BCG × VDMA

Grüne Technologien für grünes Geschäft

Die Boston Consulting Group (BCG) ist eine international führende Managementberatung mit Büros in mehr als 90 Städten in über 50 Ländern. Seit der Gründung 1963 leistet BCG Pionierarbeit im Bereich Unternehmensstrategie und verzahnt die klassische Strategieberatung heute mit spezialisierter Expertise in Bereichen wie Data und Analytics, digitalen Geschäftsmodellen und der übergeordneten Sinnfrage für Unternehmen.

BCG unterstützt Firmen und Institutionen aus allen Branchen und Regionen dabei, komplexe Herausforderungen zu bewältigen und umfassende Transformationen zu gestalten. Gemeinsames Ziel ist es, Wachstumschancen zu nutzen, nachhaltige Wettbewerbsvorteile zu generieren, die Kunden- und Mitarbeiterzufriedenheit zu erhöhen und so das Geschäftsergebnis dauerhaft zu verbessern. Dafür arbeiten die vielfältigen internationalen Expertenteams von BCG in partnerschaftlicher Zusammenarbeit mit den Kunden. Das Unternehmen befindet sich im alleinigen Besitz seiner Geschäftsführer.

Mit rund 3.300 Mitgliedern ist der VDMA der größte Verband für Maschinen- und Anlagenbau in Europa. Der Verein vertritt die gemeinsamen wirtschaftlichen, technologischen und wissenschaftlichen Interessen dieser vielfältigen Industrie. Gegründet im November 1892 ist der VDMA heute das wichtigste Sprachrohr der Maschinenbauindustrie. Er vertritt die Themen des Maschinen- und Anlagenbaus in Deutschland und Europa. Er begleitet seine Mitglieder erfolgreich auf den globalen Märkten. Seine technische Expertise, seine Branchenkenntnis und seine gradlinige Positionierung machen ihn zu einem anerkannten und geschätzten Ansprechpartner sowohl für Unternehmen als auch für die Öffentlichkeit, Wissenschaft, Verwaltung und Politik.

Grüne Technologien für grünes Geschäft

BCG in Zusammenarbeit mit dem VDMA

Markus Lorenz, Martin Lüers, Max Ludwig, Simon Rees, Hartmut Rauen, Matthias Zelinger und Robert Stiller

Juli 2020

AUF EINEN BLICK

Maschinen- und Anlagenbauer werden während in den kommenden Jahren eine Schlüsselrolle in der Reduzierung klimawirksamer Treibhausgasemissionen übernehmen müssen. Ihre Waren und Dienstleistungen werden die Effizienzsteigerungen und technischen Innovationen ermöglichen, die notwendig sind, um den CO2-Fußabdruck von Endverbrauchern signifikant zu verringern.

Die Gelegenheit ist günstig

In dieser Studie analysieren wir die gesamten Treibhausgasemissionen 14 verschiedener industrieller Sektoren, die von Maschinenherstellern beliefert werden, sowie ihr jeweiliges Potenzial, diese Emissionen zu reduzieren, und die spezifischen Technologiehebel, die sie zu diesem Zweck einsetzen können. Die Bereitstellung der adäquaten Ausrüstung bietet eine Umsatzmöglichkeit von 10 Billionen Euro bis 2050.

Das Momentum nutzen

Hersteller, die an der Wertschöpfung teilhaben und Umsätze für ihr Unternehmen realisieren möchten, sollten ihre Produkt- und Dienstleistungsportfolios hinsichtlich verfügbarer Möglichkeiten bewerten und die für die Entwicklung und Vermarktung künftiger Technologien erforderlichen Kompetenzen in der Forschung und Entwicklung aufbauen.

Aktuell werden vielerorts Weichen im weltweiten Kampf gegen den Klimawandel gestellt. Wenn wir die Treibhausgasemissionen nicht global und dauerhaft merklich reduzieren, bestehen nur geringe Chancen auf eine Begrenzung des durchschnittlichen Temperaturanstiegs auf höchstens 2° C bis 2050. Dies ist jedoch eines der Hauptziele des Pariser Klimaabkommens aus dem Jahr 2016. Gelingt uns dies nicht, ist mit ernsthaften Folgen für die Weltwirtschaft zu rechnen.

Wir verfügen bereits heute über die technischen Möglichkeiten, um das Volumen an Treibhausgasen, das jedes Jahr in die Atmosphäre geblasen wird (geschätzt 51 Gigatonnen [Gt]), deutlich zu reduzieren, und dazu kann der Maschinenbau entscheidend beitragen. Die Unternehmen verschiedener Sektoren stellen bereits heute Anlagen für die Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energiequellen sowie optimierte Heizungs- und Klimasysteme und hochgradig effiziente Motoren her und nutzen andere Technologien, die erforderlich sind, um den Treibhausgasausstoß merklich zu senken. Damit der entsprechende Nutzen in vollem Umfang realisiert werden kann, werden die Kunden beträchtliche Investitionen in Höhe von etwa 10 Billionen Euro bis 2050 tätigen müssen. Dies entspricht etwa einer Drittelbillion Euro pro Jahr – im Vergleich zum jährlichen globalen BIP in Höhe von 76 Billionen Euro ein vertretbares Investitionsvolumen.

Es ist Aufgabe der Maschinenhersteller, die nachhaltigen Technologien zu entwickeln, die notwendig sind, um dem Klimawandel entgegenzuwirken.

Sehr viel schwieriger stellt sich die Situation dar, wenn es um die Entwicklung und den Einsatz von Technologien geht, die zwar technisch möglich, aber für eine Nutzung in der Breite noch zu kostspielig sind. Dies gilt z. B. für umweltfreundliche Treibstoffe oder CO2-Abscheidung. Wenn sich Unternehmen aus dem Maschinenbausektor jedoch dieser Herausforderung stellen, dürften sie sich einen beträchtlichen Wettbewerbsvorsprung gegenüber ihren langsameren und nicht so fortschrittlichen Konkurrenten erarbeiten können.

In dieser Studie untersuchen wir, welche Rolle der Maschinenbau spielen kann, indem er die erforderlichen Anlagen und die Expertise bereitstellt, um den Treibhausgasausstoß wie geplant zu reduzieren. Wir untersuchen, welches Treibhausgasvolumen die einzelnen industriellen Sektoren ausstoßen, die Produkte des Maschinenbaus kaufen und nutzen, und welche spezifischen technologischen "Hebel" die Unternehmen aus dem Maschinenbausektor selbst zur Reduzierung ihrer Emissionen anwenden können. So können wir abschätzen, wie stark diese Hebel zur Reduzierung des Gesamtvolumens beitragen. Es liegt nun bei den Maschinenbauern selbst, die für den Kampf gegen den Klimawandel benötigten grünen Technologien zu entwickeln. Dies eröffnet beträchtliche Chancen.

Weltweite Treibhausgasemissionen

Angaben der Vereinten Nationen zufolge beliefen sich die globalen Treibhausgasemissionen im Jahr 2017 auf insgesamt 51 Gt CO2-Äquivalente. Davon stießen die 36 in unserer Analyse berücksichtigten Länder 35 Gt Treibhausgase aus (dieses Volumen bezeichnen wir in dieser Studie als "Gesamtemissionen").[1] China und die USA sind mit 13 Gt bzw. 6 Gt die größten Treibhausgasemittenten.

Nach unserer Analyse können die Gesamtemissionen (35 Gt) mit Hilfe vorhandener und bereits heute wirtschaftlich tragbarer Technologien um 37 % bzw. 13 Gt verringert werden. Weitere 49 % bzw. 17 Gt lassen sich mit Hilfe von Technologien einsparen, die zwar technisch machbar, aber bisher nicht wirtschaftlich tragbar sind, wie z. B. umweltfreundliche Treibstoffe oder CO2-Abscheidung. Zusammengenommen ergibt sich so ein Reduzierungspotenzial in Höhe von 86 % des Gesamtvolumens.

Unternehmen nahezu jedes industriellen Sektors können auf eine Vielzahl existierender Technologien zurückgreifen, um ihren CO_2-Fußabdruck zu reduzieren.

In allen Sektoren werden zwei Kategorien von Emissionen ausgestoßen:

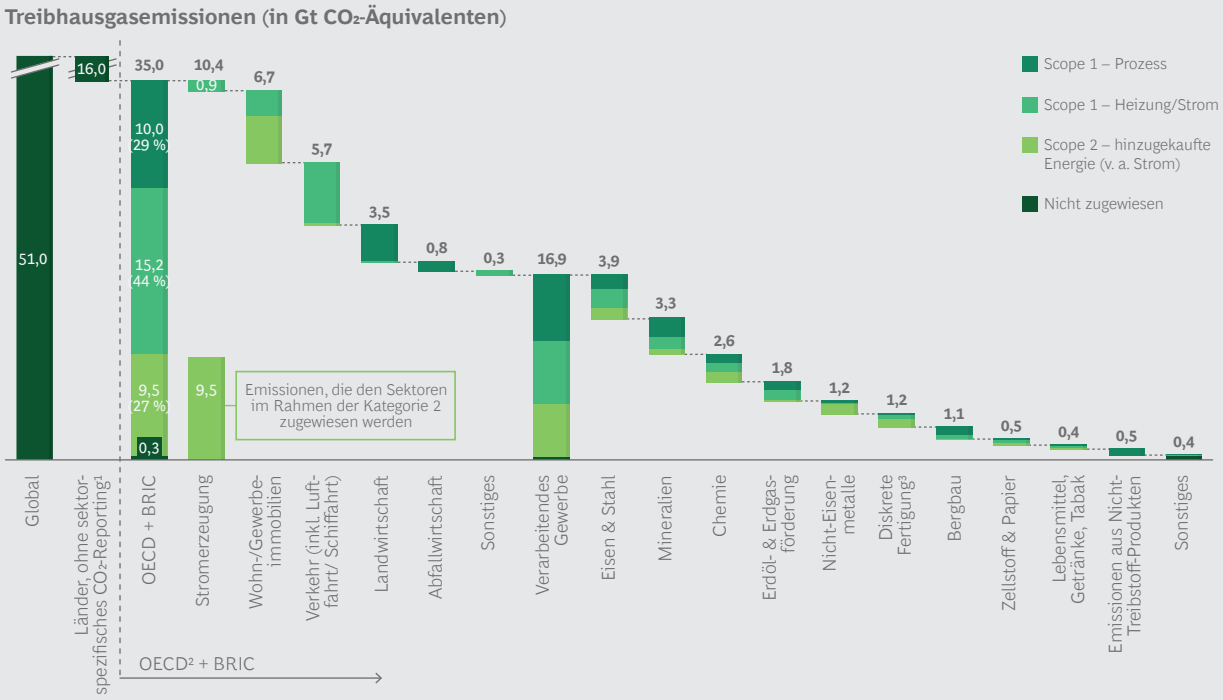
- **Kategorie 1** umfasst alle Emissionen, die ein Unternehmen im Zuge seiner Betriebstätigkeit ausstößt. Diese lassen sich wiederum in zwei Untergruppen einteilen.
  - ◇ "Prozessemissionen" und "Energieemissionen". Erstere sind alle Treibhausgase, die im Zuge der Unternehmenstätigkeit ausgestoßen werden, z. B. CO2, das bei der Verarbeitung von Eisen zu Stahl entsteht, oder Methan, das Kühe in der Landwirtschaft produzieren. Die Prozessemissionen aus Kategorie 1 machen 29 % bzw. 10 Gt der Gesamtemissionen aus.
  - ◇ "Energieemissionen" sind Emissionen, die bei der Erzeugung von Wärme, Strom, Dampf oder anderen Energiequellen entstehen, welche die Unternehmen für ihre Produktionstätigkeit nutzen. Sie entsprechen 44 % des Gesamtvolumens bzw. 15,2 Gt.
- **Kategorie 2** umfasst alle Emissionen von Energie erzeugenden Unternehmen, deren Energie von Unternehmen aus anderen Sektoren abgenommen und genutzt wird. 27 % der Gesamtemissionen bzw. 9,5 Gt entfallen auf die Stromerzeugung.

Weltweit stößt das verarbeitende Gewerbe 48 % der Gesamtemissionen aus: 6 Gt in Form von Prozessemissionen der Kategorie 1 sowie 5,7 Gt in Form von Energieemissionen der Kategorie 1 und 5 Gt im Rahmen der Kategorie 2. Innerhalb des verarbeitenden Gewerbes hat die Eisen- und Stahlindustrie den größten Anteil an den Gesamtemissionen (3,9 Gt), gefolgt von der Mineralstoffindustrie (3,3 Gt; vor allem aus der Zementproduktion, aber auch aus der Keramik- und Glaserzeugung) und an dritter Stelle dem Chemiesektor (2,6 Gt).

Das nicht verarbeitende Gewerbe stößt die restlichen 52 % des Gesamtvolumens aus. Neben dem Stromsektor stammen die Emissionen vor allem aus Wohn- und Gewerbeimmobilien (6,7 Gt), gefolgt vom Verkehr (5,7 Gt) und der Landwirtschaft (3,5 Gt) (siehe Abbildung 1).

Die Stromindustrie ist ein Sonderfall. Sie erzeugt allein 10,4 Gt Treibhausgasemissionen, d. h. 30 % des Gesamtvolumens. Dabei stößt sie lediglich 0,9 Gt im Rahmen der

ABBILDUNG 1 | Verarbeitendes Gewerbe, Gebäude und Transport sind neben dem Stromsektor die größten Treibhausgasemittenten



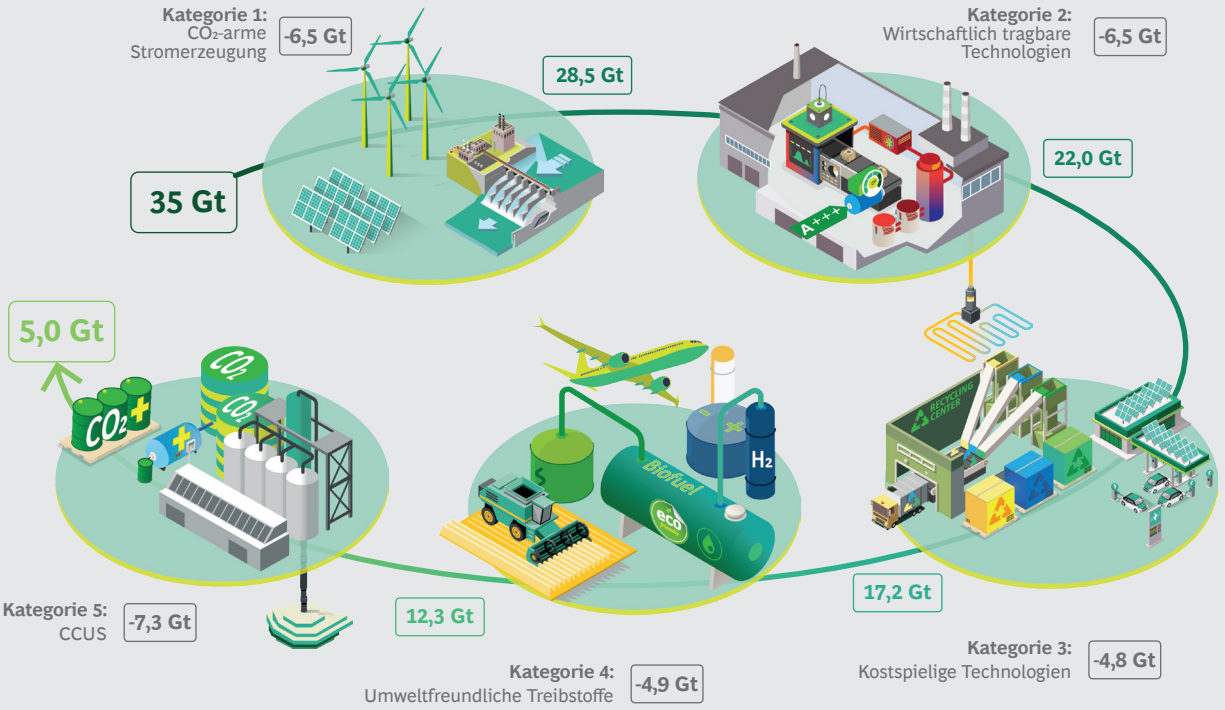
Quelle: UNFCCC-Daten zu Treibhausgasemissionen 2017; IEA-Bericht 2019: CO_2 Emissions from fuel combustion; BCG-Analyse.
[1]10 größte Emittenten ohne Sektordaten: Indonesien, Südkorea, Mexiko, Saudi-Arabien, Südafrika, Vietnam, Kasachstan, Argentinien, VAE, Philippinen.
[2]Ohne Mexiko und Südkorea.
[3]Einschließlich Maschinenbau.

Kategorie 1 aus, um ihren eigenen Betrieb aufrechtzuerhalten, aber 9,5 Gt zur Erzeugung des von ihr vertriebenen Stroms. Wir schreiben diese Emissionen den Stromabnehmern zu; die Treibhausgasemissionen dieser Kunden entsprechen also den gesamten Emissionen der Kategorie 2, die durch den Energieverbrauch aller anderen Sektoren zusammengenommen entstehen.

Erfolgversprechende Hebel

In praktisch allen Sektoren stehen Unternehmen verschiedene technologische Hebel zur Verfügung, um ihren CO2-Fußabdruck zu verringern, von elektrischen Fahrzeugen bis hin zu umweltfreundlichen Treibstoffen (wie Wasserstoff). In den meisten industriellen Sektoren werden manche dieser Hebel noch nicht in vollem Umfang eingesetzt. Um festzustellen, welcher dieser Hebel die größten Auswirkungen auf die Treibhausgasemissionen in den einzelnen Sektoren hat und wie der Maschinenbau dazu beitragen kann, die Emissionen zu verringern, haben wir die vorhandenen Technologien zur CO2-Reduzierung auf ihre technische Anwendbarkeit hin untersucht. Dabei haben wir nicht berücksichtigt, in welchem Umfang die Technologie bisher verfügbar ist, wie rasch sie im großen Maßstab installiert werden könnte oder inwieweit die

ABBILDUNG 2 | Technologische Hebel können in fünf Stufen eingesetzt werden, um die Emissionen auf wirtschaftlich sinnvolle Weise um 13 Gt zu senken; potenziell können weitere 17 Gt eingespart werden



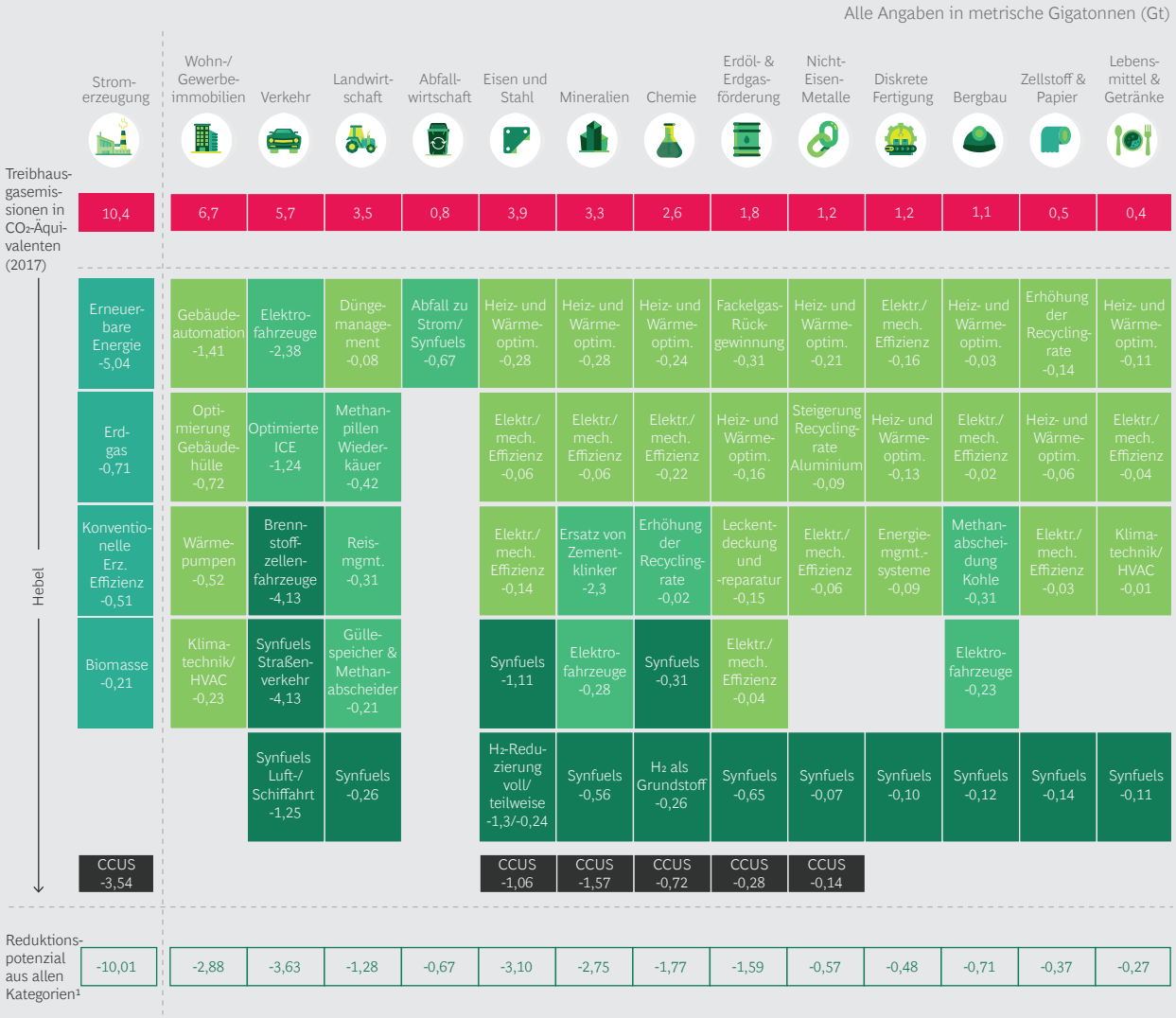
Quelle: BCG-Analyse.
Anmerkung: CCUS = Kohlenstoffabscheidung, -nutzung und -speicherung (carbon capture, utilization and storage); Gt = Metrische Gigatonnen

Unternehmen angesichts der aktuell von ihnen verwendeten Technologien dazu bereit wären, neue Technologien einzusetzen.

Die wirtschaftliche Tragbarkeit der einzelnen Technologien hängt davon ab, ob sie bereits so weit entwickelt sind, dass die Unternehmen sie aktuell anwenden wollen, oder ob ein flächendeckender Einsatz noch zu kostspielig ist.

Die technologischen CO2-reduzierenden Hebel lassen sich anhand ihrer Art sowie ihrer technischen und wirtschaftlichen Umsetzbarkeit in fünf Kategorien einteilen (siehe Abbildung 2). Die ersten beiden Kategorien werden bereits umgesetzt, wenngleich ihr volles Potenzial bei Weitem noch nicht realisiert wird. Die übrigen Kategorien werden größtenteils warten müssen, bis eine Umsetzung auf breiter Basis einerseits technisch möglich und andererseits wirtschaftlich sinnvoll ist. In jedem Falle können und sollten jedoch ungeachtet der technischen Reife der einzelnen Technologien unverzüglich Maßnahmen ergriffen werden, um sie weiterzuentwickeln und zu verfeinern. Die fünf Kategorien müssen dabei nicht in einer vorgegebenen Reihenfolge durchgeführt werden. Abbildung 3 fasst die technologischen Optionen zusammen, die den einzelnen Branchen zur Verfügung stehen, um ihre CO2-Emissionen entlang dieser Kategorien zu reduzieren.

ABBILDUNG 3 | Jeder Sektor kann mehrere technische Hebel zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen einsetzen



Quelle: UNFCCC; BCG-Analyse.
Anmerkung: CCUS = Kohlenstoffabscheidung, -nutzung und -speicherung (carbon capture, utilization and storage); EAF = Lichtbogenofen (electric arc furnace).
[1]Das maximale Potenzial berücksichtigt, dass einige Hebel nicht additiv sind (z. B. umfasst die Gesamtreduktion im Verkehrsbereich die Nutzung von Elektrofahrzeugen anstelle von Brennstoffzellen).

- Hebel der **Kategorie 1** umfassen Technologien, mit deren Hilfe der Stromsektor seine Emissionen reduzieren kann. Dies ist sehr wichtig, wenn die Klimaziele erreicht werden sollen, denn die Stromindustrie stößt mit jährlich 10 Gt einen beträchtlichen Teil der gesamten Treibhausgasemissionen aus. In dieser Kategorie bieten erneuerbare Energien das größte Einsparpotenzial. Theoretisch ließe sich

die Stromerzeugung dadurch vollständig dekarbonisieren. Angesichts der praktischen Grenzen für den Einsatz von erneuerbaren Energien wird das jährliche Einsparpotenzial jedoch auf 5 Gt geschätzt.[2]

- **Kategorie 2** umfasst alle vorhandenen und wirtschaftlich tragbaren Technologien, die aktuell zur Emissionsreduzierung in allen Sektoren des verarbeitenden und nicht verarbeitenden Gewerbes eingesetzt werden können. Die wichtigsten Hebel, die auch von fast allen Sektoren angewendet werden können, sind Technologien zur Heizungsoptimierung und Wärmerückgewinnung (wodurch 1,8 Gt Treibhausgase eingespart werden können) und zur Verbesserung der elektrischen/mechanischen Effizienz (0,8 Gt). Daneben sind weitere sektorspezifische Hebel zur Emissionsreduzierung vorhanden.[3]

- Zu **Kategorie 3** gehören Technologien, die zwar derzeit in der einen oder anderen Form verfügbar, aber noch nicht wirtschaftlich tragbar sind – sei es, weil sie zu kostspielig sind oder weil sie noch nicht in einem Umfang eingesetzt werden können, der nennenswerte Auswirkungen hätte. Dazu gehören z. B. die Methanabscheidung in der Landwirtschaft oder die vollständige Umstellung auf Elektrofahrzeuge im Bergbau- und Mineralsektor.

- In **Kategorie 4** und **Kategorie 5** sind Hebel zusammengefasst (umweltfreundliche Treibstoffe wie Wasserstoff oder Biotreibstoffe bzw. Technologien für CO2-Abscheidung, -Verwendung und -Speicherung [CCUS]), die zwar alle entscheidend zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen beitragen können, aber oftmals technisch noch nicht ausgereift oder wirtschaftlich noch nicht tragbar sind. Nach Einsatz der Hebel aus Kategorie 2 und 3 in allen Sektoren könnten umweltfreundliche Treibstoffe bzw. CCUS-Technologie die Emissionen der Kategorie 1 jährlich zusätzlich um insgesamt 4,9 Gt bzw. insgesamt 7,3 Gigatonnen verringern.

GEMEINSAMES HANDELN

Die Ziele des Pariser Klimaschutzabkommens sind sehr ehrgeizig. Dies gilt auch für die sektorspezifischen Zielwerte, die wir hier beschrieben haben. Um diese auch nur annähernd zu erreichen, müssen wir alle verfügbaren Hebel nutzen. Dabei sollten bereits heute wirtschaftlich tragbare Optionen so rasch wie möglich eingesetzt werden und bisher unwirtschaftliche Methoden sollten so lange unterstützt werden, bis sie auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten sinnvoll sind. Technisch noch nicht umsetzbare Hebel müssen weiterentwickelt und dann eingesetzt werden, sobald sie reif dafür sind.

Ob bereits vorhandene bzw. künftige Technologien wirtschaftlich tragbar sind, hängt in hohem Maße davon ab, ob sich zahlreiche Stakeholder für eine Reduzierung der Treibhausgasemissionen einsetzen:

GEMEINSAMES HANDELN
(Fortsetzung)

Regierungen. Dabei kommt es vor allem darauf an, dass die internationale Gemeinschaft weiterhin an den Klimazielen festhält. Dazu können alle Regierungen etwas beitragen, indem sie strikte Preismechanismen für Treibhausgasemissionen festlegen und die Einführung neuer Technologien zur Treibhausgasreduzierung vorübergehend unterstützen.

So hat z. B. die EU vor Kurzem angekündigt, ihre Bemühungen um CO_2-Neutralität bis 2050 intensivieren zu wollen. Unter der Bezeichnung "Green Deal" werden dabei verschiedene Nachhaltigkeitsziele zusammengefasst: Senkung der Umweltverschmutzung auf null, Kreislaufwirtschaft, eine gerechte und inklusive Energiewende und Weiteres. Ziel ist es insbesondere, der EU eine technische Führungsrolle bei der Reduzierung von CO_2-Emissionen zu verschaffen und so ein nachhaltiges Wirtschaftswachstum zu ermöglichen. Um die Ziele des Plans zu erreichen, werden im kommenden Jahrzehnt zusätzliche Infrastrukturinvestitionen in Höhe von rund 300 Milliarden Euro erforderlich sein – woraus sich beträchtliche Chancen für den Maschinenbau ergeben.

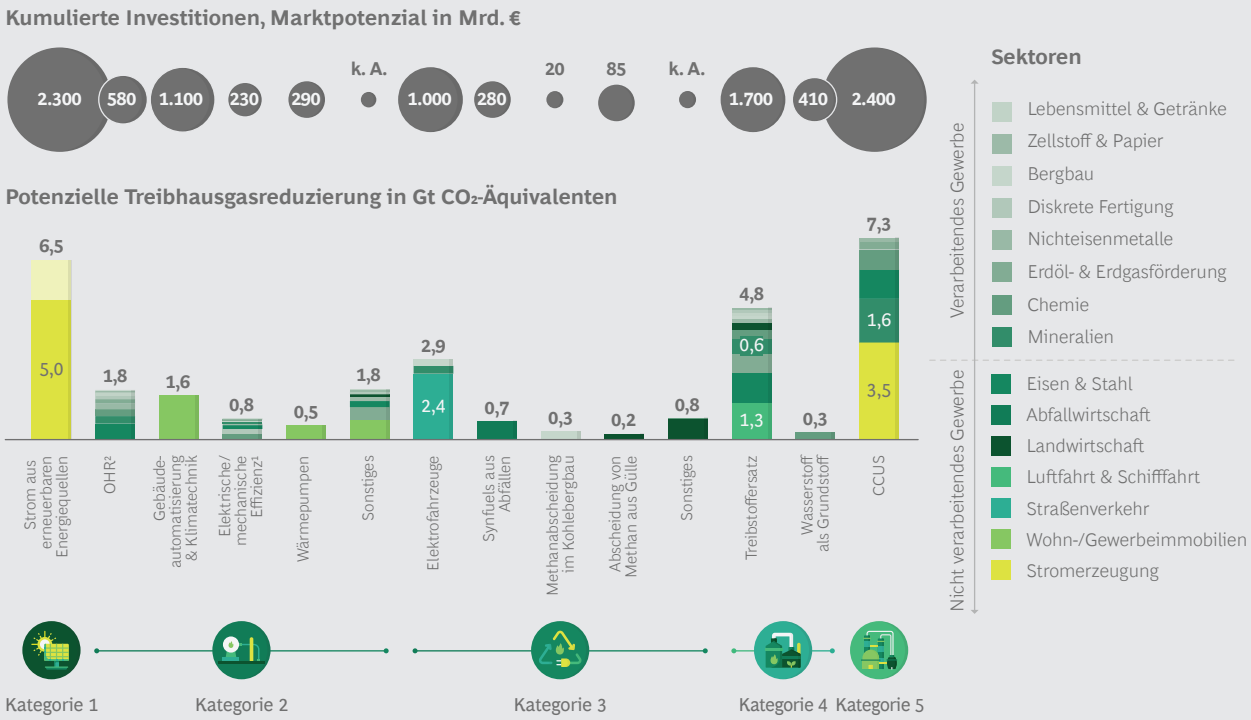
Außerdem sollten die Regierungen langfristig anstreben, eine verlässliche Preisdifferenz zwischen Energie aus fossilen Brennstoffen und Energie aus klimafreundlichen Quellen einzuführen und ein günstiges Umfeld für Investitionen in die Infrastruktur zu schaffen, die für den Transport von Wasserstoff (H_2) sowie für den Stromtransport und die Stromversorgung benötigt wird.

Investoren. Die Investoren pochen bereits zunehmend darauf, dass die Unternehmen ihre Praktiken in Bezug auf die Treibhausgasemissionen transparenter darlegen, und stecken ihr Geld in Unternehmen, die klare und klimafreundliche Strategien zur Emissionsreduzierung verfolgen. Einige erwägen einen Risikoaufschlag für Unternehmen, in deren Bilanz sich mögliche "stranded assets" befinden, also Aktiva, die in Zukunft in einem insgesamt klimafreundlicheren Umfeld nicht mehr rentabel sind.

Unternehmen. Unternehmen aus dem privaten Sektor können Druck auf ihre Partner und Lieferanten ausüben, um diese zu einer umfassenderen Offenlegung ihres CO_2-Fußabdrucks oder zur raschen Einführung wirtschaftlich tragfähiger Technologien zu bringen, oder gegebenenfalls höhere Preise für Bauteile, Futtermittel oder Dienstleistungen zahlen, bei deren Herstellung bzw. Erbringung Standards und Verfahren eingehalten wurden, die für niedrige Emissionen sorgen.

Gesellschaft insgesamt. Die Gesellschaft muss dazu bereit sein, alle Maßnahmen zur CO_2-Reduzierung zu akzeptieren und zu unterstützen. Dies gilt auch für umstrittene Technologien wie die langfristige Speicherung von CO_2 in der Tiefsee oder in ehemaligen Öl- und Gasfeldern.

ABBILDUNG 4 | Für Unternehmen aus dem Maschinenbau ergeben sich in den kommenden drei Jahrzehnten Marktchancen in Höhe von insgesamt 10 Billionen Euro



Quelle: BCG-Analyse.
Anmerkung: CCUS = Kohlenstoffabscheidung, -nutzung und -speicherung (carbon capture, utilization and storage); H_2 = Wasserstoff.
[1]Einschl. Elektromotoren, Pumpen, Kompressoren, Ventilatoren, Antrieben mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten, integrierten Steuersystemen.
[2]Optimierung von Heizsystemen & Wärmerückgewinnung.

Die Chance für den Maschinenbau

Jede der fünf Kategorien umfasst zahlreiche Hebel, mit deren Hilfe Unternehmen aus industriellen Sektoren ihren Beitrag zu den weltweiten Bemühungen zur Senkung der CO2-Emissionen leisten können. Damit wir die Ziele des Pariser Klimaschutzabkommens erreichen, müssen Unternehmen aus allen Sektoren auf alle verfügbaren Technologien zurückgreifen (vgl. Kasten "Gemeinsames Handeln").

Dies wird wohl nicht sofort der Fall sein. Allein mit Hilfe der derzeit besser umsetzbaren Hebel aus den ersten beiden Kategorien können die Gesamtemissionen jedoch bereits um 37 % reduziert werden. Beim Einsatz aller Hebel in den Kategorien 1 und 2 würden innerhalb des kommenden Jahrzehnts insgesamt Investitionen in Höhe von 4,5 Billionen Euro in Maschinen und Ausrüstung anfallen. Dabei sind die Betriebskosten für die Ausrüstung nach der Installation nicht berücksichtigt.

Bedeutung, Umsetzbarkeit und produktiver Wert der Hebel der anderen drei Kategorien werden in den kommenden Jahren zunehmen, sodass bis 2050 weitere Investitionen in Höhe von 5,9 Billionen Euro in neue Maschinen und Ausrüstung erforderlich sein werden. Daraus ergeben sich Gesamtinvestitionen von 10 Billionen Euro für alle fünf Kategorien. Abbildung 4 gibt einen Überblick über das gesamte Investitionspotenzial in den einzelnen Technologiekategorien.

Eine kategoriespezifische Analyse zeigt, welche technologischen Hebel in jeder Kategorie in den untersuchten Sektoren eingesetzt werden können, welche Rolle die Anbieter aus Maschinenbau und angrenzenden Sektoren bei der Unterstützung von (potenziellen) Kunden spielen und welche Investitionen potenziell für den Einsatz dieser Technologien erforderlich sind.

Kategorie 1 – Hebel bei der Stromerzeugung

In Kategorie 1 geht es lediglich darum, die durch die Stromerzeugung im globalen Stromsektor entstehenden Treibhausgasemissionen zu reduzieren. Allein durch die Nutzung aller zu dieser Kategorie gehörenden Methoden könnten die Emissionen des Sektors um 6,5 Gt verringert werden, d. h. um knapp 20 % der Treibhausgasemissionen weltweit.

Die weitaus größten Auswirkungen hätte eine Umstellung auf erneuerbare Energiequellen (insbesondere Solar- und Windenergie). Wenn 49 % der Energie aus solchen Quellen stammten, könnten die Emissionen um 5 Gt reduziert werden. Es hat sich bereits gezeigt, dass Energie in großem Maßstab aus erneuerbaren Quellen erzeugt werden kann und dass diese preislich gegenüber fossilen Brennstoffen konkurrenzfähig ist. Insofern wäre eine verstärkte Nutzung von erneuerbaren Energien wirtschaftlich tragbar.[4]

Nichtsdestotrotz müsste sich der weltweite Einsatz von Photovoltaikanlagen in den kommenden zehn Jahren um 800 % vergrößern und die Nutzung von Windanlagen um 400 %, wenn die Emissionen tatsächlich um 5 Gt gesenkt werden sollen. Dafür wären beträchtliche Investitionen in Maschinen und Ausrüstung erforderlich, die sich bis 2030 auf geschätzt 2,3 Billionen Euro belaufen dürften.

Der größte Teil dieser potenziellen Investitionen (rund 1,1 Billionen Euro) dürfte in die Solarenergie fließen, d. h. den Bereich, in dem auch die Kosten am stärksten sinken sollten. Das zweithöchste Investitionsvolumen (820 Milliarden Euro) ist im Windenergiesektor zu erwarten, gefolgt von Wasserkraft (360 Milliarden Euro). In welchem Umfang dieses Umsatzpotenzial tatsächlich realisiert wird, hängt von zahlreichen Faktoren ab, u. a. den Regulierungsbedingungen für den Anteil erneuerbarer Energien am Strommix und der Frage, inwieweit die Öffentlichkeit Windparks und Staudämme akzeptiert.

In der Weiterentwicklung und Produktion von Kapazitäten für Wärmeoptimierung und -rückgewinnung liegen beträchtliche Wachstumschancen.

Unternehmen aus dem Maschinenbausektor können beträchtliche Beiträge zur Entwicklung und Einführung solcher Systeme leisten, was beachtliche Umsatzchancen mit sich bringt. Weitere Umsatzmöglichkeiten eröffnen sich durch Technologien zur flexibleren Nutzung des Stromnetzes und zur Energiespeicherung, die in dieser Analyse nicht berücksichtigt werden.

Neben erneuerbaren Energiequellen stehen der Stromindustrie in der ersten Kategorie noch weitere Hebel zur Verfügung. Durch eine Verbesserung der Anlageneffizienz, die Umstellung auf hocheffiziente, moderne Gas-und-Dampf-Kombikraftwerke und den Einsatz von Biotreibstoffen für bestimmte Zwecke ließen sich weitere 1,4 Gt an CO_2-Emissionen einsparen. Unternehmen aus dem Maschinenbausektor können Gas- und Biokraftwerke modernisieren und hochgradig effiziente Motoren bereitstellen.

Die Dekarbonisierung des Stromsektors ist von besonderer Bedeutung, weil die globale Energienachfrage auf absehbare Zeit voraussichtlich weiter wachsen wird. Die Herstellung von synthetischen Treibstoffen (Synfuels), z. B. durch Wasserstoff, ist bisher wirtschaftlich noch nicht tragbar, könnte aber potenziell den Stromverbrauch enorm steigern. Wenn z. B. in Deutschland der Anteil von Synfuels im Straßenverkehr auf 25 % anstiege, würde die Nachfrage nach Strom landesweit um geschätzt 70 % in die Höhe schnellen. Weiterhin erfordert die Umwandlung von H2 in einen brauchbaren Brennstoff die Elektrolyse, eine weitere Belastung für das Netz.

Kategorie 2 – Technisch mögliche und wirtschaftlich tragbare Hebel

Diese Kategorie umfasst alle Hebel, die heute bereits in verschiedenen Sektoren eingesetzt werden können, woraus sich für Unternehmen aus dem Maschinenbausektor zahlreiche Chancen ergeben; sie können ihren Kunden Möglichkeiten anbieten, um CO2-Emissionen zu reduzieren. Das Umsatzpotenzial ist mit 2,2 Billionen Euro eine beträchtliche Chance. Diese potenziellen Investitionen dürften zum großen Teil tatsächlich vorgenommen werden, weil der Einsatz der Technologien zu Kosteneinsparungen führt. Wenn alle Hebel in vollem Umfang genutzt würden, könnten die Emissionen jährlich um 13 Gt reduziert werden. Die folgenden Optionen sind am realistischsten:

Alle Hersteller können von der Ausrüstung, die sie zur Steigerung elektrischer und mechanischer Effizienz ihrer Produktion einsetzen, profitieren.

Optimierung von Heizsystemen und Wärmerückgewinnung. Bei einer weitreichenden Umsetzung dieser Technologien könnten die Treibhausgasemissionen um 1,8 Gt sinken, und für den Maschinenbau ergäben sich Umsatzchancen in Höhe von 580 Milliarden Euro. Diese Technologien können in jedem Sektor des verarbeitenden Gewerbes genutzt werden, insbesondere aber dort, wo die Rückgewinnung von Abwärme bisher vernachlässigt wurde. Und weil sie direkt zu Kosteneinsparungen in Form eines geringeren Energieverbrauchs führen, können die Unternehmen im verarbeitenden Gewerbe unverzüglich Erträge aus ihren Investitionen ziehen. Daher werden Unternehmen, die den CO2-Ausstoß ihrer Produktionsverfahren reduzieren wollen, diese Hebel wahrscheinlich vorrangig nutzen.

Investitionen in Wärmetauscher, die wichtigste Technologie für die Wärmerückgewinnung, dürften dabei den größten Anteil an den Gesamtinvestitionen ausmachen. Daneben werden hochgradig effiziente Brenner, die Luft und Brennstoff vorwärmen und so effizienter nutzen, Fernwärmesysteme zur Nutzung der Abwärme von Abgasen und Wärmepumpen zur Steigerung der Temperatur von Abwärme auf das für andere Produktionsprozesse benötigte Niveau von Bedeutung sein. Auch effektive Wärmespeichertechnologien werden benötigt, um die Abwärme zu speichern und sie bei Bedarf wieder abzugeben.

Durch die Weiterentwicklung bzw. Bereitstellung von Optimierungsprozessen von Heizsystemen und Wärmerückgewinnung bieten sich beträchtliche Wachstumschancen. Einem Hersteller von Anlagen für die Getränkeindustrie zufolge können Brauereien durch den Einsatz von Abwärme und durch Wärmespeichersysteme bis zu 60 % ihres Wärmeenergiebedarfs einsparen.

Gebäudeautomatisierung. Durch Gebäudemanagementsysteme, mit deren Hilfe Heizung, Kühlung, Belüftung sowie Verschattung und Beleuchtung automatisch bzw. manuell kontrolliert werden können, lassen sich die CO2-Emissionen um 1,64 Gt reduzieren. Die Energiekosten können um bis zu 40 % gesenkt werden, wenn die Gebäudetemperatur, die Luftqualität und die Beleuchtung danach reguliert werden, ob sich überhaupt jemand im Gebäude befindet. Dies gilt vor allem für Gewerbeimmobilien, bei denen die Nutzer in der Regel weniger auf den Energieverbrauch achten, da jemand anderes für die Energiekosten aufkommt.

Zusammengenommen können Unternehmen aus dem Maschinenbausektor mit diesen Technologien potenziell Umsätze in Höhe von rund 1,1 Billionen Euro erwirtschaften. In diese Kategorie fallen vor allem effiziente Klimatechniksysteme (HVAC), Automatisierungssysteme (von einzelnen Thermostaten und Zeitschaltuhren bis hin zu hochmodernen automatischen Anlagen), Gebäudemanagementsysteme, die zahlreiche Wartungsaufgaben übernehmen können, sowie Systeme zur Kontrolle und Überwachung des Energiebedarfs.

Gebäudeautomatisierungstechnologien dürften in den kommenden Jahren rasch umgesetzt werden, weil die Energiekosten dadurch unverzüglich reduziert werden können. Unternehmen aus dem Maschinenbausektor können davon in verschiedener Hinsicht profitieren. Für die Kontrolle der Bedingungen innerhalb der Gebäude werden Mess- und Netzanlagen benötigt. Zur Optimierung des Heiz- und Energiebedarfs und zur Energiespeicherung sind Automatisierungsgeräte wie Antriebe zur Steuerung von Fenstern, Rollläden und Klimatechniksystemen erforderlich. Auch Wärmepumpen und Spitzenlastheizgeräte werden deutlich häufiger eingesetzt werden. Und zuletzt werden Anlagen für die Herstellung moderner Isoliermaterialien und doppelt oder dreifach verglaster Fenster benötigt. Wie effektiv diese Technologien sind, hängt vom Klima am Standort des Gebäudes ab und kann sehr unterschiedlich sein.

In der Eisen-, Stahl-, Aluminium- und Papierindustrie kann Recycling bereits wirtschaftlich betrieben werden.

Elektrische und mechanische Effizienz. Alle Hersteller können Geräte zur Verbesserung der elektrischen und mechanischen Effizienz ihrer Produktionsanlagen nutzen, die die Treibhausgasemissionen um 0,8 Gt reduzieren können. Dafür müssen die Technologien (die sich mehrheitlich bereits als wirksam erwiesen haben) in vollem Umfang in allen Sektoren eingesetzt werden. Die potenziellen Emissionssenkungen werden durch merkliche Energieeinsparungen hervorgerufen, was vor allem für das verarbeitende Gewerbe attraktiv sein sollte.

Der Einsatz hocheffizienter Motoren, die bei einem geringeren Stromverbrauch dieselbe mechanische Kraft erreichen, und effizienter Transformatoren in der Stromversorgung können zu realen Energieeinsparungen beitragen. Außerdem laufen in der Industrie die meisten Elektromotoren, z. B. von Pumpen, Kompressoren oder Ventilatoren, ständig mit voller Drehzahl. Dies ist in den meisten Fällen hochgradig ineffizient, weil der Bedarf stark schwankt und in der Regel sehr viel geringer ist. Durch den Einsatz drehzahlvariabler Antriebe und intelligenter Steuerung, die den Bedarf erkennt und den Motor entsprechend betreibt, kann der Stromverbrauch um bis zu 40 % gesenkt werden, wodurch sich die Lebensdauer verlängert und die Lärmbelastung zurückgeht.

Aber auch die effizientesten Motoren können ihr Potenzial nicht vollständig nutzen, wenn sie nicht auf den jeweiligen Anwendungszweck abgestimmt werden.

Eine sorgfältige Abstimmung von Pumpen, Kompressoren, Ventilatoren und sonstigen Motoren auf die jeweilige Anwendung ermöglicht größere Einsparungen. Maschinenhersteller haben daher eine große Chance, Produktionsanlagen mit energieeffizienten Komponenten zu entwickeln und die installierte Basis über Retrofits zu modernisieren.

Wenn die Treibhausgasemissionen tatsächlich um 0,8 Gt reduziert werden sollen, sind Investitionen in Höhe von geschätzt 230 Milliarden Euro erforderlich. Chancen für den Maschinenbau ergeben sich vor allem aus der Entwicklung von Antrieben mit unterschiedlichen Geschwindigkeitsstufen.

Recycling. Eine höhere Recyclingrate bietet zahlreiche Vorteile. Vor allem sinkt der Bedarf an neu produzierten bzw. erstmalig genutzten Rohstoffen. Die sogenannte "Kreislaufwirtschaft" kann gleichzeitig zur Verringerung von Treibhausgasemissionen beitragen, zumal es sehr viel weniger energie- und arbeitsintensiv ist, Güter aus wiederverwendeten Materialien herzustellen als aus Rohstoffen. So muss z. B. kein Eisenerz für die Stahlproduktion abgebaut, geschmolzen und verladen werden, wenn der Stahl auch aus Schrott produziert werden kann.

Bei potenziellen Treibhausgaseinsparungen durch Recycling konzentrieren wir uns auf die Eisen-, Stahl- und Aluminiumherstellung, die Papier- und Zellstoffindustrie sowie die Herstellung von Kunststoffen in der Chemieindustrie. Bei Anwendung aller Hebel in diesen Sektoren würden die Emissionen um 0,5 Gt sinken. Das Recycling von Kunststoffen bietet außerdem den Vorteil, dass die Umweltverschmutzung durch eine nicht ordnungsgemäße Entsorgung von Plastik verringert wird.

Der Einsatz von Präzisionstechnologien in der Agrarwirtschaft kann helfen, Treibhausgasemissionen weiter zu reduzieren.

Die Qualität des Endprodukts nach dem Recycling hängt in hohem Maße von der Homogenität und Reinheit der recycelten Materialien ab. Dies gilt vor allem für Kunststoffe. Daher ist es sehr wichtig, dass die Wertstoffe sorgfältig nach wiederverwertbaren und nicht wiederverwertbaren sortiert und getrennt werden. Die entsprechenden Maschinen sind weitgehend verfügbar, und die Nachfrage danach steigt.

In der Eisen- und Stahl-, der Aluminium- und der Papierindustrie ist Recycling bereits wirtschaftlich tragbar. Bei zahlreichen Kunststoffen ist dies jedoch noch nicht der Fall, sodass Subventionen erforderlich sind. Die Unternehmen aus dem Maschinenbausektor sollten trotzdem die entsprechenden Anlagen weiterentwickeln, um sie wirtschaftlich tragbar zu machen und an einem attraktiven Wachstumsmarkt teilzuhaben.

Wärmepumpen. Moderne Wärmepumpen nutzen drei Einheiten Wärme aus dem Boden oder der Luft und eine Einheit Strom zur Produktion von vier Einheiten Wärme. Damit benötigen sie deutlich weniger Energie als der typische Gasboiler mit vier Einheiten Energie aus Erdgas für die Erzeugung derselben Menge Wärme. Wohnhäuser und andere Gebäude werden jedoch größtenteils durch die Verbrennung von fossilen Energieträgern wie z. B. Erdgas geheizt.

Wie effizient eine Wärmepumpe arbeiten kann, hängt von zwei Faktoren ab: der Temperatur der zugeführten Wärme und der Verteilung der erzeugten Wärme. In Neubauten sind Wärmepumpen bereits wirtschaftlich tragbar. Dies gilt jedoch nicht unbedingt für Gebäude, in denen sie nachgerüstet werden, weil die Erschließung der erforderlichen Erdwärmequellen und der Einbau der normalerweise erforderlichen

Niedertemperaturheizungsanlagen teuer sein können. Unternehmen aus dem Maschinenbau können jedoch in jedem Falle davon profitieren. Durch die Umstellung auf Wärmepumpen und die Dekarbonisierung des Stromsektors, der die benötigte Elektrizität bereitstellt, lassen sich die Emissionen um 0,5 Gt reduzieren. Und für den Maschinenbau ergeben sich durch die entsprechenden Anlagen potenzielle Umsätze in Höhe von 290 Milliarden Euro.

Fackelgas. Laut Weltbankschätzungen werden im Zuge der Öl- und Gasexploration und -förderung rund 150 Milliarden Kubikmeter Erdölgas abgelassen oder abgefackelt. Bei dem nicht verbrannten Gas handelt es sich überwiegend um das Treibhausgas Methan. Die Gasabfackelung führt ihrerseits durch die Verbrennung zu CO_2-Emissionen. An dieser Stelle könnten global in der Öl- und Gasindustrie 0,3 Gt an Emissionen eingespart werden.

Neben der Verringerung der Treibhausgasemissionen können Öl- und Gasunternehmen insofern von einer Abscheidung der Fackelgase profitieren, als diese am Standort selbst genutzt oder als Treibstoff oder Grundstoff für die Chemieindustrie verkauft werden können, ohne dass eine aufwendige Veredelung erforderlich ist. Die zusätzlichen Gewinne bieten einen Anreiz für die Einrichtung von Abscheidungs-, Verarbeitungs- und Transportanlagen – und für die Unternehmen aus dem Maschinenbausektor wäre es natürlich interessant, die entsprechenden Anlagen bereitzustellen.

Entdeckung und Reparatur von Lecks. Gasförmige Kohlenwasserstoffe gelangen bei der Öl- und Gasförderung auch durch Lecks ins Freie. Durch eine Reduzierung dieser Emissionen um 40 % ließen sich 0,15 Gt an Treibhausgasen einsparen. Für die Entdeckung von Lecks wird allerdings Spezialausrüstung wie Satelliten oder Infrarotkameras benötigt. Die zur Reparatur von Lecks erforderlichen Geräte sind zwar preiswert, aber die Arbeitskosten können hoch sein. Wenn Unternehmen aus dem Maschinenbausektor in diesem Bereich aktiv werden wollen, sollten sie gegebenenfalls eigene Überwachungs- und Reparaturleistungen anbieten.

Große Umsatzpotenziale können durch die Bereitstellung von Komponenten für BEVs sowie Batterien, Elektromotoren und Elektronik realisiert werden.

Energiemanagementsysteme (EnMS). Durch die Überwachung des Energieverbrauchs und den Abgleich mit einer Benchmark können Unternehmen aus allen Bereichen des verarbeitenden Gewerbes gegebenenfalls beträchtliche Einsparpotenziale ermitteln. Mit Hilfe von EnMS können sie ihre eigenen Kennzahlen mit KPIs für optimale Praktiken vergleichen und den Verbrauchstrend überwachen. Aufgrund der daraus resultierenden Kosteneinsparungen sind EnMS bereits wirtschaftlich tragbar und können den Gesamtverbrauch eines Unternehmens um bis zu 10 % senken; weltweit könnten sie die Gesamtemissionen um 0,09 Gt reduzieren. Dabei sind Emissionssenkungen durch effiziente Anlagen und einen intelligenten Betrieb nicht einbezogen; diese werden bei anderen Hebeln berücksichtigt.

An dieser Stelle bieten sich Unternehmen aus dem Maschinenbausektor verschiedene Chancen: Entwicklung und Vertrieb von EnMS-Technologie, Bereitstellung von Technologien für weitere, durch EnMS ermöglichte Emissionssenkungen oder Nutzung der Benchmarkleistungen und der Erfahrungen in der Kundenbetreuung für den Vertrieb von EnMS-Leistungen und Audits.

Effizientes Düngemanagement. Durch den Einsatz natürlicher Dünger (z. B. Gülle) werden weltweit beträchtliche Volumina an Treibhausgasen (vor allem Stickoxide) ausgestoßen. Ein besseres Düngemanagement könnte zu einer Emissionsreduzierung um 0,08 Gt pro Jahr führen. Durch gutes Düngemanagement wird die Boden- und Wasserverschmutzung infolge eines übermäßigen Düngereinsatzes verringert, und die Landwirte sparen dabei noch Geld.

Viele entsprechende Techniken sind bereits wirtschaftlich tragbar. Unternehmen aus dem Maschinenbausektor können die Messgeräte liefern, mit deren Hilfe die Inhaltsstoffe natürlicher Düngemittel und die Nährstoffkonzentration im Boden bzw. im zur Bewässerung eingesetzten Wasser bestimmt werden können. Durch Technologien aus der Präzisionslandwirtschaft lässt sich die Düngeausbringung auf den Bedarf auf den einzelnen Feldern abstimmen, sodass der Düngereinsatz sinkt. Daraus ergeben sich weitere Einsparungen und Treibhausgasreduktionen.

Kategorie 3 – Technisch mögliche, aber wirtschaftlich noch nicht tragbare Hebel

Auch der teilweise Ersatz von Klinker kann Treibhausgasemissionen stark reduzieren.

Diese Kategorie umfasst alle Hebel, die für einen umfassenden Einsatz noch nicht infrage kommen, weil sie entweder noch nicht in der Breite angewendet werden können oder noch zu teuer sind. Ob das volle Potenzial dieser Hebel genutzt werden kann, hängt davon ab, ob sie verbreitet eingesetzt werden können. Dies ist jedoch ohne beträchtliche finanzielle und regulatorische Unterstützung seitens des Staats unwahrscheinlich. Wenn sie in vollem Umfang und in allen Sektoren eingesetzt würden, könnten die Treibhausgasemissionen dadurch um 17 Gt verringert werden. Diejenigen Unternehmen, welche die für einen umfassenden Einsatz der Technologien erforderlichen Forschungen durchführen, können zudem davon profitieren, dass die anfallenden Forschungs- und Entwicklungskosten eine Anwendung der entsprechenden Methoden in verschiedenen Sektoren ermöglichen, sodass die Forschung rentabler wird. Die folgenden Hebel sollten in Betracht gezogen werden:

Elektrische Fahrzeuge. Wie stark die Emissionen tatsächlich sinken, wenn Fahrzeuge durch Elektromotoren anstatt durch Verbrennungsmotoren angetrieben werden, hängt von der Verbreitung von Elektroantrieben ab. Bei einer vollständigen Umstellung des globalen Straßenverkehrs auf Elektromobilität würden jährlich 2,4 Gt Treibhausgase eingespart. Ob dies eintritt, hängt wiederum direkt davon ab, ob alle in Kategorie 1 beschriebenen Maßnahmen zur Reduzierung der CO2-Intensität des Stromsektors durchgeführt werden.

Dieser Hebel ist bereits verfügbar und auch wirtschaftlich tragbar, wenn es um Leichtfahrzeuge und kurze Strecken geht, z. B. in der lokalen Paketauslieferung. Wenn das Emissionsreduktionspotenzial von Elektrofahrzeugen vollständig ausgereizt werden soll, müssen aber auch die Ladeinfrastruktur und Batterieproduktionskapazitäten ausgebaut werden. In der Theorie ist dies wirtschaftlich tragbar, aber auf dem Weg hin zu diesem Ziel ist beträchtliche politische Unterstützung vonnöten.

Die Umstellung der bestehenden Autofabriken auf die Produktion von batteriebetriebenen Fahrzeugen bietet ein Marktpotenzial von rund einer Billion Euro, sofern künftig tatsächlich alle Fahrzeuge elektrisch fahren. Auch bei Zulieferbetrieben, die Bautei-

le für batteriebetriebene Fahrzeuge, z. B. Batterien, Elektromotoren und Elektronik, herstellen, bieten sich beträchtliche Chancen.

Optimierung von Verbrennungsmotoren. Durch Effizienzsteigerungen bei Verbrennungsmotoren für Kfz um 30 % ließen sich die Treibhausgasemissionen potenziell um 1,2 Gt reduzieren. Dabei könnte einerseits die Effizienz der Motoren selbst verbessert werden, andererseits könnten die Anlagen zur Herstellung leichterer Fahrzeuge und Technologien zur Energierückgewinnung (z. B. sogenannter "Hybridmotoren" mit Bremsenergierückgewinnung) verfeinert werden.

Für die Entwicklung und den Einsatz dieser Technologien fallen zusätzlich zu den Kosten für den Ersatz aller Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren durch Elektrofahrzeuge beträchtliche Forschungs- und Entwicklungskosten an. Wenn dieser Hebel in vollem Umfang genutzt werden soll, sind also beträchtliche finanzielle Investitionen sowie politische und regulatorische Unterstützung erforderlich – ähnlich wie bei der Nachrüstung von Katalysatoren, die in den Neunzigerjahren staatlich vorgeschrieben wurde.

Nutzung von Methangas aus Abfällen. Bei der Zersetzung von organischen Abfällen entsteht Methangas, das abgeschieden und zur Herstellung von Biomethantreibstoffen verwendet werden kann, für die es wiederum zahlreiche Einsatzmöglichkeiten gibt, u. a. in der Stromerzeugung, im Verkehr und in der Wärmeversorgung. Bei einer weltweiten Nutzung dieses Hebels ließen sich die Treibhausgasemissionen um 0,67 Gt reduzieren.

Bisher ist das Recycling des bei der Abfallzersetzung entstehenden Methangases wirtschaftlich nicht tragbar. Wahrscheinlich sind beträchtliche Subventionen und eine CO2-Bepreisung erforderlich, damit diese Technik tatsächlich genutzt wird. Aber wenn die Technologie verbreitet genutzt wird, können Unternehmen aus dem Maschinenbau die erforderlichen Anlagen zur leckagefreien Speicherung von Methan sowie anaerobe Faulbehälter und Gasifizierungs- und Aufbereitungsanlagen zur Aufbereitung des Gases für andere Zwecke bereitstellen. Die entsprechenden Investitionen könnten sich auf bis zu 280 Milliarden Euro belaufen.

Technologieunternehmen können von der Bereitstellung von Ausstattung für die Produktion grüner Brennstoffe in verschiedenen Industrien profitieren.

Methanabscheidung im Kohlebergbau. Beim Kohleabbau wird das in der Kohle gespeicherte Methan freigesetzt. Dies bringt zum einen Explosionsrisiken (und damit Gefahren für die Bergleute) mit sich, und zum anderen ist dieses freigesetzte Methan ein besonders wirksames Treibhausgas; durch seine Abscheidung könnten 0,3 Gt an Emissionen eingespart werden. Der Markt für Anlagen zur Abscheidung des Methans, für Pumpen, die es in Speicher befördern, und für seine Nutzung als Treibstoff zur Wärme- oder Stromerzeugung hat ein potenzielles Volumen von rund 20 Milliarden Euro.

Abscheidung von Methan aus Gülle. Rund 7 % der Treibhausgasemissionen der weltweiten Landwirtschaft sind auf Methan zurückzuführen, das im Zuge der Güllefermentation freigesetzt wird. Durch eine Abscheidung dieser Gase und ihre Nutzung zur Strom- oder Wärmeerzeugung ließen sich die Emissionen des Sektors um 0,21 Gt verringern. Bisher sind die Methanabscheidung und die Umwandlung des Gases in Treibstoff in Bioraffinerien jedoch zu kostspielig, um wirtschaftlich tragbar zu sein. Für

die Unternehmen im Maschinenbausektor ergibt sich daraus die Chance, die dafür erforderlichen Anlagen zu entwickeln und zu vertreiben; das potenzielle Marktvolumen beläuft sich auf 85 Milliarden Euro.

Sobald es technologisch machbar ist, sollten auch Maschinen zur Sammlung von Gülle entwickelt werden, um zusätzliche Rohstoffe für Bioraffinerien liefern zu können.

Ersatz von Zementklinker. Bei der Herstellung von Zement fällt Zementklinker an, der zur Erzeugung verschiedener Zementprodukte verwendet wird. Für diesen Prozess ist eine beträchtliche Hitzezufuhr erforderlich, und der Anteil des Sektors an den weltweiten Treibhausgasemissionen ist mit 2,3 Gt pro Jahr überdurchschnittlich hoch. Wenn Zementklinker durch andere Materialien wie z. B. Stahlschlacke, Flugasche oder granulierte Hochofenschlacke ersetzt würde, könnten 80 % dieser Emissionen eingespart werden.

Um der Erderwärmung entgegenzuwirken, müssen wir unsere Treibhausgasemissionen um weitere 17 Gt reduzieren.

Die entsprechenden Technologien sind bereits im Einsatz, können aber nur in begrenztem Umfang genutzt werden, weil nicht genügend Ersatzstoffe vorhanden sind. Zudem können neue Optionen zum Ersatz von Zementklinker in einigen Ländern aufgrund von Sicherheitsvorschriften nicht angewendet werden. Selbst bei einer Teilersetzung würden die Treibhausgasemissionen jedoch deutlich sinken. Und wenn sich das Verfahren weiter verbreitet, können die Maschinenbauunternehmen vom Vertrieb vorhandener und künftiger Ersatzsysteme für Zementklinker profitieren.

Methanpillen. Kühe und andere Wiederkäuer produzieren jährlich insgesamt 0,4 Gt an Treibhausgasemissionen durch das Methan, das sie freisetzen. Eine "Methanpille", welche die Bildung von Methan während der Verdauung verhindern soll, ist zwar bisher technisch noch nicht machbar, wird aber in klinischen Studien getestet.

Allerdings ist es unwahrscheinlich, dass Methanpillen jemals aus eigener Kraft wirtschaftlich tragbar sind, weil ihre Verabreichung an Nutztiere weder zu zusätzlichen Umsätzen noch zu Kosteneinsparungen führt. Sie müssten also subventioniert oder durch eine CO2-Bepreisung unterstützt werden. Unternehmen aus dem Maschinenbausektor könnten die entsprechenden Anlagen für die Herstellung solcher Pillen entwickeln und vertreiben.

Reismanagement. Beim Reisanbau werden die Felder zu Beginn der Saison geflutet, um die Verbreitung von Unkräutern und Ungeziefer zu verhindern. Bei der Verwertung des verbleibenden organischen Materials durch Mikroben entsteht Methan. 10 % bzw. 0,3 Gt der Gesamtemissionen des Agrarsektors entfallen auf den Reisanbau.

Durch ein sinnvolles Anbaumanagement, bei dem die Felder zu Beginn und in der Mitte der Saison trockengelegt werden, können diese Emissionen um 90 % reduziert werden. Es wurde bereits intensiv an der Züchtung von Hybriden gearbeitet, die weniger Wasser benötigen und ertragreicher sind; bisher ist jedoch noch nicht nachgewiesen, dass ein umfassender Anbau dieser Sorten wirtschaftlich sinnvoll ist. Zudem bieten sich kaum Chancen für Unternehmen aus dem Maschinenbausektor, da Reis zumeist in Schwellenländern in Asien und Afrika angebaut wird, wo nur begrenzt Gelder für weitere Forschungen zur Verfügung stehen.

Kategorie 4 – Umweltfreundliche Treibstoffe

Diese Kategorie umfasst alle Technologien, die bei der Ersetzung von fossilen Brennstoffen durch umweltfreundliche Treibstoffe aus Wasserstoff, Biomasse und "Power-to-X"-Brennstoffen (P2X) (bei denen Strom umgewandelt wird) eine Rolle spielen. Zur vollständigen Nutzung des Dekarbonisierungspotenzials muss die Energie für die Herstellung von Wasserstoff und von P2X-Brennstoffen vollständig aus erneuerbaren Quellen stammen. Daher müssen sowohl die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien als auch die Infrastruktur, die für die Produktion und den Vertrieb umweltfreundlicher Treibstoffe erforderlich ist, vorhanden sein, bevor dieser Hebel in großem Maßstab wirtschaftlich rentabel wird. Sobald diese initiale Hürde überwunden ist, können zahlreiche Sektoren und Anwendungen davon profitieren. Insgesamt können die globalen Treibhausgasemissionen durch den Einsatz solcher Treibstoffe um 4,9 Gt verringert werden.

Für die Unternehmen aus dem Maschinenbausektor bietet sich die Chance, die Technologie zur Herstellung umweltfreundlicher Treibstoffe in verschiedenen Sektoren bereitzustellen. Im kommenden Jahrzehnt ergibt sich daraus ein potenzielles Marktvolumen in Höhe von 2,1 Billionen Euro. Zu nennen wäre z. B. der Bau von Elektrolyseanlagen für die Herstellung umweltfreundlichen Wasserstoffs für die Chemieindustrie. Allein in diesem Bereich sind Umsätze in Höhe von 410 Milliarden Euro möglich.

Die Unternehmen können auch die Technologie und Ausrüstung liefern, die für die Substitution von fossilen Brennstoffen durch umweltfreundliche Alternativen in verschiedenen Industriezweigen benötigt werden. Für die Herstellung synthetischer Treibstoffe für die Luft- und Schifffahrt (in diesen Bereichen sind Elektromotoren keine Option) werden Investitionen in Höhe von 1,1 Billionen Euro erforderlich sein.

Daneben bieten sich Chancen in der Anwendung von Wasserstoff in Brennstoffzellen, die im Verkehr und anderen Sektoren eingesetzt werden. Wasserstoff dient zudem als Reduktionsmittel in der Eisen- und Stahlindustrie. Wasserstoff und synthetische Treibstoffe können auch anstelle von fossilen Brennstoffen in Hochtemperaturbrennern eingesetzt werden. Insgesamt beläuft sich das potenzielle Marktvolumen für den Bau von Anlagen, in denen Biogas oder Biomethan zur Substitution von Erdgas hergestellt werden kann, auf rund 600 Milliarden Euro.

Es ist die Aufgabe eines jeden, die Auswirkungen des Klimawandels abzuschwächen durch die Reduzierung der durch ihn verursachten Treibhausgasemissionen.

Kategorie 5 – Kohlenstoffabscheidung, -nutzung und -speicherung (CCUS)

In dieser Kategorie geht es um den Einsatz von CCUS-Technologien zur Abscheidung, Verwendung und Speicherung von Treibhausgasen, die bei der Stromerzeugung und anderen industriellen Prozessen anfallen, wo fossile Brennstoffe nicht in wirtschaftlich sinnvoller Weise durch umweltfreundliche Brennstoffe ersetzt werden können oder die bei der Förderung von Erdgas entstehen. Durch solche Technologien können die Gesamtemissionen potenziell um 7,3 Gt reduziert werden, und derzeit werden umfangreiche Forschungen dazu durchgeführt, ob und wie abgeschiedenes CO2 in synthetische Treibstoffe umgewandelt werden kann. Alternativ kann das CO2 langfristig unter der Erde oder sogar im Meer gespeichert werden. Damit dies jedoch in großem Maßstab möglich ist, müssen einerseits wirtschaftliche Fragen geklärt und anderer-

seits Sicherheitsbedenken im Zusammenhang mit solchen Vorhaben adressiert werden.

Das Interesse an der Technologie wächst jedoch. Im Jahr 2018 waren 43 kommerzielle große CCS-Anlagen vorhanden, von denen 18 in Betrieb, 5 im Bau und 20 in verschiedenen Entwicklungsstadien waren. Diese Anlagen finden sich zumeist an Standorten, in deren Nähe hohe CO2-Volumina emittiert werden, z. B. nahe Kraftwerken und anderen Direktemittenten von Treibhausgasen.

Bis Technologien entwickelt werden, mit deren Hilfe CCUS-Anlagen rentabler werden (oder die Preise für Treibhausgasemissionen so stark ansteigen, dass die entsprechenden Kosten kompensiert werden), bleiben CCUS-Anlagen ein reiner Kostenfaktor, der zusätzlich zur bestehenden Infrastruktur anfällt. Deshalb sind staatliche Anreize erforderlich, um sie wirtschaftlich tragbar zu machen. Außerdem sind für den Betrieb dieser Anlagen kaum neue Maschinen erforderlich; ihr Wert liegt darin, dass sie den Lebenszyklus der vorhandenen emissionsintensiven Maschinen und Anlagen verlängern, die von den Betrieben in der Nähe ihrer Standorte verwendet werden, z. B. Hochöfen für die Eisen- und Stahlproduktion oder Kohlekraftwerke, deren Markt bereits beträchtlich schrumpft.

Die wirtschaftliche Tragbarkeit von CCUS hängt in hohem Maße von den verfügbaren Speicherkapazitäten, den Transportkosten und der Reinheit des abgeschiedenen Gases ab: Je reiner es ist, desto geringer sind die Kosten für die Aufbereitung zu anderen Nutzungszwecken. Die wirtschaftliche Tragbarkeit ist also je nach Sektor unterschiedlich. In der Chemieindustrie (insbesondere bei der Produktion von Ammonium und Petrochemikalien) sowie in der Erdgasförderung ist sie mittelmäßig, bei der Stromerzeugung sowie der Aluminium-, Zement-, Eisen- und Stahlproduktion ist sie dagegen gering. Der Einsatz solcher Anlagen und der erforderlichen Technologie hängt also von der wirtschaftlichen Tragbarkeit von CCUS im jeweiligen Sektor ab; das potenzielle Marktvolumen wird auf 2,4 Milliarden Euro geschätzt.

Nächste Schritte

Unternehmen aus dem Maschinenbausektor stellen die erforderliche Ausrüstung und die Dienstleistungen bereit, die zum Erreichen der globalen Treibhausgasreduktionsziele benötigt werden. Sie tragen bereits jetzt zur Reduzierung von 13 Gt Treibhausgasemissionen bei, die durch wirtschaftlich tragbare und bereits verfügbare Technologien eingespart werden können.

Allerdings müssen die Emissionen um weitere 17 Gt gesenkt werden, wenn wir die Auswirkungen der Erderwärmung abmildern wollen. Diese Aufgabe ist sehr viel schwieriger. Es ist weitgehend Sache der Unternehmen aus dem Maschinenbausektor, die dafür erforderlichen Technologien zu entwickeln und zu produzieren. Dafür müssen sie zukunftsorientiert vorgehen und den Bedarf ihrer Kunden vorwegnehmen, wenn CO2-Emissionen mit zunehmender Dringlichkeit reduziert werden müssen. Glücklicherweise besteht ein beträchtliches Wachstumspotenzial.

Um dieses Wachstumspotenzial auch zu nutzen, empfehlen wir drei Vorbereitungsschritte:

- **Die eigene CO2-Intensität reduzieren.** So kann ein Unternehmen seinen Kunden zeigen, dass es die Dringlichkeit der Dekarbonisierung erfasst hat.Wenn ein Unternehmen selbst in vorbildlicher Weise vorangeht, kann es sich dadurch auch einen Wettbewerbsvorteil gegenüber Wettbewerbern verschaffen, die sich auf diesem Gebiet weniger engagieren. Unter anderem können Standards für die CO2-Reduzierung im eigenen Sektor entwickelt und gepflegt werden. Dasjenige Unternehmen, das als Erstes in seinem Sektor eine CO2-arme Produktion verwirklicht, hat einen beträchtlichen Startvorteil, sobald den Kunden zunehmend bewusst wird, dass sie ihren eigenen CO2-Fußabdruck verringern müssen.

- **Das Produkt- und Dienstleistungsportfolio analysieren.** Dabei sind verschiedene Klimawandelszenarien und die entsprechenden Chancen und Risiken zu berücksichtigen. So lassen sich neue Greentech-Chancen in bisher nicht genutzten Sektoren und Anwendungen erkennen, und es wird möglich, Chancen in neuen Märkten gegebenenfalls rasch zu nutzen. Außerdem ist das Unternehmen besser dazu in der Lage, vom Aufschwung wirklich disruptiver, neuer umweltfreundlicher Technologien zu profitieren. So hat z. B. die überraschend schnelle Ersetzung von Glühbirnen durch LED-Beleuchtungssysteme dazu geführt, dass zahlreiche führende Unternehmen ihren Wettbewerbsvorteil rasch verloren haben.

- **Bereits jetzt mit der Entwicklung neuer Ideen beginnen, um später Produkte und Dienstleistungen anbieten zu können, mit denen die Kunden ihre Treibhausgasemissionen reduzieren können.** Leuchtturmprojekte im Bereich Forschung und Entwicklung können dazu beitragen, die technische und wirtschaftliche Tragbarkeit der entsprechenden Konzepte zu ermitteln; außerdem sollte das Angebotsportfolio organisch oder durch strategische Übernahmen verbessert werden.

Außerdem sollten die Mitarbeiter darin geschult werden, Ansatzpunkte für Effizienzgewinne in den von ihnen besuchten Fabriken und Anlagen zu erkennen und regelmäßig über neue Ideen und mögliche Chancen zu berichten. Zudem könnten Servicemitarbeiter die Kunden vor Ort zum Thema Energieeffizienz beraten. Zuletzt können die Unternehmen potenziellen Neukunden aufzeigen, wie sie bei Bestandskunden Dekarbonisierungsmöglichkeiten sowie Effizienz- und Kostenverbesserungen umgesetzt haben.

Es obliegt uns allen, die Auswirkungen des Klimawandels abzumildern, und dazu können Unternehmen aus allen Sektoren beitragen, indem sie ihre Treibhausgasemissionen verringern. Der Maschinenbau spielt dabei eine besonders wichtige Rolle. Durch Effizienzsteigerungen bei Maschinen und Ausrüstung können die globalen Emissionen um 13 Gt bzw. 37 % gesenkt werden – und zwar unverzüglich. Durch die Verbesserung vorhandener und die Entwicklung neuer Technologien sind Emissionsreduzierungen um weitere 17 Gt bzw. 49 % möglich. Diese Emissionssenkungen und die Bekämpfung des Klimawandels sind schon für sich genommen wichtig; daneben ergeben sich jedoch auch wertvolle Chancen auf neue Wachstumsquellen für Unternehmen aus dem Maschinenbausektor. Das potenzielle Marktvolumen beläuft sich auf rund 10 Billionen Euro.

Allerdings kann der Sektor dies selbst angesichts der beträchtlichen wirtschaftlichen Anreize nicht allein aus eigener Kraft leisten. Die Kunden aus der Industrie müssen auch dazu bereit sein, in die benötigten neuen Technologien zu investieren. Und die Regierungen müssen zu entsprechenden Unterstützungs- bzw. ggf. Subventionsleistungen bereit sein. Es ist jedoch klar, wie der Weg zum Erfolg aussieht – und er sollte unverzüglich eingeschlagen werden.

Anmerkungen

1. In dieser Studie werden Treibhausgasemissionen durchweg als CO2-Äquivalente angegeben. Mit dieser Methode lässt sich das globale Erwärmungspotenzial sämtlicher Treibhausgase konsistent definieren. Das Erderwärmungspotenzial von Methan ist z. B. 28-mal so hoch wie dasjenige von CO2. In dieser Studie betrachten wir die Emissionsdaten von 34 Mitgliedsstaaten der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD; ohne Südkorea und Mexiko) sowie der vier BRIC-Länder (Brasilien, Russland, Indien und China). Detaillierte Daten zu den Emissionen anderer Länder stehen nicht zur Verfügung. Emissionen aus der Landnutzung, Änderungen der Landnutzung und der Forstwirtschaft gehen nicht in die Berechnungen ein.

2. Wir verwenden an dieser Stelle das Sustainable Development Scenario der International Energy Agency (IEA) als Grundlage für den weltweiten Energiemix und die CO2-Intensität. Darin wird angenommen, dass erneuerbare Energien im Jahr 2030 einen Anteil von 49 % an der Energieerzeugung haben

3. Gebäudehüllen gehören ebenfalls zur Kategorie 2, spielen aber für den Maschinenbausektor keine direkte Rolle. Dort bietet sich ein Reduktionspotenzial um 0,7 Gt.

4. Dabei verwenden wir das Sustainable Development Scenario der IEA als Grundlage, laut dem sich der Anteil erneuerbarer Energien an der gesamten Stromerzeugung von 25 % im Jahr 2017 auf 49 % im Jahr 2030 weltweit erhöht.

Die Autoren

Markus Lorenz ist Managing Director and Senior Partner im Münchner Büro der Boston Consulting Group. Sie können ihn per E-Mail unter lorenz.markus@bcg.com kontaktieren.

Dr. Martin Lüers ist Principal im Münchner BCG-Büro. Sie können ihn per E-Mail unter lueers.martin@bcg.com kontaktieren.

Max Ludwig ist Principal im Münchner BCG-Büro. Sie können ihn per E-Mail unter ludwig.max@bcg.com kontaktieren.

Simon Rees ist Managing Director and Partner im Chicagoer Büro von BCG. Sie können ihn per E-Mail unter rees.simon@bcg.com kontaktieren.

Hartmut Rauen ist Stellvertretender Hauptgeschäftsführer des VDMA. Er trägt die Verantwortung für die Bemühungen der Vereinigung in den Bereichen Technologie, Normen, Forschung, Bildung und Innovation. Er ist auch Vorstandsvorsitzender des Forschungskuratoriums Maschinenbau e.V. (FKM).

Matthias Zelinger ist Geschäftsführer des Fachverbands Power Systems im VDMA sowie klima- und energiepolitischer Sprecher des Verbandes. Außerdem leitet er die Aktivitäten des Klima- und Energieforums des VDMA.

Robert Stiller ist Referent Forum Energie im VDMA. Er vertritt das Forum gegenüber politischen Entscheidungsträgern und der Öffentlichkeit.

Anmerkung

Dieser Bericht wurde in Zusammenarbeit mit dem Verband Deutscher Maschinen und Anlagenbau (VDMA), dem deutschen Industrieverband des Maschinenbaus, verfasst.

Die Autoren bedanken sich bei den vielen Mitgliedsfirmen des VDMA, die ihre Expertise und Anregungen eingebracht haben.

Danksagungen

Die Autoren möchten auch die Beiträge von Cornelius Pieper, Jens Burchardt, Joschka Zimmermann, Janosch Bär und Edward Baker zur Forschung und zum Verfassen dieses Berichts würdigen.

Kontakt

Wenn Sie über diesen Bericht diskutieren möchten, wenden Sie sich bitte an einen der Autoren.

Weitere Informationen finden Sie auf unserer Internetseite www.bcg.de

Folgen Sie uns auch auf Facebook und Twitter.

© Boston Consulting Group 2020. Alle Rechte vorbehalten.
07/2020

VDMA