Fußabdrucks“, um die Nachhaltigkeit von Lieferanten bewerten zu können; die Unternehmen könnten für ihren Einkauf Mindestwerte vorgeben (Klenk 2009; Liedtke et al. 2013).

Um eine Verringerung der Treibhausgasemissionen zu erzielen ist nachfrageseitig bei Gebrauchsgütern des privaten Konsums eine Verlängerung der Konsumzyklen, das heißt letztlich eine Verringerung der Nachfrage nach neuen Produkten sowie darüber hinaus eine Verschiebung der Nachfrage hin zu nachhaltigeren Produkten, wünschenswert.

### **Handlungsfeld „Verringerung der Nachfrage nach neuen Produkten“**

Insbesondere für die durch „Verlängerung der Lebensdauer“ erzielbaren Erfolge ist es notwendig, dass der Staat wirksame Maßnahmen ergreift, da es hier auch wesentlich auf Änderungen in der Produktion ankommt. Eine aktuelle Studie des UBA (Prakash et al. 2016) zeigt auf, dass Gebrauchsgüter aus verschiedensten Gründen ersetzt werden und dabei verschiedene Obsoleszenzformen (werkstoffliche, funktionale, psychologische) zusammenwirken. Die Debatte um geplante Obsoleszenz von Seiten der Hersteller wird hingegen häufig sehr eindimensional geführt. Die Frage, ob Hersteller generell die Lebensdauer ihrer Produkte bewusst planen, wird jedoch eindeutig bejaht. Die Autoren empfehlen, aufbauend auf der genannten Studie, der Frage welchen Einfluss geplante Obsoleszenz auf den Ressourcenumsatz von Konsumprodukten bezogen auf den Produktnutzen hat, mit weiteren Analysen nachzugehen. Die Erhöhung der Lebensdauer von Konsumprodukten sollte Teil eines nachhaltigen Qualitätsstandards werden. Dazu sollten sowohl Maßnahmen zur Einhaltung bestimmter Mindeststandards hinsichtlich der Lebensdauer von spezifischen Produktgruppen als auch Maßnahmen zur Verbesserung der Transparenz geprüft werden. Auch eine Optimierung der Reparatur- sowie Nach- und Umrüstkfähigkeit von Produkten wäre nützlich für die Verlängerung der Lebensdauern. Die Lebensdauer sowie die Reparatur-, Nach- und Umrüstkfähigkeit der Produkte sollten den Verbrauchern verpflichtend transparent gemacht werden.

Die unter dem Begriff „Nutzen statt Besitzen“ zusammengefassten Konzepte können ebenfalls vom Staat unterstützt werden. Er sollte prüfen, wie bereits bestehende Regularien so angepasst werden können, dass diese für neue Geschäftsmodelle und nicht-kommerzielle Initiativen keine Hindernisse darstellen. Die Konsumenten und die Wirtschaft sollten ebenso in die Verantwortung genommen werden. Für nicht-kommerzielle Initiativen (zum Beispiel Leih- und Verschenkläden) sind darüber hinaus staatliche Förderprogramme, Informationskampagnen und Fortbildungsangebote denkbar.

### **Handlungsfeld „Verschiebung der Nachfrage hin zu nachhaltiger produzierten Waren“**

Die Politik kann mit verbindlichen Effizienzstandards und begleitenden Transparenzmaßnahmen für die Verbraucher zur Förderung eines „Top-Runner-Konsums“ beitragen. Deutschland kann und sollte eine führende Rolle bei der Weiterentwicklung der Ökodesign-Richtlinie einnehmen. Auch Verbote, wie zum Beispiel das von der europäischen Union (EU) bereits beschlossene Verbot von Plastiktüten, können an manchen Stellen helfen. Darüber hinaus sollten die Verbraucher bei ihrer Entscheidungsfindung unterstützt werden. Die vielfältigen Vorteile bezüglich des regionalen Konsums oder zum Beispiel der Substitution von Produkten aus petrochemisch basiertem Kunststoff durch solche aus nachwachsenden Rohstoffen sollten mit Hilfe breiter Informationskampagnen sowie in der beruflichen Aus- und Fortbildung vermittelt werden.

### 3 Bedeutung von Außenhandel und Strukturwandel für den Transformationsprozess der deutschen Industrie

Der Transformationsprozess der deutschen Industrie wird auch von Struktureffekten und der Entwicklung des Außenhandels beeinflusst. Jahrzehntlang war der Export die entscheidende, zeitweise gar einzige Antriebskraft für das Wachstum der deutschen Industrie. Der Exportüberschuss vervierfachte sich zwischen 2000 und 2014 auf knapp 220 Milliarden Euro (Destatis 2015a). Die meisten Ökonomen gehen davon aus, dass die Dynamik des Welthandels die des Binnenmarktes in Deutschland auch in Zukunft übertrifft. Demnach würde über Einkommen und Beschäftigung weiterhin wesentlich auf den internationalen Märkten mitentschieden. Die internationale Wettbewerbsfähigkeit ist daher die Nagelprobe für die Leistungsfähigkeit der deutschen Wirtschaft (Legler et al. 2000). Das Wirtschaftswachstum in den Schwellenländern, insbesondere in China und Indien, hat bereits erhebliche Rückwirkungen auf die deutsche Industrie. Hohe Innovationsraten in den exportorientierten Branchen und der Erhalt der Standortvorteile Deutschlands sind daher besonders wichtig: hoher Ausbildungsstandard, Nähe zwischen Forschung und innovativen Unternehmen, hohe Produktivität und Produktqualität (Nusser 2008; Gerke, B., Legler, H. 1997), eine leistungsfähige Infrastruktur sowie stabile Rahmenbedingungen.

#### Struktur deutscher Exporte

Die Regionalstruktur der deutschen Exporte ist nicht sehr günstig, da die Verflechtung mit Ländern mit geringem Steigerungspotenzial (Europa) bereits hoch ist und die Lieferanteile in hochdynamische Länder relativ gering sind. Die EU-Länder hatten 2014 mit 771 Milliarden Euro einen Anteil von fast 60 Prozent an den deutschen Exporten<sup>4</sup>, während die Nicht-OECD-Länder nur 19 Prozent der deutschen Exporte erhalten, darunter China 6,7 Prozent.

Im Gegensatz hierzu ist die Güterstruktur der deutschen Exporte als positiv einzuschätzen. Dies spricht für eine weiterhin bedeutende Rolle Deutschlands im Welthandel. Deutschlands Spezialisierungsvorteile sind vor allem im Bereich der „hochwertigen Technologien“ zu sehen, gekennzeichnet durch den Einsatz von Forschung und Entwicklung, hochqualifizierten Facharbeitern und verschiedensten Innovationen. Die Produktionen hochwertiger Technologien, beispielsweise Kraft- und Schienenfahrzeuge, Maschinen, Chemische Erzeugnisse, ist von den Spitzentechnologien wie beispielsweise Medikamente, neuere Kunststoffe, Mess-, Steuer- und Regeltechnik abzugrenzen. Die erstgenannten sind zwar überdurchschnittlich forschungsintensiv, reichen diesbezüglich aber nicht an die Spitzentechnologien heran.

Folgende Industriebranchen sind derzeit besonders bedeutend (Destatis 2015a):

- *Kraftwagen und Kraftwagenteile*: der Anteil am Gesamtexport nach Europa betrug 2014 circa 15 Prozent, am Export nach Asien gut 22 Prozent und mehr als 26 Prozent jeweils nach Amerika und Australien/Ozeanien.
- *Maschinenbau*: Anteile am Gesamtexport nach Europa rund 12 Prozent und nach Afrika und Asien gut 20 Prozent.

---

<sup>4</sup> gemessen am Wert der exportierten Waren

- *Erzeugnisse der chemischen Industrie*: Anteile am Gesamtexport nach Europa, Afrika, Amerika, Asien jeweils circa 8 bis 10 Prozent.
- *Sonstige Waren*: Exportanteil nach Europa rund 6 Prozent. Bei den Exporten nach Asien sind auch *elektrotechnische Ausrüstungen* mit knapp 8 Prozent wichtig.

### **Exporte und Wettbewerbsfähigkeit deutscher Klima- und Umweltschutzgüter**

Die Klima- und Umweltschutzindustrie entspricht sehr gut dem Anforderungsprofil an die deutsche Industrie im internationalen Wettbewerb, das sich aus ihren Standortfaktoren ergibt: Sie ist weitgehend in forschungsintensiven Industrien verankert und baut auf ein hohes qualifikatorisches Potenzial ihrer Beschäftigten. Allerdings sind auf den entsprechenden Märkten vielfach noch nationalstaatliche Regelungskompetenzen vorherrschend. Ein stark expandierendes Welthandelsvolumen ist bei Klima- und Umweltschutzgütern daher kein Automatismus (DIW et al. 2007; Gehrke und Schasse 2015; Legler et al. 2006). Die Ausfuhrdynamik von deutschen Klimaschutzgütern ist seit etwa 2010 unterbrochen und der im Ausland erzielte Umsatzanteil hat nachgegeben.

Zwischen 2008 und 2013 fiel das jährliche Wachstum der deutschen Ausfuhren von Klimaschutzgütern mit 1,4 Prozent deutlich geringer aus als bei Industriewaren insgesamt (2,6 Prozent), wenn auch mit schrumpfendem Abstand (Gehrke und Schasse 2013). Noch ist ihr Anteil mit rund 1,9 Prozent der exportierten Industriewaren gering.

Deutsche Exporteure hatten bei Klimaschutzgütern 2013 einen Welthandelsanteil von 13 Prozent (kaum verändert gegenüber 2002), bei Gütern zur rationellen Energieverwendung war er mit 14,6 Prozent etwas höher. Bei Mess-, Steuer- und Regeltechnik hatte Deutschland mit 21,8 Prozent einen besonders hohen Weltmarktanteil.

Klimaschutzgüter haben derzeit ein Exportvolumen zwischen 20 und knapp 30 Milliarden Euro oder 2 bis 3 Prozent der Gesamtexporte der deutschen Industrie. Bezieht man die Exportzahlen der Klimaschutzgüter auf die Exporte der Branchen Maschinenbau, Datenverarbeitung sowie elektronischer und optischer Messgeräte mit einem Exportvolumen von in Summe 255 Milliarden Euro, dann haben die Klimaschutzgüter signifikante Anteile von knapp 8 bis 12 Prozent.

### **Grundsätzliche zukünftige Entwicklungen des Welthandels**

Hohe Wachstumsraten in den Zielländern bedeuten grundsätzlich zugleich auch eine Ausweitung der Absorptionskapazität für Waren deutscher Herkunft. Allerdings ist auch zu erwarten, dass Schwellenländer (insbesondere China) mit zunehmendem Wachstum verstärkt geschlossene Wertschöpfungsketten aufbauen werden, um Wertschöpfung im Inland zu halten. Aufgrund des zu erwartenden enormen Wachstums dieser Märkte kann angenommen werden, dass der Bedarf an Hoch- und Spitzentechnologie nicht vollständig inländisch befriedigt werden wird, sodass Potenzial für ein zusätzliches Wachstum deutscher Exporte in diese Märkte besteht.

Es kommt gemäß einer Fortschreibung von Daten des IWF zukünftig zu einer deutlichen Verschiebung der Anteile am Welt-Bruttoinlandprodukt mit Konsequenzen für Niveau und Struktur der deutschen Exporte (IMF 2014; Fouré et al. 2012; Fouré et al. 2013). Der Anteil der EU geht von knapp 26 Prozent im Jahr 2010 auf 14 Prozent im

Jahr 2050 zurück. Die BRICS<sup>5</sup>-Länder hätten demnach 2050 einen Anteil von gut 37 Prozent (China allein gut 23 Prozent), fast so viel wie die EU-Länder heute.

Im Folgenden werden Ergebnisse eines Trendszenarios der OECD zu einer möglichen Entwicklung des internationalen Handels bis 2060 dargestellt<sup>6</sup> (Chateau et al., 2014). Das Verhältnis von globalem Exportwachstum zum Wirtschaftswachstum, die Exportelastizität, lag zwischen 1970 und 2008 deutlich über eins. Bei den Projektionen bis 2060 wurde angenommen, dass das globale Wachstum weniger stark als bisher handelsgetrieben sein wird. Die globale Exportelastizität bleibt größer als eins, wird aber etwas geringer sein als in der Zeit vor 2008. Das Verhältnis Welthandel zu Welt-Bruttoinlandprodukt würde von heute gut 25 Prozent bis 2060 auf fast 45 Prozent ansteigen.

Die Exporte der Eurozone würden bei einer Fortsetzung der Trends der Vergangenheit in 2060 noch 12 Prozent aller Exporte ausmachen, gegenüber 19 Prozent in 2012. Die deutschen Exporte dürften absolut weiterhin moderat wachsen, da die Exportmärkte insgesamt weiterhin wachsen, auch wenn die relativen Handelsanteile der Eurozone abnehmen.

Die Veränderungen der Struktur der Weltexporte zeigen auch, mit welchen Ländern Deutschland zukünftig auf internationalen Märkten konkurriert. Afrikanische Länder und Indien gewinnen langfristig Weltmarktanteile, mittelfristig bis 2030 vor allem China und weitere asiatische Länder.<sup>7</sup> Während heute noch fast die Hälfte des Welthandels zwischen OECD-Ländern stattfindet, dürfte es laut diesem Szenario im Jahr 2060 nur noch ein Viertel sein. Wenn die oben beschriebene Struktur der Zielländer deutscher Exporte unverändert bleibt, sinkt in Zukunft der deutsche Weltmarktanteil daher deutlich. Dies wäre allerdings aus nationaler Sicht akzeptabel, soweit die deutsche Exportwirtschaft ihren Anteil an der inländischen Wertschöpfung erhalten könnte.

### **Chancen und Risiken für die deutsche Industrie**

Für die deutsche Industrie ergeben sich bei einer weltweiten Transformation zu einer nachhaltigen Industrieproduktionsstruktur auch neue Exportchancen insbesondere bei Technologien der Energieeffizienz und der erneuerbaren Energien (Gehrke und Schasse 2015). Roland Berger Strategy Consultants gehen davon aus, dass der Anteil der Umweltschutztechnologien am deutschen Bruttoinlandprodukt von 11 Prozent im Jahr 2011 auf über 20 Prozent im Jahr 2025 ansteigen dürfte (Roland Berger Strategy Consultants 2014). Der Weltmarkt für Umwelttechnologien soll sich bis 2025 auf über 4.400 Milliarden Euro gegenüber heute (2.100 Milliarden Euro) mehr als verdoppeln. Dabei könnten die deutschen Exporteure ihren derzeitigen globalen Marktanteil an den Umwelttechnologien von durchschnittlich 15 Prozent halten. Dieses Segment hätte ein jährliches Wachstum von 5 Prozent.

Allerdings gibt es **Risiken für einige der bisher erfolgreichen Exportbranchen:**

- Eine weltweit zunehmende Ausschöpfung der Innovationspotenziale bei markt-gängigen chemischen Erzeugnissen bedeutet, dass andere Wettbewerbsfaktoren

---

<sup>5</sup> BRICS: Abkürzung steht für Brasilien, Russland, Indien, China und Südafrika

<sup>6</sup> Das hier ausgewertete Szenario verknüpft makroökonomische Projektionen mit einem sektoral disaggregierten Handelsmodell.

<sup>7</sup> Der Welthandelsanteil Chinas geht nach 2030 in den hier ausgewerteten Szenarien zurück.

an Bedeutung gewinnen (Arbeits-, Energie- und Umweltkosten). Die Aufnahme eines Wettbewerbs mit China und anderen um die günstigsten Lohn- und Energiekosten kann als aussichtslos angesehen werden. Aber selbst die forschungsintensiven Sparten der Chemieindustrie konnten ihre Position gegenüber der ausländischen Konkurrenz (China, Korea) nicht behaupten. Bei forschungsintensiven Organika ist Deutschland mittlerweile Nettoimporteur (Rammer et al. 2015).

Zukünftig wird es also darauf ankommen, auf innovative neue Technologien und Produkte zur Erreichung des gewünschten Nutzens zu setzen.

- Im Maschinen- und Anlagenbau sinken die Marktanteile ausländischer Exporteure erheblich, weil die steigende Nachfrage der Schwellenländer (zum Beispiel in China) in zunehmendem Umfang inländisch bedient wird. Dies muss nicht zwangsläufig mit sinkenden absoluten Exporten einhergehen. Anders als in anderen Industrieländern hat der deutsche Maschinenbau die Exportoffensiven von China und Korea bisher ohne Verluste an Handelsanteilen überstanden. Er hat auch mit am stärksten von der steil expandierenden chinesischen Nachfrage nach Maschinen und Anlagen profitiert. Insbesondere (auch regenerative) Kraftwerke und Spezialmaschinen sind die Träger dieser Entwicklung (IW Consult 2015). Forschung und Entwicklung ist im Maschinenbau kein guter Indikator für die Innovationsaktivitäten, da Entwicklung und Produktion häufig Hand in Hand gehen und die Aufwendungen hierfür statistisch nicht separierbar sind. Besser wird man dem Maschinenbau gerecht, wenn man vom Anteil hoch qualifizierter Erwerbstätiger, vom Patentgeschehen oder von den europäischen CIS-Erhebungen (Community Innovation Survey des ZEW) ausgeht, die für Deutschland eine Position in der internationalen Spitzengruppe nachweisen.
- Die Elektrotechnische Industrie/Elektronik gehört zu den traditionell exportstarken und wettbewerbsfähigen deutschen Industriezweigen. Die Welthandelsposition ist allerdings partiell ins Wanken geraten, die Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen entsprechen nicht dem Niveau eines forschungsintensiven Industriesektors in Deutschland. Das erklärt sich vor allem durch die Schwäche der grundsätzlich besonders wachstumsstarken Sparten Datenverarbeitung/ Elektronik/Nachrichtentechnik, während die weniger expansive „klassische“ Elektrotechnik und die Mess-, Steuer- und Regeltechnik/Optik ihren Stand auf dem Weltmarkt noch geringfügig verbessern konnten. Gerade im Informations- und Kommunikationssektor wirkt sich der kurze Produktlebenszyklus aus: Produkte geraten sehr rasch in die „Imitationsphase“, in der nicht mehr Innovationen, sondern allein die Produktionskosten über die Wettbewerbsfähigkeit entscheiden. So ist die Endgerätefertigung beinahe komplett in Entwicklungs- und Schwellenländer verlagert worden.

Die wachstumsfördernde Funktion des Exports innovationsintensiver Produkte wird erhalten bleiben, wenn die deutsche Industrie ihre Wettbewerbsvorteile systematisch erhalten kann und sie die bestehenden Risiken adressiert. Da diese Industriezweige meist sehr energieintensiv sind, besteht über den Erhalt der Exportfähigkeit und den damit verbundenen Strukturwandel hin zu diesen Branchen die Möglichkeit, die Energie- und Emissionsintensität der deutschen Industrie insgesamt zu vermindern. Es ist darauf zu achten, dass die Exporte in die Schwellenländer absolut zunehmen. In vielen Exportbranchen ist von einem steigenden Anteil von produktbegleitenden Dienstleistungen an der Wertschöpfung auszugehen. Solche Dienstleistungen können die Wert-



schöpfung eines Industrieunternehmens erhöhen; sie werden zunehmend zu „Mothers of Invention“ und zu Treibern des intra-industriellen Strukturwandels. Die ökologisch nachhaltig produzierten Produkte der exportstarken und energieextensiven Branchen würden auch den Transformationsprozess in den belieferten Ländern unterstützen. Zudem würde die steigende Nachfrage nach diesen Produkten zu Lern- und Skaleneffekten bei den deutschen Herstellern führen und ihre Wettbewerbsposition festigen.

### **Möglichkeiten einer aktiven Strukturwandelpolitik**

Der Strukturwandel ist – neben der technischen Energieeffizienz - ein wesentlicher Indikator, um die Entwicklung der Energieintensität und der spezifischen Treibhausgasemissionen der Wirtschaft zu erklären. Dabei ist zwischen inter- und intra-industriellem Strukturwandel zu unterscheiden. Der inter-industrielle Strukturwandel beschreibt Verschiebungen zwischen den Anteilen einzelner Branchen an der gesamten Industrie, gemessen beispielsweise in Anteilen am Bruttoinlandsprodukt der Industrie; ein überproportionales Wachstum nicht-energieintensiver Branchen führt hier zu einer Verringerung der spezifischen Emissionsintensität der industriellen Produktion als Ganzem. Intra-industrieller Strukturwandel tritt innerhalb einzelner Branchen auf und führt zu Änderungen der Energie- und/oder Emissionsintensität der Produktion dieser Branchen; Beispiele für Einflussfaktoren sind hier zunehmende produktbegleitende Dienstleistungen.

Angesichts des Strukturwandels zu Dienstleistungen und energieextensiven Branchen stellt sich die Frage, ob die Politik dies unterstützen könnte, um die Energie- und Emissionsintensität der Industrie schneller zu mindern. Der klimapolitisch erwünschte Strukturwandel ist in Deutschland seit den 1980er Jahren zu beobachten (Morovic et al. 1987). Zwischen 1995 bis 2012 hat er gemeinsam mit technischen Effizienzgewinnen zur Stagnation des industriellen Primärenergiebedarfs geführt (Destatis 2015b, 2015c). Die Bruttowertschöpfung der Industrie stieg in diesem Zeitraum um 34 Prozent, sodass die Energieintensität der Industrie um 1,7 Prozent pro Jahr zurückging. Dieser Rückgang der Energieintensität in der Industrie geht mit 870 Petajoule (gut 0,8 Prozent pro Jahr) durch strukturelle Effekte zwischen den untersuchten 19 Branchen und 830 Petajoule (knapp 0,8 Prozent pro Jahr) durch höhere Energieeffizienz und mehr produktbegleitende Dienstleistungen fast zu gleichen Teilen auf beide Effekte zurück.

Die Energieintensität der Grundstoffindustrien ist durchschnittlich um deutlich mehr als den Faktor 10 höher als in den wachstumsstarken energieextensiven Branchen. Viele der wachstumsstarken Industriebranchen haben Energiekostenanteile am Bruttoproduktionswert unter 1,2 Prozent. Diese Branchen sind mit den Grundstoffindustrien über den Bedarf an Stahl, Nicht-Eisen-Metallen oder Kunststoffen verflochten. Der durch ein Wachstum der energieextensiven Branchen bedingte Zusatzbedarf könnte aber durch stringente Maßnahmen der Materialeffizienz und -substitution überkompensiert werden, sodass eine absolute Minderung der Treibhausgasemissionen resultiert. Für den Zeitraum 2014 bis 2030 kann man davon ausgehen, dass der bisherige Strukturwandel zwischen den 19 beobachteten Industriebranchen von 0,8 Prozent pro Jahr als unveränderter Treiber auch weiterhin „autonom“ wirksam sein dürfte.

Mehrere Analysen aus der letzten Zeit weisen darauf hin, dass ein politisch unterstützter Strukturwandel - durch mehr Materialeffizienz und -substitution sowie Nutzungsinintensivierung (Pooling) und Lebensdauerverlängerung - zu einem geringeren Wachstum

der Grundstoffindustrieweige führen könnte und dieser Strukturwandel alleine durch die verschiedenen, oben genannten Optionen der Materialeffizienz zu einer jährlichen Reduktion der Treibhausgasemissionen um circa 1,5 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> (bzw. 0,5 Prozent pro Jahr) im Zeitraum bis 2030 führen könnten. Dies entspräche einer Reduktion der derzeitigen industriellen Emissionen um 7 Prozent (Jochem et al. 2004; Jochem und Reitze 2014; Kristof und Hennicke 2010; Milford et al. 2011; Allwood et al. 2013). Hinzu käme eine Reduktion von Prozessemissionen bei einigen Grundstoffen durch effizientere Verwendung dieser. Für 2030 bis 2050 wird geschätzt, dass sich sowohl der „autonome“ als auch der zusätzlich erzielbare Strukturwandel halbieren dürften, weil bestimmte Materialeffizienz- und -substitutions-Potenziale abnehmen oder sich erschöpft haben (zum Beispiel Materialrecycling). Für den Zeitraum 2030 bis 2050 würde dies eine durch Strukturwandelexeffekte (0,25 Prozent pro Jahr autonom, 0,25 Prozent pro Jahr politisch induziert) hervorgerufene Minderung der energiebedingten Emissionen von insgesamt 10 Prozent bedeuten.

## 4 Fazit

Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass die Industrie ihre Treibhausgasemissionen in erheblich stärkerem Maße reduzieren muss, als dies in der Vergangenheit der Fall war; während die Emissionen in den vergangenen 15 Jahren stagnierten, ist in den kommenden knapp 35 Jahren bis 2050 eine erhebliche absolute Reduktion der Industrieemissionen erforderlich. Die Emissionsminderungsszenarien bis 2050 zeigen die Dimension der Herausforderung. Um diese bewältigen zu können, braucht es mehr als „nur“ die Nutzung der derzeit rentablen und offensichtlichen Effizienzpotenziale. Es geht vielmehr um die Transformation der deutschen Industrie hin zu einem klimaneutralen Wirtschaften.

Die vorliegende Untersuchung macht deutlich,

- dass zum Erreichen des nationalen Klimaschutzziels 2050 erhebliche Mehranstrengungen des Industriesektors gegenüber dem bisherigen Minderungspfad erforderlich sein werden (vergleiche Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** der Langfassung);
- dass es eine Vielzahl von technischen Minderungsoptionen gibt, die bisher nicht hinreichend genutzt werden, und dass auch die Nachfrage für die Emissionen der Industrie eine erhebliche Rolle spielt (vergleiche Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** der Langfassung);
- dass zugleich erhebliche Wissenslücken hinsichtlich der Treibhausgasminderungspotenziale dieser Minderungsoptionen sowie ihres Forschungs- und Entwicklungsbedarfs bestehen (Kapitel 3 der Langfassung);
- dass die Entwicklung der Weltmärkte und des Außenhandels beachtet werden muss, wenn sich die Frage stellt, ob und wie die deutsche Industrie auch ökonomisch von der notwendigen (auch internationalen) Transformation profitieren kann (vergleiche Kapitel 4 der Langfassung);
- dass der Strukturwandel innerhalb der deutschen Industrie auch zukünftig eine erhebliche Rolle für die Minderung der Treibhausgasemissionen spielen kann (vergleiche Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** der Langfassung).

## 5 Empfehlungen

Aus der vorliegenden Analyse folgen erste Empfehlungen für die Bundespolitik. In vielen Fällen besteht weiterer Analyse- und Forschungsbedarf, um zu konkreteren Empfehlungen für Politikmaßnahmen zu kommen.

### ***Übergreifende Empfehlungen für den Industriesektor***

#### **Mögliche Etablierung eines verbindlichen sektoralen Emissionsziels für die Industrie**

Der derzeitige Emissionspfad der deutschen Industrie ist weit davon entfernt, auch nur annähernd eine Zielerreichung in 2050 zu ermöglichen. Aufgrund der teilweise sehr langen Reinvestitionszyklen in der Industrie von mehreren Jahrzehnten duldet das Umsteuern hier keinen Aufschub, um einen „Lock-In-Effekt“ von Emissionsverläufen zu verhindern. Die Politik sollte daher der Industrie Verantwortung hinsichtlich ihrer eigenen Emissionen zuweisen, um das Erreichen der Klimaschutzziele zu ermöglichen. Dies könnte auch ein rechtlich verbindliches, sanktionierbares sektorspezifisches Emissionsziel für das Verarbeitende Gewerbe beinhalten. Die Definition eines solchen sektoralen Emissionsziels ist jedoch eine fachliche Herausforderung. Es stellen sich beispielsweise die Fragen, ob auch branchenspezifische oder produktspezifische Subziele definiert werden sollten, auf welchen Datengrundlagen das Monitoring aufsetzt und welche Steuerungsmechanismen ein solches Ziel erfordern würde. Darüber hinaus wird sich die Frage stellen, wie sich ein solches Ziel zu dem auf europäischer Ebene durch den Emissionshandel vorgegebenen Emissionspfad der betroffenen Branchen verhalten würde. Auch die typischen Reinvestitionszeiten der für die Emissionsentwicklung wesentlichen Branchen müssten berücksichtigt werden. Die Entwicklung der Industrieemissionen (stagnierend, aber nicht wachsend) in den vergangenen fünfzehn Jahren zeigt, dass der bisherige Politikansatz in Deutschland, der im Wesentlichen auf Freiwilligkeit, Informationsvermittlung und finanzielle Anreize setzt, durchaus erfolgreich ist – aber eben *bei weitem* nicht erfolgreich genug, um die Emissionsentwicklung der Industrie auf einen zielkonformen Pfad zu bringen.

#### **Harmonisierung der Entlastungen sowie wirksame Gegenleistungen**

Viele Unternehmen sind derzeit teilweise oder (nahezu) vollständig von der Zahlung von Energie- und Stromsteuern sowie verschiedener Umlagen auf den Strombezug befreit. Dies wird mit der Wahrung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit energieintensiver Unternehmen begründet. Die Entlastungsregelungen sind zahlreich, umfangreich und haben ganz unterschiedliche Anspruchsvoraussetzungen. Dies führt bei den Unternehmen zu einem erheblichen Aufwand. Grundsätzlich sollten nur diejenigen Unternehmen anspruchsberechtigt sein, die sowohl energieintensiv sind, als auch im internationalen Wettbewerb stehen. Die Entlastung von staatlichen Preiskomponenten für Energie stellt für sich genommen einen klimapolitischen Fehlanreiz dar. Ökonomischer Druck zu effizienter Produktion sowie die Rentabilität von Energieeffizienzmaßnahmen in den betroffenen Unternehmen werden gemindert. Um Fehlanreize auszugleichen, sind klimapolitisch wirksame Gegenleistungen der Unternehmen erforderlich. Bislang beschränkt sich dies bei den heute geltenden Entlastungsregelungen auf die Einführung von Energiemanagementsystemen, die rein formal ohne Maßnahmenumsetzung gehandhabt werden kann. Eine Reihe von Entlastungen, wie die allgemeine

Reduktion der Energiesteuer um 25 Prozent für Unternehmen des Produzierenden Gewerbes sowie die Nicht-Erhebung von Energiesteuern auf eine Reihe besonders energieintensiver Prozesse, werden bislang ohne jegliche Gegenleistung gewährt.

Alle Entlastungstatbestände sollten hinsichtlich der folgenden Punkte geprüft werden:

- Harmonisierung der Anspruchsvoraussetzungen
- Gewährung nur für Unternehmen, die energieintensiv und handelsintensiv sind
- Einführung klimapolitisch wirksamer, wirtschaftlich rentabler Gegenleistungen

Die Prüfung und Novellierung der Entlastungstatbestände sollte, um deren Bedeutung sowohl für die Unternehmen als auch für die Klimapolitik für den Sektor Industrie Rechnung zu tragen, Ergebnis einer planvollen und wissenschaftlichen Herangehensweise sein und darüber hinaus alle Betroffenen mit einbeziehen. Die Prüfung und Novellierung muss darüber hinaus konsistent mit anderen möglichen Maßnahmen (zum Beispiel Einführung eines Sektorziels) ausgestaltet werden.

### **Unterstützung eines klimapolitisch sinnvollen Strukturwandels**

Ein Strukturwandel hin zu nicht energie- und materialintensiven Industrie- und Konsumstrukturen kann durch staatliche wie auch private Akteure unterstützt werden. Hierzu werden insbesondere folgende Maßnahmen und Aktivitäten empfohlen:

- Auf Seiten der Nachfrage nach energieintensiven Grundstoffen kann durch die verschiedenen Formen von Materialeffizienz und –substitution die Produktion dieser Grundstoffe und damit einhergehende Emissionen vermindert werden.
- Auf Seiten der Investitions- und Gebrauchsgüter-Hersteller kann es zu vielen produktbegleitenden Dienstleistungen kommen (zum Beispiel Finanzierung, Beratung, Wartung, Instandhaltung, aber auch Mobilitätsleistungen anstelle von Fahrzeugverkauf). Derartige Entwicklungen lassen den physischen Produktionsbedarf entweder langsamer wachsen oder gar stagnieren und dennoch kann die Wertschöpfung in der betroffenen Branche zunehmen. Bei diesen Prozessen sind auch die betroffenen Wirtschaftsverbände, die Industrie- und Handelskammern oder die Wirtschaftsförderer auf regionaler und lokaler Ebene zu integrieren. Akteursübergreifende Information und Fortbildung wären hier von Bedeutung.
- Auf Seiten der Konsumenten wären die Informations- und Bildungsmaßnahmen hinsichtlich nachhaltiger Konsummuster von Bedeutung. Dies kann über die Schulen und über Informationskampagnen erfolgen. Für Letzteres könnte die Bundesregierung Pilotprojekte im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative (NKI) fördern.

### **Analyse kommender Reinvestitionen**

Die oftmals jahrzehntelangen Reinvestitionszyklen spielen bei der Modernisierung der Produktionsanlagen und damit auch bei der Umsetzung von Maßnahmen zur Reduktion von Treibhausgasemissionen in den Unternehmen, insbesondere in der emissionsintensiven Grundstoffindustrie, eine besonders bedeutende Rolle. Für die Minderung der Treibhausgasemissionen der deutschen Industrie bis 2050 wird es also entscheidend sein zu wissen, welche Anlagen wo und wann in den kommenden Jahrzehnten absehbar stillgelegt oder reinvestiert werden. Aufbauend auf diesen Informationen könnte die Politik Maßnahmen treffen, um eine aus klimapolitischer Sicht optimale Entscheidungsfindung der Unternehmen zu beeinflussen. Dies könnten beispielsweise Investitionszuschüsse für die Nutzung von bester verfügbarer Technik (BVT) oder auch ordnungspolitische Maßnahmen sein. Eine genauere Analyse der wahrscheinlichen

Reinvestitionen könnte auch eine frühzeitige fachlich fundierte Abwägung der Interessen der Industriepolitik (Bewahrung inländischer Produktion) mit denjenigen der Klimapolitik (nationale und globale Emissionssenkung) ermöglichen.

### **Stärkung der nachfrageorientierten Klimapolitik und des nachhaltigen Konsums**

Mit dem „Nationalen Programm für nachhaltigen Konsum“ gibt es jetzt erstmals einen Ansatzpunkt für eine kohärente Adressierung des nachhaltigen Konsums. Dieser Ansatz sollte verstetigt und ausgebaut werden, die Maßnahmen des Programms sollten künftig konkreter und klarer definiert beziehungsweise beschrieben werden. Insbesondere die Erhöhung der Lebensdauer von Gebrauchsgütern könnte ein Ziel und ein Ansatzpunkt für die nationale, aber auch die europäische Klimaschutzpolitik sein. Sowohl ordnungsrechtliche Maßnahmen zur Einhaltung bestimmter Mindest-Standards hinsichtlich der Lebensdauer von spezifischen Produktgruppen als auch Maßnahmen zur Verbesserung der Transparenz sollten geprüft werden. Die Politik kann mit verbindlichen Effizienzstandards und Informations- und Transparenzmaßnahmen für die Verbraucher zur Förderung eines „Top-Runner-Konsums“ beitragen.

### **Branchen- und technologiespezifische Empfehlungen**

#### **Branchenspezifische Forschungs-, Entwicklungs- und Markteinführungsprogramme „Prozessemissionen“**

Industrielle, nicht-energiebedingte Prozessemissionen machen mit derzeit circa 61 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> äq. ein Drittel der gesamten Industrieemissionen aus. Bislang wurden diese Prozessemissionen relativ wenig beachtet und oftmals als unvermeidlich hingenommen. Sofern eine Emissionsminderung von 95 Prozent gegenüber 1990 erreicht werden soll, ist eine deutliche Reduktion der Prozessemissionen jedoch unvermeidbar.

Um möglichst schnell alternative Prozesse und Verfahren für die insbesondere betroffene Grundstoffindustrie zu entwickeln und zur Anwendung zu bringen, wäre aus Sicht der Autoren ein auf Kontinuität angelegtes, neues Forschungs- und Entwicklungsprogramm notwendig, das jeweils branchenspezifisch mit den betroffenen Industrien erarbeitet und durchgeführt werden sollte. Ziel der einzelnen branchenspezifischen Programmkomponenten wäre es, konkret die entscheidenden emissionsrelevanten Prozesse zu adressieren und nach Alternativen oder fundamentalen Verbesserungen zu suchen. Erfolgversprechende Ansätze sollten dann möglichst ohne Reibungsverluste in ein Markteinführungsprogramm übergehen. Das Forschungs- und Entwicklungsprogramm sowie das anschließende Markteinführungsprogramm sollte kooperativ von Politik, Industrie und Wissenschaft entwickelt und durchgeführt werden. Bestehende Ansätze auf nationaler oder europäischer Ebene sollten, wenn möglich, in das neue Programm einbezogen werden.

#### **Verminderung der Nutzenergieverluste**

Die Verminderung der Nutzenergieverluste sollte insbesondere unter den folgenden Gesichtspunkten gesehen werden:

- Dort, wo es marktfähige neue Produktionsprozesse gibt, sollten diese zum Beispiel durch Demonstration, Fortbildung und eventuell finanzielle Förderung beschleunigt realisiert werden. Dies gilt insbesondere für Prozesse mit hohen Anlagenlebensdauern.

- Neue Technologien mit vermindertem Nutzenergiebedarf, die erst konzeptionell oder im Labormaßstab vorliegen, sollten durch angewandte Forschung und Pilotprojekte vorangetrieben werden, sodass sie schneller marktfähig sind.

### **Umfassende Abwärmenutzung**

Die Nutzung von Abwärme – sei es betriebsintern oder -extern – ist aus verschiedenen Gründen bislang, relativ zu den Potenzialen betrachtet, nur wenig realisiert. Abwärmequellen können verschiedenste Produktionsmaschinen oder -anlagen sein, die Verlustwärme an die Umgebung abgeben (Jochem et al. 2010).

Schwer greifbare und damit derzeit noch schlecht verwertbare Abwärmern sind:

- Strahlungswärme von Hochtemperatur-Öfen über 800 Grad Celsius;
- Wärme in Produkten, die ihre Wärme an die Umgebung abgeben.

Hier empfehlen die Autoren:

- eine breite Informationskampagne sowie spezielle Tagungen und Fortbildungen für solche Branchen, in denen eine Abwärmenutzung mit hoher Wahrscheinlichkeit heute rentabel ist,
- eine risikoabdeckende Versicherungslösung (eventuell auch mit Bürgschaften) für externe Abwärmenutzung und Wärmeauskopplung in Wärmenetze,
- die Entwicklung technischer Lösungen für die Niedertemperatur-Abwärmenutzung (zum Beispiel aus fertiggestellten Produkten in Gießereien, Pulverlackierereien oder der Lebensmittelindustrie), die von manchen Betrieben bereits gefordert werden, um im Sommer die Arbeitsbedingungen erträglich zu halten und Lagerflächenkosten für die Abkühlphase zu sparen,
- die gezielte Förderung von Innovationen zur Nutzung bislang schlecht verwertbarer Abwärmequellen