



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit

GreenTech made in Germany 3.0

Umwelttechnologie-Atlas für Deutschland



Zukunft 
made in Germany

IMPRESSUM

- Herausgeber:** Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)
Referat Öffentlichkeitsarbeit · 11055 Berlin
E-Mail: service@bmu.bund.de · Internet: www.bmu.de
- Text:** Roland Berger Strategy Consultants
Ralph Büchele, Dr. Torsten Henzelmann, Andrea Wiedemann
- Projektkoordination:** BMU: Peter Franz, Dr. Florian Kammerer, Sahra Koep, Sabine Veth, Tanja Nowak,
Referat ZG III 2
- Gestaltung:** dot.blue – communication & design, www.dbcd.de
- Abbildungen:** Titel: BMU/Christoph Edelhoff; BMU/Brigitte Hiss; BMU/Bernd Müller; BMU/Rupert Oberhäuser;
BMU/Bernd Wenzel (IFNE); Thomas Härtrich/transit; Thomas Imo/photothek; Thomas Trutschel/photothek.
net; Rich LaSalle, Konrad Wothe/Getty Images; Roberto Mettifogo, Pedro Castellano/Getty Images;
Titelgestaltung: Anja Hess
Seite 5: H.-G. Oed
Seite 6: © Stefan Körber – Fotolia.com
Seite 12: BMU/Bernd Müller
Seite 24: BMU/Rupert Oberhäuser
Seite 26: © Brian Jackson – Fotolia.com; BMU/Brigitte Hess; Polka Dot Images – JupiterImages.com
Seite 44: BMU/Thomas Härtrich
Seite 64: BMU/Brigitte Hiss
Seite 86: BMU/Christoph Edelhoff
Seite 98: © timy – Fotolia.com
Seite 112: BMU/Rupert Oberhäuser
Seite 124: BMU/Bernd Müller
Seite 136: © ArtHdesign – Fotolia.com
Seite 148: BMU/Bernd Müller
Seite 160: © lassedesignen – Fotolia.com
Seite 170: wongwean – shutterstock.com
Seite 179: BMU/Bernd Müller
Seite 180: © LE image – Fotolia.com
Seite 206: BMU/Christoph Busse/transit
Seite 223: BMU/Thorsten Falk
Seite 224: BMU/transit/Härtrich
- Stand:** Februar 2012
- 1. Auflage:** 5.000 Exemplare



INHALT

Einführung	4
Executive Summary	6
Megatrends - Globale Wachstumstreiber für die Märkte der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz	12
Der internationale und nationale Markt für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz - Klassische Wirtschaftszweige als Grundlage des Wachstums der Umwelttechnik	24
Die sechs Leitmärkte der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz	44
Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung	45
Energieeffizienz	64
Rohstoff- und Materialeffizienz	86
Nachhaltige Mobilität	98
Kreislaufwirtschaft	112
Nachhaltige Wasserwirtschaft	124
Die Umwelttechnik und Ressourceneffizienz als Modernisierungstreiber klassischer Wirtschaftszweige - Vier Transformationsfelder	136
Aufbruch in die Green Economy	137
Dezentrale Energieversorgung	148
Smart Cities	160
Umwelttechnik-Dienstleistungen - Neue Herausforderungen, neue Geschäftsmodelle	170
Umwelttechnik und Ressourceneffizienz in Deutschland - Die Branchenstruktur	180
Unterstützungsmaßnahmen in den Bundesländern	206
Highlights der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz „made in Germany“	224
Verzeichnis der Tabellen und Abbildungen	242
Literaturverzeichnis	248

EINFÜHRUNG

Die Umwelttechnik und Ressourceneffizienz hat sich global wie auch in Deutschland zu einem Wachstumstreiber entwickelt. Unternehmen agieren dort heute in einem hoch dynamischen Umfeld, das vom technischen Fortschritt sowie von Veränderungen der politischen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen geprägt ist. Zugleich sind innovative Produkte, Verfahren und Dienstleistungen, die auf Umweltverträglichkeit und Effizienz setzen, auf den internationalen Märkten gefragt wie nie zuvor.

Der vorliegende Atlas *GreenTech made in Germany 3.0* setzt neue Akzente: Er betrachtet die Umwelttechnik und Ressourceneffizienz stärker als in den vorangegangenen Auflagen im Kontext der zentralen ökologischen, ökonomischen und politischen Herausforderungen. Ausgangspunkt ist dabei die Überzeugung, dass die GreenTech-Branche und ihre Akteure bei der Transformation hin zu einer Wirtschaft eine wesentliche Rolle spielen, die das Leitbild der Nachhaltigkeit beachtet und umsetzbar macht: einer Green Economy. Die klassischen Wirtschaftszweige sind, wie der Atlas zeigt, integraler Bestandteil in diesem Prozess des „Greening“: Zum einen unterstützt die Verankerung der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz in den klassischen Industrien die Entwicklung der grünen Technologien. Zum anderen erweisen sich diese Technologien als Modernisierungstreiber für die klassischen Industrien selbst, insbesondere bei der Verbesserung ihrer Energie-, Rohstoff- und Materialeffizienz, die zunehmend zu einem strategischen Vorteil im internationalen Wettbewerb wird.

GreenTech made in Germany 3.0 bietet wieder eine ausführliche Darstellung der sechs Leitmärkte der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz (Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung, Energieeffizienz, Rohstoff- und Materialeffizienz, Nachhaltige Mobilität, Kreislaufwirtschaft und Nachhaltige Wasserwirtschaft), die eine bewährte Struktur für die Analyse der GreenTech-Branche ist.

Allerdings entwickeln sich die Leitmärkte sehr dynamisch, sodass die Untergliederung nach Leitmärkten allein nicht mehr in der Lage ist, die Trends und Verschiebungen differenziert abzubilden. Daher werden im Atlas unterhalb der Leitmarktebene zwei weitere Hierarchiestufen eingezogen, um Dynamik und Systematik gleichermaßen gerecht zu werden: Marktsegmente und Technologielinien. Damit ist einerseits ein hoher Detaillierungsgrad gewährleistet, andererseits behält dieses Differenzierungsschema den Überblick über Entwicklungen, die sich in einem größeren Maßstab vollziehen.

Um dem Anspruch Rechnung zu tragen, die Umwelttechnik und Ressourceneffizienz im Kontext der zentralen ökologischen, ökonomischen und politischen Herausforderungen darzustellen, enthält *GreenTech made in Germany 3.0* eine weitere Neuerung: Es werden insgesamt vier Transformationsfelder auf dem Weg zu einer Green Economy beschrieben. Diese Erweiterung bereichert den Umwelttechnik-Atlas, denn sie zeigt konkret, welche Lösungsansätze die Umwelttechnik und Ressourceneffizienz bietet, um die Herausforderungen der demografischen Entwicklung, der Ressourcenknappheit, des Klimawandels und anderer globaler Megatrends zu bewältigen.

Die Beschreibung der vier Transformationsfelder ist eingebettet in eine umfassende Darstellung und Analyse der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz am Standort Deutschland. Den Kern dieses Branchenportraits bildet die Unternehmensdatenbank, die im Auftrag des Bundesumweltministeriums für *GreenTech made in Germany 3.0* erstellt wurde. Sie enthält rund 2.000 Datensätze von deutschen GreenTech-Unternehmen. Die Zahl der Firmen, die ihr Profil im Rahmen des Umwelttechnik-Atlas veröffentlichen, hat sich damit gegenüber der Auflage von 2009 fast verdoppelt.





Executive Summary

GreenTech-Branche auf Wachstumskurs

Die Wirtschafts- und Finanzkrise 2009 hat die Expansion der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz nicht bremsen können: Der globale Markt für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz ist zwischen 2007 und 2010 um durchschnittlich 11,8 Prozent pro Jahr gewachsen und hat ein Volumen von 1.930 Milliarden Euro erreicht. Die Marktprojektion aus der zweiten Auflage des Umwelttechnik-Atlas – 1.670 Milliarden Euro – wurde also übertroffen. Als Katalysatoren für das Wachstum der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz haben sich zum einen die dynamische Entwicklung der Umwelttechnik-Dienstleistungen erwiesen, zum anderen die „grünen“ Konjunkturprogramme, die international als Reaktion auf die Finanz- und Wirtschaftskrise beschlossen wurden.

Im Jahr 2011 beziffert sich das Volumen des globalen Marktes für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz auf 2.044 Milliarden Euro. Den größten Anteil daran stellt mit einem Volumen von 720 Milliarden Euro der Leitmarkt Energieeffizienz; im Jahr 2007 lag sein Volumen bei 538 Milliarden Euro. Diese Expansion wird getrieben von steigenden Energiepreisen sowie der Knappheit von Energieressourcen bei steigender Nachfrage. Vor diesem Hintergrund setzt sich weltweit die Einsicht in die Notwendigkeit durch, den Energieverbrauch so weit wie möglich zu reduzieren. Deshalb sind Produkte und Verfahren zur Verbesserung der Energieeffizienz zunehmend gefragt. Der Leitmarkt Energieeffizienz umfasst mit vier Marktsegmenten die wesentlichen Hebel, um den Energieverbrauch zu senken: energieeffiziente Produktionsverfahren, Querschnittstechnologien für Industrie und Gewerbe, energieeffiziente Gebäude und energieeffiziente Geräte. Die Verbesserung der Energieeffizienz wird in den nächsten Jahren für alle Volkswirtschaften von herausragender Relevanz sein. Deshalb sind weiterhin deutliche Zuwachsraten in diesem Leitmarkt zu erwarten.

Weltweit werden die sechs GreenTech-Leitmärkte im Jahr 2025 ein Gesamtvolumen von rund 4.400 Milliarden Euro erreichen. Das entspricht einem durchschnittlichen jährlichen Wachstum von 5,6 Prozent. Die Branche Umwelttechnik und Ressourceneffizienz bleibt also nach dem Auslaufen der in den Jahren 2008 und 2009 verabschiedeten Konjunkturprogramme auf Wachstumskurs. Die Energieeffizienz wird nach den vorliegenden Prognosen auch im Jahr 2025 mit einem Volumen von 1.236 Milliarden Euro den größten Anteil am weltweiten GreenTech-Markt einnehmen.

Das weltweite Wachstum der „grünen“ Märkte setzt positive Impulse für GreenTech-Anbieter aus Deutschland. Die deutsche GreenTech-Branche wuchs zwischen 2007 und 2010 jahresdurch-

schnittlich um 12 Prozent. Im Jahr 2011 hat die Umwelttechnik und Ressourceneffizienz „made in Germany“ ein Marktvolumen von 300 Milliarden Euro erreicht. Dank ihrer guten Positionierung auf internationalen Märkten profitieren die deutschen GreenTech-Unternehmen von der gestiegenen Nachfrage im In- und Ausland. Auch in Deutschland zeigt sich analog zum globalen GreenTech-Markt die Dominanz der Energieeffizienz: Mit 98 Milliarden Euro entfällt auf diesen Leitmarkt fast ein Drittel des Gesamtvolumens der deutschen Umwelttechnik-Branche. Daran zeigt sich die Stärke der deutschen Anbieter, die bei Lösungen zur Steigerung der Energieeffizienz eine führende Position halten. Vor allem in den Bereichen Mess-, Steuer- und Regeltechnik (MSR) sowie bei anderen Querschnittstechnologien (beispielsweise Elektromotoren, Wärmepumpen etc.) können Hersteller aus Deutschland ihre Stärken ausspielen.

Im Jahr 2025 wird für die Umwelttechnik und Ressourceneffizienz ein Marktvolumen von 674 Milliarden Euro prognostiziert. Mit einem Volumen von 220 Milliarden Euro wird der Leitmarkt Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung dann voraussichtlich den größten Anteil am Gesamtmarkt der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz in Deutschland stellen. Dieser Leitmarkt umfasst drei Handlungsfelder, die für eine klimaverträgliche Energieversorgung entscheidend sind: erneuerbare Energien, die umweltschonende Nutzung fossiler Energieträger und Energiespeicherung. In Deutschland wird die Entwicklung des Leitmarktes Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung ganz wesentlich vom Ausbau der erneuerbaren Energien getrieben. Daraus resultiert nicht nur ein Ausbau der Kapazitäten zur Stromerzeugung aus regenerativen Quellen, sondern auch ein zunehmender Bedarf an Speichertechnologien, denn die fluktuierende Einspeisung von erneuerbaren Energieträgern macht es schwieriger, das für die Netzstabilität erforderliche Gleichgewicht zwischen Stromerzeugung und Stromnachfrage auszubalancieren. Um einen Ausgleich herzustellen, spielen Speichertechnologien in den nächsten Jahrzehnten eine zunehmend wichtigere Rolle. Vor diesem Hintergrund ist in den nächsten Jahren ein deutliches Wachstum des Leitmarktes Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung zu erwarten.

Starke Position der Umwelttechnik und Energieeffizienz auf dem Weltmarkt und am Standort Deutschland

Ein Anteil von 15 Prozent am Weltmarkt ist ein Indikator für die exzellente internationale Positionierung deutscher GreenTech-Anbieter. Auch künftig werden sie vom global zunehmenden Bedarf nach Produkten und Lösungen der Umwelttechnik und

Ressourceneffizienz profitieren. Der Weltmarktanteil von „GreenTech made in Germany“ wird nach vorliegenden Prognosen im Jahr 2025 nach wie vor bei 15 Prozent liegen. Diesen Anteil zu halten, ist ein Zeichen für die Stärke der deutschen Branchenakteure: Sie müssen sich auf den internationalen Märkten gegen neue, offensiv auftretende Wettbewerber behaupten, die an den GreenTech-Wachstumschancen partizipieren wollen. Dazu zählen nicht nur Firmen aus Industriestaaten, sondern auch Konkurrenten aus den Schwellenländern; vor allem die Volksrepublik China treibt ihre Exporte in den Bereichen Photovoltaik und Windkraft vehement voran.

Der GreenTech-Anteil am Bruttoinlandsprodukt liegt inzwischen bei elf Prozent; bis 2025 soll dieser Anteil 15 Prozent betragen. Damit spiegelt sich die bedeutende Rolle der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz in Deutschland im wachsenden Beitrag dieser Branche zur Wirtschaftsleistung im Inland wider.

Das Wachstum der GreenTech-Branchen lässt sich zudem an den Beschäftigtenzahlen ablesen. 2011 gab es in diesem Wirtschaftszweig bezogen auf die sechs Leitmärkte 1,4 Millionen Arbeitsplätze. Bis 2025 ist mit einem Anstieg der Beschäftigtenzahl auf 2,4 Millionen zu rechnen.

Charakteristika der GreenTech-Branche in Deutschland

Die Umwelttechnik und Ressourceneffizienz ist eine typische Querschnittsbranche. Viele Unternehmen aus „klassischen“ Industriezweigen wie der Elektrotechnik, dem Maschinen- oder Fahrzeugbau haben in die Umwelttechnik diversifiziert. Gerade diese Verankerung in ihren Herkunftsbranchen hat sich für die Entwicklung der Umwelttechnik in Deutschland als ein wesentlicher Erfolgsfaktor erwiesen. Umgekehrt verdanken jedoch auch die klassischen Industriebranchen der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz wertvolle Impulse für Innovationen und Differenzierung am Markt.

Die deutsche GreenTech-Branche ist mittelständisch geprägt. Kleine und mittlere Unternehmen bilden in Deutschland die große Mehrheit der Akteure im Wirtschaftszweig Umwelttechnik und Ressourceneffizienz. Die durchschnittliche Belegschaftsgröße liegt bei rund 300 Mitarbeitern. Neun von zehn Unternehmen erwirtschaften einen Jahresumsatz von weniger als 50 Millionen. Im Durchschnitt liegt der Jahresumsatz eines GreenTech-Unternehmens in Deutschland bei knapp 27 Millionen Euro. Die Relation Umsatz pro Mitarbeiter liegt im Branchendurchschnitt bei 90.000 Euro – und damit

niedriger als in den „klassischen“ Industriezweigen wie der Elektrotechnik (circa 220.000 Euro) oder dem Fahrzeugbau (etwa 470.000 Euro). Die starke Rolle des Mittelstandes zeigt sich in allen Leitmärkten der deutschen Umwelttechnik und Ressourceneffizienz. Viele kleine und mittlere Unternehmen zeichnen sich durch Flexibilität und Innovationsstärke aus und bieten differenzierte Lösungen und Verfahren an, sodass die eher kleinteilige Branchenstruktur keinen Wettbewerbsnachteil auf den globalen Märkten darstellen muss.

Über 80 Prozent der GreenTech-Unternehmen in Deutschland haben 2010 einen positiven Jahresüberschuss erwirtschaftet. Im Durchschnitt aller Unternehmen liegt die Profitabilität bei sechs Prozent. Energieeffizienz erweist sich auch hier als führend: Elf Prozent der Unternehmen dieses Leitmarktes erzielen eine Profitabilität von mehr als 20 Prozent.

Der Geschäftsentwicklung in den nächsten Jahren sehen die deutschen Unternehmen der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz mit Optimismus entgegen: Sie erwarten bis 2015 ein durchschnittliches jährliches Wachstum von 10,6 Prozent. Differenziert nach Leitmarktfokus zeigt sich, dass die Unternehmen der Umweltfreundlichen Energien und Energiespeicherung die höchsten Erwartungen an ihre Umsatzentwicklung haben (13,7 Prozent). Im Einklang mit der positiven Einschätzung der Umsatzentwicklung gehen die Unternehmen der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz in Deutschland davon aus, dass die Beschäftigtenzahl jährlich durchschnittlich um 8,4 Prozent wächst.

Globale Megatrends als Wachstumstreiber

Die Zuversicht der deutschen GreenTech-Akteure gründet sich auf das absehbare Wachstum des globalen Marktes für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz. Diese Entwicklung wird ganz wesentlich von fünf Megatrends getrieben, die in den nächsten Jahrzehnten weltweit die gesellschaftlichen, politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen prägen: demografische Entwicklung, Urbanisierung, Globalisierung, Ressourcenknappheit und Klimawandel.

Demografische Entwicklung

Im Jahr 2030 werden voraussichtlich circa 8,3 Milliarden Menschen auf der Erde leben – ein Fünftel mehr als heute. Bis 2050 – so die Prognosen der Vereinten Nationen – wird die Einwohnerzahl der Erde auf mehr als neun Milliarden Menschen angewachsen sein. Dabei verläuft die Bevölkerungsentwicklung regional unterschiedlich: Während in Europa im Jahr 2050 voraussichtlich 19 Millionen Menschen weniger leben

werden als heute, wird sich die Einwohnerzahl Afrikas im selben Zeitraum verdoppeln; die Einwohnerzahl Asiens wird bis 2050 um eine Milliarde Menschen zunehmen.

Urbanisierung

Für das Jahr 2010 weist die Statistik der Vereinten Nationen weltweit erstmals mehr Stadt- als Landbewohner aus. 2030 werden voraussichtlich zwei Drittel der Weltbevölkerung in städtisch geprägten Gebieten leben. Das Wachstum der Städte findet vor allem in Asien und Afrika statt, wo immer mehr Megacities entstehen, also Städte mit mehr als zehn Millionen Einwohnern. Das rasante Wachstum der Städte verstärkt den Druck auf die Umwelt. Aufgrund ihres Energiebedarfs, des Verkehrsaufkommens und der dort angesiedelten Industrie haben Städte einen Anteil von bis zu 80 Prozent an den globalen CO₂-Emissionen.

Globalisierung

Verschiedene Faktoren haben dazu geführt, dass sich das Tempo der Globalisierung in den letzten Jahrzehnten stark beschleunigt und zu einer engen Verflechtung der Weltwirtschaft geführt hat, sowohl der Kapitalmärkte als auch auf der Ebene der Realwirtschaft: Zwischen 1990 und 2008 wuchs das globale Bruttoinlandsprodukt jahresdurchschnittlich um 3,5 Prozent, während die Exporte mit einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 8,7 Prozent und die ausländischen Direktinvestitionen um 12,4 Prozent zulegten. Zusätzlich war ein starker Anstieg der ausländischen Direktinvestitionen zu verzeichnen.

Ressourcenknappheit

Das Zusammenspiel von Bevölkerungswachstum, Urbanisierung und Industrialisierung, vor allem in den Schwellenländern, führt zu einer erheblichen Zunahme des globalen Energiebedarfs – und damit zu einer steigenden Nachfrage nach fossilen Energieträgern: Die Internationale Energie-Agentur (IEA) sagt für die Referenzperiode 2010 bis 2035 eine Zunahme des weltweiten Primärenergieverbrauchs um ein Drittel voraus. Mit 93 Prozent wird der überwiegende Teil des bis 2035 prognostizierten Anstiegs von Nicht-OECD-Mitgliedsstaaten verursacht.

Die Preise für mineralische Rohstoffe (Industrierohstoffe) befinden sich – von dem temporären Tief während der Wirtschafts- und Finanzkrise 2008/2009 abgesehen – in den letzten Jahren im Aufwärtstrend. Diese Tendenz wird sich fortsetzen: Das Wachstum in den Schwellenländern sowie der Anstieg der Weltbevölkerung auf neun Milliarden Menschen bis 2050 lassen den Bedarf nach Rohstoffen weiter steigen. Bereits heute werden weltweit jedes Jahr 60 Milliarden Tonnen Rohstoffe verbraucht, 50 Prozent mehr als drei Jahrzehnte zuvor.

Klimawandel

Im Jahr 2010 erreichten die durch Verbrennung fossiler Energieträger verursachten CO₂-Emissionen die Rekordhöhe von 30,6 Gigatonnen. Ohne Minderung der Treibhausgasemissionen halten Klimaforscher einen globalen Temperaturanstieg von drei bis sieben Grad Celsius im Vergleich zum vorindustriellen Niveau für möglich. Die Auswirkungen einer globalen Erwärmung über die Zwei-Grad-Marke hinaus bedeuten für das Ökosystem Erde erhebliche, teilweise unkalkulierbare Risiken. Dazu gehören der Anstieg des Meeresspiegels, die Zunahme extremer Wetterereignisse wie Dürren, Starkregen und Überschwemmungen. Um den Anstieg der globalen Mitteltemperatur auf zwei Grad Celsius zu begrenzen, müssen die globalen Treibhausgasemissionen um 50 bis 80 Prozent gegenüber dem Niveau von 1990 gesenkt werden.

Lösungen der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz für die Herausforderungen der globalen Megatrends

Unter den Vorzeichen der Megatrends demografische Entwicklung, Klimawandel und Ressourcenknappheit gibt es langfristig keine Alternative zu einer nachhaltigen Umgestaltung der Ökonomie, in der wirtschaftlicher Erfolg, der Schutz der natürlichen Lebensgrundlagen, sozialer Zusammenhalt und die Wahrnehmung internationaler Verantwortung ins Gleichgewicht gebracht werden. Diese Leitlinien der nachhaltigen Entwicklung sind die Orientierungspunkte bei der Transformation zu einer Green Economy.

Die Green Economy wird als Wirtschaftsform verstanden, die sich durch innovationsorientiertes, ökologisches und partizipatives Wachstum auszeichnet; sie wird von zwei Säulen getragen: einerseits von einer starken GreenTech-Branche, andererseits von Unternehmen aus klassischen Wirtschaftszweigen, die eine Nachhaltigkeitsstrategie verfolgen und diese in alle Ebenen ihres Managementsystems integriert haben. Nach diesem Verständnis ist die Umwelttechnik und Ressourceneffizienz ein entscheidender Treiber für die Entwicklung hin zur Green Economy.

Diese Entwicklung lässt sich durch die bereits heute sichtbaren Ansätze und Produktinnovationen illustrieren. Deshalb wird anhand von vier Transformationsfeldern konkret gezeigt, welche Lösungen die Umwelttechnik und Ressourceneffizienz für die drängenden Herausforderungen bereithält, mit denen die Menschheit in den nächsten Jahrzehnten durch den demografischen Wandel, die Ressourcenknappheit, den Klimawandel und die Gefährdung der Biodiversität konfrontiert wird.

Jedes Transformationsfeld beschreibt eine wesentliche Etappe auf dem Weg zu einer nachhaltigen Entwicklung von Wirtschaft und Gesellschaft. Dabei spannt das erste Kapitel *Aufbruch in die Green Economy* einen Rahmen, in den die folgenden Transformationsfelder eingebettet sind:

Aufbruch in die Green Economy

Das Fundament einer Green Economy bilden einerseits die Umwelttechnik und Ressourceneffizienz, andererseits die Unternehmen der klassischen Wirtschaftszweige, die Nachhaltigkeitsstrategien konsequent umsetzen. Unabhängig von ihrer Branchenzugehörigkeit agieren Unternehmen in Wechselbeziehungen mit unterschiedlichen Anspruchsgruppen. **Diese Stakeholder spielen deshalb bei der Transformation zur Green Economy eine Schlüsselrolle – insbesondere Politik, Kunden, Investoren und Unternehmen sind wesentliche Impulsgeber für diesen Prozess.**

Erwartungen und Anforderungen dieser Stakeholder werden maßgeblich von den globalen Megatrends Klimawandel, Ressourcenknappheit und Bevölkerungswachstum geprägt. Den Part der einzelnen Anspruchsgruppen bei der Transformation zur Green Economy verdeutlichen beispielhaft folgende Fakten und Trends: Der **Staat** hat an der Erfolgsgeschichte des Umweltschutzes in Deutschland erheblichen Anteil, weil die Politik frühzeitig auf ein Instrumentarium aus ordnungspolitischen Maßnahmen und marktwirtschaftlichen Anreizen gesetzt hat. Sie waren Auslöser für Innovationen und Investitionen, die neue Märkte für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz entstehen ließen. Für die **Kunden** wird Nachhaltigkeit zu einem wichtigen Aspekt bei der Beurteilung eines Unternehmens und seiner Produkte. Die Einhaltung von Sozial- und Umweltstandards entwickelt sich immer mehr zu einem wesentlichen Kriterium für die Kaufentscheidung. Dies gilt sowohl für private Konsumenten (Business to Consumer) als auch für die Geschäftsbeziehungen zwischen Unternehmen (Business to Business).

Auch im **Finanzsektor** hat sich Nachhaltigkeit sowohl für Privatleute als auch für professionelle Fondsmanager zu einem wichtigen Kriterium bei der Geldanlage entwickelt. Dieser Trend wird sich in den nächsten Jahren weiter verstärken. Von Seiten des Staats, der Kunden und Investoren steigen die Erwartungen an **Unternehmen**, ihre Geschäftsstrategie an den Anforderungen einer ressourceneffizienten und CO₂-armen Ökonomie auszurichten. Um die Herausforderungen Klimawandel und Ressourcenknappheit zu meistern, müssen Unternehmen unabhängig von ihrer Branchenzugehörigkeit eine Strategie definieren, die das Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung auf der betrieblichen Ebene verankert („Sustainable Business“).

Dezentrale Energieversorgung

Die im Sommer 2011 vom Deutschen Bundestag mit großer Mehrheit beschlossene Energiewende sieht einen grundlegenden Wandel der Energieversorgung in Deutschland vor: Das Gesetzespaket verbindet den zeitlich klar festgelegten Ausstieg aus der wirtschaftlichen Nutzung der Kernenergie mit einem Konzept für die Steigerung der Energieeffizienz und den Ausbau der erneuerbaren Energien. Diese sollen im Jahr 2050 einen Anteil von 80 Prozent an der Stromversorgung in Deutschland stellen. Dezentrale Erzeugungssysteme werden also in den nächsten Jahrzehnten einen immer größeren Teil des Strombedarfs decken. Die Umwelttechnik spielt eine Schlüsselrolle bei der Gestaltung dieses historischen Wandels.

Produkte und Lösungen auf dem heutigen Stand der Technik schaffen die Voraussetzungen, um in den nächsten Jahren die Integration dezentraler Stromerzeuger in die Versorgungsnetze voranzutreiben und langfristig eine Deckung des Strombedarfs aus erneuerbaren Energieträgern zu erreichen. Bereits heute nutzen immer mehr Bürger die Möglichkeiten, den Rollenwechsel vom reinen Stromkonsumenten zum Stromerzeuger zu vollziehen, indem sie allein oder gemeinschaftlich **Photovoltaik-, Biomasse- oder Windenergieanlagen** zur Deckung ihres Strombedarfs nutzen. Weil für den Ausbau der dezentralen Energieversorgung die energieeffiziente Produktion von Strom und Wärme ein entscheidender Faktor ist, zählt die **Kraft-Wärme-Kopplung** zu den wesentlichen technologischen Treibern einer neuen Energie-Ära. Der Ausbau der erneuerbaren Energien erfordert eine Modernisierung der Netzinfrastruktur, um in den nächsten Jahren die Kombination aus zentraler und dezentraler Energieerzeugung zu bewältigen. Damit die Netzstabilität sichergestellt ist, bedarf es eines Lastmanagements auf der Nachfrageseite – was nur durch die intelligente Einbindung der Energieverbraucher über ein **Smart Grid** gelingt. Unter diesen Begriff werden alle Maßnahmen einer intelligenten Koordination und Steuerung der am Stromnetz angegliederten Komponenten gefasst. Eine weitere Komponente für das Energiesystem der Zukunft ist der **Ausbau von zentralen und dezentralen Speicherkapazitäten**, die zum Ausgleich zwischen schwankender Stromerzeugung und Strombedarf beitragen.

Smart Cities

Im Jahr 2050 werden über sechs Milliarden Menschen, etwa 70 Prozent der Weltbevölkerung, in Städten leben. Sie spielen eine ambivalente Rolle als ökonomische Kraftzentren einerseits und ökologische Risikozonen andererseits. Dabei stellen sich in den Metropolen der hochentwickelten Länder und in den Agglomerationen der Schwellen- und Entwicklungsländer jeweils völlig andere Aufgaben. Geht es in den meisten

Großstädten der Schwellen- und Entwicklungsländer darum, eine bis dato nicht vorhandene, leistungsfähige Infrastruktur aufzubauen, sind die Herausforderungen in den Industriestaaten ganz anders gelagert: Hier steht im Vordergrund, die vorhandenen Infrastrukturen den Anforderungen der Nachhaltigkeit und des Klimaschutzes entsprechend „nachzurüsten“ und so die Arbeits- und Lebensqualität in den Ballungszentren zu erhöhen.

Trotz dieser unterschiedlichen Ausgangssituationen in den verschiedenen Regionen der Welt versprechen intelligente Konzepte der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz sowohl in Industriestaaten als auch in Schwellen- und Entwicklungsländern Lösungen für drängende Infrastruktur-Probleme. Eine Option auf eine nachhaltig gestaltete Zukunft in städtischen Ballungsräumen bietet das **Konzept der „Smart Cities“**, bei dem der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) eine Schlüsselrolle als Enabler zufällt. Charakteristisch für Smart Cities ist die **Vernetzung innerhalb und zwischen den Subsystemen** eines urbanen Raums, etwa Verkehr, Energieversorgung, Gebäude, Produktionsstätten, Gesundheitssystem etc. Herausgegriffen werden die Bereiche Verkehr und Gebäude. Die **Fokussierung auf Smart Mobility und Smart Buildings** macht besonders deutlich, dass der Umwelttechnik als Querschnittsbranche in der Praxis eine immens wichtige Rolle zukommt. Bei intelligenten Verkehrslösungen stehen emissionsfreie beziehungsweise emissionsarme Ansätze der individuellen Mobilität im Vordergrund. Das Konzept Smart Building umfasst nicht nur bauliche Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz in Neubauten und bei Sanierung, sondern zielt insbesondere auf Effizienzeffekte durch intelligente Steuerung. Ein intelligentes Gebäude ist nach diesem Verständnis eine Immobilie, die mit Gebäudeautomation auf dem Stand der Technik ausgestattet und Teil eines Smart Grid ist.

Umwelttechnik-Dienstleistungen – Neue Herausforderungen, neue Geschäftsmodelle

Auf dem globalen Markt für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz haben sich die „grünen Dienstleistungen“ als Wachstumstreiber erwiesen: Dieses Segment hat in den Jahren 2007 bis 2010 deutlich zugelegt und seinen Anteil an den internationalen GreenTech-Märkten auf 51 Prozent gesteigert. In Deutschland ist das Marktvolumen der Umwelttechnik-Dienstleistungen von 123 Milliarden Euro (2008) auf 155 Milliarden Euro im Jahr 2010 gestiegen. Ein wesentlicher Faktor für diese Expansion ist die **Innovationskraft der Umwelttechnik-Dienstleistungen**. Dieses Transformationsfeld zeichnet sich

durch eine besondere Dynamik aus: Es sind neue Geschäftsmodelle entstanden, oder bereits existierende Geschäftsmodelle wurden auf die besonderen Bedürfnisse von GreenTech-Unternehmen zugeschnitten.

Beispiele für „grüne“ Geschäftsmodellinnovationen lassen sich aus völlig unterschiedlichen Segmenten des Dienstleistungssektors anführen: So ermöglichen mobile Anwendungen via Smartphone eine neue Ära in der professionellen Vermittlung von Mitfahrgelegenheiten – und tragen so zu einer Reduzierung des Verkehrsaufkommens bei. Ein relativ junges Geschäftsmodell ist das Abwärme-Contracting oder der Handel mit Abwärme. Innerhalb der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz ist zu beobachten, dass sich ein **Trend zum Produkt-Dienstleistungsverbund** abzeichnet: Auf der Basis der Stärken des industriellen Kernprodukts werden die dazu passenden Dienstleistungen entwickelt. In diesem Bereich sind deutsche Anbieter sehr gut positioniert. Dasselbe gilt für die **Projektentwicklung**, die innerhalb der Umwelttechnik-Dienstleistungen eine wichtige Rolle einnimmt: Beispielsweise gibt es in Deutschland renommierte Ingenieurbüros, die von der Entwicklung bis zum Management die **komplette Wertschöpfungskette von Anlagen** zur Erzeugung von regenerativen Energien, zur Wasserversorgung und Abwasserentsorgung sowie zur Abfallverwertung beziehungsweise -entsorgung übernehmen.

Highlights aus der deutschen GreenTech-Branche

Die Rolle der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz als treibende Kraft des Wandels in Richtung einer Green Economy entfaltet sich bereits heute in vielen Bereichen des Wirtschaftslebens. Dies lässt sich an den Erfolgen deutscher GreenTech-Unternehmen belegen, die zu den Pionieren bei der Entwicklung von innovativen Produkten und Geschäftsmodellen gehören. Außerdem überzeugen sie im globalen Wettbewerb durch ein großes Marktpotenzial. *GreenTech made in Germany 3.0* stellt die Märkte, Produkte und Verfahren der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz nicht nur aus einer theoretischen Perspektive dar. Es werden Unternehmen und Institutionen präsentiert, die die Prinzipien der Green Economy erfolgreich umsetzen. Konkrete Beispiele sollen die Vielfalt und Dynamik der GreenTech-Branche deutlich machen. Anhand der Portraits von 14 Unternehmen beziehungsweise Netzwerken aus unterschiedlichen Leitmärkten der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz wird das Bild einer lebendigen Branche skizziert. Bei der Auswahl standen drei Faktoren im Vordergrund: Innovation, Vernetzung und Internationalisierung, denn diese drei Merkmale sind entscheidend für die Weiterentwicklung der deutschen GreenTech-Branche.



Megatrends – Globale Wachstumstreiber für die Märkte der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz

Prognosen sind bekanntlich schwierig, andererseits zeichnen sich deutliche Entwicklungslinien ab, die künftig die Rahmenbedingungen von Ökonomien und Gesellschaften bestimmen werden – die sogenannten Megatrends. Megatrends sind langfristige, sich wechselseitig beeinflussende Veränderungsprozesse, die weltweit die gesellschaftlichen politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen prägen. Dabei bilden Megatrends die Spitze einer sogenannten Trendhierarchie – sie können sich über mehrere Jahrzehnte erstrecken und haben erhebliche Auswirkungen auf die globalen Märkte und deren Akteure. In diesem Kapitel werden die fünf Megatrends beschrieben, die den Rahmen für die zukünftige Entwicklung der Umwelttechnik-Branche abstecken.

Demografische Entwicklung

Im Jahr 2030 werden voraussichtlich circa 8,3 Milliarden Menschen auf der Erde leben – etwa ein Fünftel mehr als heute. Bis 2050 – so die Prognosen der Vereinten Nationen – wird der blaue Planet über neun Milliarden Menschen beherbergen. Dabei nimmt die demografische Entwicklung in den Industriestaaten einen anderen Verlauf als in den Schwellen- und Entwicklungsländern. Dort wird die Bevölkerungszahl in den nächsten zwei Jahrzehnten von 5,7 Milliarden auf sieben Milliarden Menschen zunehmen (plus 24 Prozent), während das Wachstum in den hoch entwickelten Volkswirtschaften mit 3,6 Prozent wesentlich kleiner ausfällt. Dementsprechend verläuft die Bevölkerungsentwicklung rund um den Globus unterschiedlich (siehe Tabelle 1): Europa wird 2050 rund 19 Millionen weniger Einwohner zählen als heute. Dagegen wird sich Afrikas Einwohnerzahl im selben Zeitraum voraussichtlich verdoppeln, sodass auf diesem Kontinent fast ein Viertel (23,6 Prozent) der Weltbevölkerung leben wird (2010: 14,8 Prozent). Über fünf Milliarden Menschen werden 2050

in Asien zuhause sein, in absoluten Zahlen bedeutet das gegenüber 2010 einen Zuwachs von knapp einer Milliarde, aber in Bezug auf den Anteil Asiens an der Weltbevölkerung ein Minus von circa fünf Prozentpunkten.

Die Weltbevölkerung wird sich in Zukunft nicht nur quantitativ verändern, sondern auch in Bezug auf die Altersstruktur. Die **kontinuierlich steigende Lebenserwartung** führt zu einer Erhöhung des Medianalters: Bis 2030 wird die Hälfte der Weltbevölkerung älter als 34 Jahre alt sein; heute beträgt das Medianalter 29 Jahre. Vergleicht man die Altersstruktur in den hochentwickelten Volkswirtschaften einerseits und in den Schwellen- und Entwicklungsländern andererseits, zeigen sich erhebliche Unterschiede: **In den Industriestaaten nimmt der Anteil älterer Menschen an der Gesamtbevölkerung deutlich zu;** für 2030 wird das Medianalter auf 44 Jahre geschätzt. Mit 32 Jahren liegt die Prognose für die Schwellen- und Entwicklungsländern deutlich niedriger.¹

Tabelle 1: Prognose Bevölkerungsentwicklung bis 2050

	Welt	%	Afrika	%	Asien	%	Europa	%	Nordamerika	%
2010	6.895.889.000	100	1.022.234.000	14,8	4.164.252.000	60,4	738.199.000	10,7	344.529.000	5,0
2030	8.321.380.000	100	1.562.047.000	18,8	4.867.741.000	58,5	741.233.000	8,9	401.657.000	4,8
2050	9.306.128.000	100	2.191.599.000	23,6	5.142.220.000	55,3	719.257.000	7,7	446.862.000	4,8

Quelle: UN Desa (2011a)

Urbanisierung

2010 verkündete die Statistik der Vereinten Nationen den globalen „**Tipping Point**“: Zum ersten Mal wurden mehr Stadt- als Landbewohner gezählt. Fünfzig Jahre früher lag der Anteil der Stadtbevölkerung bei einem Drittel. Bis 2030 wird sich diese Relation umkehren: Dann werden nach Prognosen von UN-Habitat zwei Drittel der Weltbevölkerung in städtisch geprägten Gebieten leben.

Das **Wachstum der Städte findet vor allem in Asien und Afrika statt**, wo immer mehr **Megacities**² entstehen. Noch vor einigen Jahrzehnten waren rund um

den Globus New York-Newark und Tokio die einzigen städtischen Ballungsräume mit mehr als zehn Millionen Einwohnern. Heute gibt es über 20 Agglomerationen dieser Größenordnung, 2025 werden bereits 30 Megacities existieren (siehe Tabelle 2). Mit dem Bevölkerungswachstum der großen Städte in den Entwicklungsländern nimmt auch die Zahl der Menschen zu, die in den urbanen Zentren lediglich in den Slums unterkommen. In den Entwicklungsländern leben inzwischen über 800 Millionen Menschen in „informellen Siedlungen“, so der Euphemismus für die Elendsquartiere der Ballungsräume.

1 Vgl. UN Desa (2011b).

2 Als ‚Megacities‘ werden hier und im Folgenden Städte mit mehr als zehn Millionen Einwohnern bezeichnet.

Die Urbanisierung in den Schwellen- und Entwicklungsländern geht erheblich schneller vonstatten als die Entwicklung der Städte in Europa. **Das rasante Wachstum der Städte verstärkt den Druck auf die Umwelt**, denn die ohnehin nur rudimentär vorhandene Infrastruktur kann den Ansturm der Zuzügler nicht bewältigen. Verunreinigungen des Bodens, des Grundwassers und der Luft gefährden die Gesundheit der Menschen und erhöhen die Umweltbelastung auf ein Maß, das die Regenerationsfähigkeit der Ökosysteme übersteigt. Aufgrund ihres Energiebedarfs, des Verkehrsaufkommens und der Industrie haben **Städte einen erheblichen Anteil an den weltweiten CO₂-Emissionen**, der auf bis zu 80 Prozent beziffert

wird – was Städte zu einem wesentlichen Faktor für die weitere Entwicklung des Klimawandels macht.³

Allerdings sollte die Urbanisierung nicht ausschließlich unter negativen Vorzeichen betrachtet werden: **Städte** haben zwar einen hohen Ressourcenverbrauch, aber häufig **sind sie auch ökonomische Kraftzentren, die eine hohe Wirtschaftsleistung und Innovationen hervorbringen**. Hinzu kommt der Vorteil der Skaleneffekte: In den Ballungszentren ist es möglich, die Bereitstellung von Gütern und Dienstleistungen sowie von Infrastruktur effizienter, das heißt mit geringeren Pro-Kopf-Kosten, zu gestalten als in ländlichen Gebieten.

Globalisierung

In den letzten Jahrzehnten hat der Prozess einer immer engeren Verflechtung der Weltwirtschaft erheblich an Tempo gewonnen. Zwischen 1990 und 2008 wuchs das globale Bruttoinlandsprodukt jahresdurchschnittlich um 3,5 Prozent, während die Exporte mit einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 8,7 Prozent und die ausländischen Direktinvestitionen um 12,4 Prozent zulegten.

Verschiedene Faktoren haben diesen **Quantensprung bei der Integration der Weltwirtschaft** ausgelöst und diesen Prozess beschleunigt: Der Abbau von Zollschränken und nicht-tarifären Handelshemmnissen leistete einen wesentlichen Beitrag zur Liberalisierung des Welthandels. Ein weiterer Katalysator für das Zusammenwachsen der internationalen Märkte waren die veränderten politischen Rahmenbedingungen, die mittel- und langfristig massive Folgen für die Weltwirtschaft nach sich zogen. Der Zusammenbruch der Sowjetunion und anderer RGW-Länder in Mittel- und Osteuropa markierte 1989 auch das Ende der Zentralverwaltungswirtschaft sozialistischer Prägung und den Einstieg in die Transformation von der Plan- zur Marktwirtschaft. Bereits ein gutes Jahrzehnt vor dem Fall der Mauer hat die Kommunistische Partei Chinas 1978 mit dem Konzept der „Vier Modernisierungen“ die jahrzehntelange Isolation der chinesischen Wirtschaft für beendet und die schrittweise Öffnung für den Außenhandel erklärt. Dieser Schritt war nicht nur die Voraussetzung für die Wirtschaftsreformen in der Volksrepublik, sondern auch die Initialzündung für den Aufstieg Chinas zur globalen ökonomischen Supermacht.

Hinzu kamen als **Treiber der Globalisierung** die Liberalisierung der Finanzmärkte, die mehr und mehr transnationale Finanzoperationen ermöglichten, sowie ein starker **Anstieg der ausländischen Direktinvestitionen**. Immer mehr Unternehmen haben in den letzten Jahren die Möglichkeit zu grenzüberschreitenden Fusionen oder Unternehmenskäufen sowie zur Errichtung von Produktionsstätten im Ausland genutzt. Dies gilt als deutliches Merkmal für den Verflechtungsgrad der internationalen Wirtschaft. Ein weiterer Indikator ist die Zunahme des Global Sourcing: Vor allem Großunternehmen spannen ihre Wertschöpfungsketten rund um den Erdball.

Es gibt **unterschiedliche Einschätzungen, ob und in welcher Geschwindigkeit die Globalisierung** in den nächsten Jahren und Jahrzehnten voranschreiten wird. Angesichts des steigenden Preisniveaus für Erdöl rechnen einige Experten damit, dass wegen der Verteuerung der Transportkosten die Globalisierung den „Rückwärtsgang“ einlegt⁴ und langfristig der Trend zum Off-Shoring durch die Tendenz zum In-Shoring abgelöst werden wird. Andere Einschätzungen gehen davon aus, dass die Verflechtung der Weltwirtschaft ein irreversibler Prozess ist, der sich künftig noch beschleunigen wird.

Mögen die Meinungen über Tempo und Richtung der zukünftigen Entwicklung auseinander gehen, ein Faktum ist unstrittig: **Die Entwicklung der letzten Jahrzehnte verschiebt die Kräfteverhältnisse in der Weltwirtschaft und die Lage ihrer Wachstumszentren**: Die BRIC-Länder (Brasilien, Russland, Indien und

3 Vgl. UN-Habitat (2011b), S. vi.

4 Vgl. Rubin, J. (2010).

Tabelle 2: Die 20 größten Städte der Welt 1950, 1975, 2000, 2010, 2025

	1950		1975		2010		2025 (p)	
	Stadt ¹⁾	Einw. [Mio.]	Stadt ¹⁾	Einw. [Mio.]	Stadt ¹⁾	Einw. [Mio.]	Stadt ¹⁾	Einw. [Mio.]
1	New York-Newark	12,34	Tokio	26,61	Tokio	36,67	Tokio	37,09
2	Tokio	11,27	New York-Newark	15,88	Delhi	22,16	Delhi	28,57
3	London	8,36	Mexico-Stadt	10,69	Sao Paulo	20,26	Mumbai	25,81
4	Paris	6,52	Osaka-Kobe	9,84	Mumbai	20,04	Sao Paulo	21,65
5	Moskau	5,36	Sao Paulo	9,61	Mexico-Stadt	19,46	Dhaka	20,94
6	Buenos Aires	5,10	Los Angeles	8,93	New York-Newark	19,43	Mexico-Stadt	20,71
7	Chicago	5,00	Buenos Aires	8,74	Shanghai	16,58	New York-Newark	20,64
8	Kalkutta	4,51	Paris	8,56	Kalkutta	15,55	Kalkutta	20,11
9	Shanghai	4,30	Kalkutta	7,89	Dhaka	14,65	Shanghai	20,02
10	Osaka-Kobe	4,15	Moskau	7,62	Karachi	13,12	Karachi	18,73
11	Los Angeles	4,05	Rio de Janeiro	7,56	Buenos Aires	13,07	Lagos	15,81
12	Berlin	3,34	London	7,55	Los Angeles	12,76	Kinshasa	15,04
13	Philadelphia	3,13	Chicago	7,16	Peking	12,39	Peking	15,02
14	Rio de Janeiro	2,95	Mumbai	7,08	Rio de Janeiro	11,95	Manila	14,92
15	Sankt Petersburg	2,90	Seoul	6,81	Manila	11,63	Buenos Aires	13,71
16	Mexico-Stadt	2,88	Kairo	6,45	Osaka-Kobe	11,34	Los Angeles	13,68
17	Mumbai	2,86	Shanghai	5,63	Kairo	11,00	Kairo	13,53
18	Detroit	2,77	Manila	5,00	Lagos	10,58	Rio de Janeiro	12,65
19	Boston	2,55	Peking	4,83	Moskau	10,55	Istanbul	12,11
20	Kairo	2,49	Jakarta	4,81	Istanbul	10,52	Osaka-Kobe	11,37

1) Ballungsraum

Quelle: UN Desa (2011c)

Tabelle 3: Anteile der BRIC-Länder und Next 11 am globalen Bruttoinlandsprodukt

	2010		2020		2030		CAGR ¹⁾
	Bill. US-Dollar	%	Bill. US-Dollar	%	Bill. US-Dollar	%	%
Welt	61	100	92	100	138	100	4
BRIC	11	18	26	28	50	36	8
Next 11	5	8	9	10	15	11	6

1) CAGR - Compound Annual Growth Rate (durchschnittliche jährliche Wachstumsrate)

Quelle: Standard Chartered (2010)

China) erwirtschafteten 2010 einen Anteil von 18 Prozent am globalen Bruttoinlandsprodukt. Prognosen für das Jahr 2030 beziffern ihren Beitrag zur globalen Wirtschaftsleistung auf 36 Prozent (siehe Tabelle 3). Die Anteile der BRIC-Länder – allen voran Chinas – am Weltexport werden größer. Auch die sogenannten Next 11 Staaten⁵ werden auf den internationalen Märkten eine zunehmend wichtigere Größe: Ihr Anteil am globalen BIP wird sich in den nächsten zwei Jahrzehnten voraussichtlich von rund acht Prozent (2010) auf knapp elf Prozent steigern.

Die Bewertung der Globalisierung und deren Auswirkungen auf einzelne Volkswirtschaften fällt unterschiedlich aus – insbesondere vor dem Hintergrund der Finanz- und Wirtschaftskrise 2008/2009 und der aktuellen Entwicklungen auf den Finanzmärkten. Sicherlich ist mit der Globalisierung auch eine zunehmende Störanfälligkeit der weltweiten Märkte verbunden; deren Verflechtung bringt es mit sich, dass die Folgen ökonomischer Krisen auch weit entfernt von deren Epizentren spürbar werden. Auch Ungleichgewichte zwischen reichen und armen Staa-

ten sowie Disparitäten innerhalb einzelner Länder bestehen trotz Globalisierung fort.

Die aggregierten weltwirtschaftlichen Daten belegen jedoch, dass die Globalisierung vielen Ländern zu mehr Wachstum, Wohlstand und Beschäftigung verholfen hat. Am deutlichsten manifestiert sich diese Entwicklung in den Schwellenländern, insbesondere in der Volksrepublik China: Dort ist das Pro-Kopf-Einkommen im Zeitraum 1990 bis 2010 um das Sechsfache gewachsen.

Bevölkerungswachstum, Globalisierung und das steigende Einkommensniveau in den Schwellenländern wirken in den nächsten Jahrzehnten wie Katalysatoren für **das weltweite Verkehrsaufkommen** – es **wird sich bis 2050 wahrscheinlich verdreifachen**: Nach den Prognosen des Transport Outlook 2011⁶ wird der Personenverkehr – gemessen in zurückgelegten Passagierkilometern um – den Faktor drei bis vier zunehmen; beim Warenverkehr – ausgedrückt in der Messgröße Tonnenkilometer – wird eine Steigerung um das 2,5- bis 3,5-fache zu verzeichnen sein.

5 Zu den Next 11 werden Ägypten, Bangladesch, Indonesien, Iran, Mexiko, Nigeria, Pakistan, die Philippinen, Südkorea, die Türkei und Vietnam gezählt.

6 Der Transport Outlook wird jedes Jahr vom International Transport Forum herausgegeben. Dieser Sonderorganisation der OECD gehören 52 Staaten an. Vgl. International Transport Forum (2011).

Ressourcenknappheit

Um diesen Megatrend zu beschreiben, ist zunächst eine Präzisierung des Begriffs ‚Ressource‘ hilfreich: Als ‚Ressource‘ werden hier natürlich vorkommende Rohstoffe bezeichnet. Diese Rohstoffe lassen sich unterschiedlich systematisieren. Im folgenden Überblick über ‚Ressourcenknappheit‘ wird zwischen Energierohstoffen (Energieträger wie Öl, Kohle oder Erdgas) und Industrierohstoffen unterschieden. In diese Kategorie fallen Metalle, Industriemineralien sowie Steine und Erden. Außerdem wird die globale Versorgung mit Wasser detailliert betrachtet, weil diese Ressource eine existenzielle Bedeutung für eine nachhaltige Entwicklung hat.

Ein knappes Gut ist ein „Gut, das nicht zu jeder Zeit und an jedem gewünschten Ort in der gewünschten Qualität und Menge zur Verfügung steht.“⁷ – Legt man diese klassische Definition zugrunde, waren energetische und andere Rohstoffe schon immer knapp.

Die **neue Qualität des Ressourcenthemas** besteht darin, dass „in relativ kurzer Frist das Angebots-Nachfrage-Gefüge für einzelne Ressourcen oder ganze Ressourcenbündel aus dem Gleichgewicht gerät und sich neue Gleichgewichte auf einem wesentlich höheren Preisniveau oder gar einem höheren Preissteigerungsniveau einpendeln.“⁸ Genau dieses Phänomen war in den letzten Jahren zu beobachten, sowohl bei den fossilen Energieträgern Öl und Gas als auch bei einigen mineralischen Rohstoffen.

Energierohstoffe

Die Nachfrage nach Energierohstoffen wird ganz wesentlich von der Entwicklung des weltweiten Energiebedarfs bestimmt – und der ist in den letzten Jahren kräftig gewachsen. Die Energiestatistik des Jahres 2010 verzeichnet einen neuen Rekord: Mit einer Steigerung von 5,6 Prozent gegenüber dem Vorjahr verbucht **der weltweite Primärenergieverbrauch**

die höchste Zuwachsrate seit 1973. 12.002,4 Millionen Tonnen Rohöleinheiten⁹ wurden rund um den Globus verbraucht – 29 Prozent mehr als im Jahr 2000.¹⁰ Dabei zeichnet sich ein klarer Trend ab: Der auf Hochtouren laufende Wachstumsmotor der aufstrebenden Volkswirtschaften in den Schwellenländern verlangt immer größere Mengen an Energie. Während der Energieverbrauch der OECD-Staaten 2010 ein Plus von 3,5 Prozent gegenüber 2009 verzeichnete, waren es bei den Nicht-OECD-Ländern 7,5 Prozent. Seit der Jahrtausendwende ist deren Energieverbrauch um rund zwei Drittel gestiegen. Ein wesentlicher Teil dieses Anstiegs geht auf die Volksrepublik China zurück, deren Primärenergieverbrauch sich zwischen 2000 und 2010 mehr als verdoppelt hat (plus 134 Prozent). China hat damit 2010 die USA als größten Energieverbraucher der Welt abgelöst und seinen Anteil am globalen Energieverbrauch auf rund ein Fünftel ausgebaut.¹¹ Das Zusammenspiel von Bevölkerungswachstum, Urbanisierung und der zunehmenden Industrialisierung der Schwellenländer wird den Energiebedarf auch künftig nach oben treiben. Die Internationale Energie-Agentur (IEA) hat in drei unterschiedlichen Szenarien die Entwicklung des weltweiten Energiebedarfs zwischen 2010 und 2035 untersucht.¹² Im Hauptszenario („Szenario der neuen energiepolitischen Rahmenbedingungen“) wird der Primärenergieverbrauch in der Referenzperiode um ein Drittel zunehmen.¹³

Der Energiebedarf der Schwellenländer wird nach den Vorhersagen der IEA in den nächsten Dekaden weiter steigen: Mit 93 Prozent wird der überwiegende Teil des bis 2035 prognostizierten Anstiegs des weltweiten Primärenergieverbrauchs von Nicht-OECD-Mitgliedsstaaten verursacht. So wird der Energiebedarf der Volksrepublik China von 2008 bis 2035 voraussichtlich um 75 Prozent zunehmen. Indien wird seinen Energieverbrauch in diesem Zeitraum wahrscheinlich verdoppeln.¹⁴

7 Gabler Wirtschaftslexikon (2010), S. 1715.

8 Grömling, M./Haß, H.-J. (2009), S. 35.

9 Rohöleinheiten (RÖE; Öleinheiten; oil equivalent): Maßeinheit für die in Energieträgern vorhandene Energie- beziehungsweise den Energieverbrauch. 1 kg RÖE = 41.868 Joule = 11,63 kWh.

10 Vgl. BP Statistical Review of World Energy June 2011, S. 40.

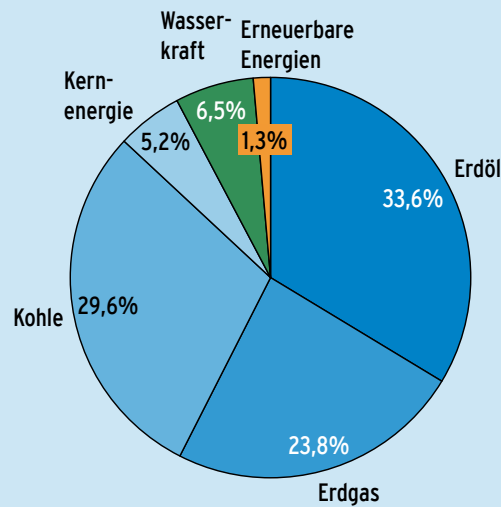
11 Vgl. ebenda.

12 Hauptszenario ist das „Szenario der neuen energiepolitischen Rahmenbedingungen“, das die Zusagen und Verpflichtungen der internationalen Staatengemeinschaft zur Verringerung der Treibhausgasemissionen und zur Abschaffung von Subventionen auf fossile Energieträger berücksichtigt. Das „Szenario der bestehenden energiepolitischen Rahmenbedingungen“ – in den Projektionen der Vorjahre als „Referenzszenario“ bezeichnet – schreibt den Status quo des Jahres 2010 in die Zukunft fort. Das „450 Szenario“ beruht auf der Annahme, dass alle notwendigen Maßnahmen umgesetzt werden, um die Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre unterhalb der Konzentration von 450 ppm zu halten – und damit unterhalb der Schwelle, die zur Erreichung des Zwei-Grad-Ziels notwendig ist. Vgl. International Energy Agency (2010a).

13 International Energy Agency (2011a), S. 4.

14 Vgl. ebenda, S. 5f.

Abbildung 1: Globaler Primärenergiemix 2010



Quelle: BP Statistical Review of World Energy June 2011, S. 40

Die Nachfrage nach Strom wird ebenfalls deutlich steigen. Für den Zeitraum 2008 bis 2035 rechnet die IEA im „Szenario der neuen energiepolitischen Rahmenbedingungen“ mit einem jahresdurchschnittlichen Wachstum des Stromverbrauchs von 2,2 Prozent. Auch dieser Anstieg wird ganz wesentlich von der zunehmenden Nachfrage in den Nicht-OECD-Ländern verursacht. Beispielsweise wird sich in China die Stromnachfrage in der Referenzperiode voraussichtlich verdreifachen.¹⁵ Die IEA geht in ihren Prognosen davon aus, dass sich bei der Stromerzeugung ein „tiefgreifender Wandel“ abzeichnet: Aufgrund steigender Preise und staatlicher Maßnahmen zur Emissionsminderung sinkt der Anteil der fossilen Brennstoffe im Strommix. Zwar werden die fossilen Energieträger, insbesondere Erdgas und Kohle, auch am Ende der Referenzperiode noch einen Anteil von 55 Prozent an der Stromerzeugung stellen. Aber im Vergleich zu 2008 (68 Prozent) ist dieser Anteil deutlich zurückgegangen.¹⁶

Unter den fossilen Energieträgern wird die Kohle auch in den nächsten Jahrzehnten weiterhin die Hauptrolle im Strommix spielen. Ihr Anteil an der Stromerzeugung wird allerdings im Lauf der Referenzperiode von 41 Prozent (2008) auf 32 Prozent schrumpfen.

Den erneuerbaren Energien sagt die IEA in den nächsten Jahrzehnten eine dynamische Entwicklung voraus: Weltweit wird sich der Anteil der Erneuerbaren an der Stromerzeugung zwischen 2009 und 2035 von drei Prozent auf 15 Prozent erhöhen.¹⁷

Zurück in die Gegenwart: Ein Blick auf den globalen Energiemix zeigt, dass in der Energieversorgung der Menschheit die fossilen Energieträger nach wie vor dominieren (siehe Abbildung 1): Der Großteil der Treibhausgasemissionen – 41 Prozent – stammt aus dem Energiesektor und entsteht bei der Erzeugung von Strom und Heizwärme.¹⁸ Daran wird deutlich, dass der **Energiesektor eine Schlüsselrolle im Kampf gegen die globale Erwärmung** spielt: Eine deutliche Reduktion des CO₂-Ausstoßes bei der Energieerzeugung ist die Voraussetzung für den Erfolg im Klimaschutz.

In ihrem „Szenario der neuen energiepolitischen Rahmenbedingungen“ geht die IEA davon aus, dass der CO₂-Ausstoß zwischen 2008 und 2035 je erzeugter Stromeinheit um ein Drittel sinkt.¹⁹ Diese gute Nachricht bleibt aber einer der wenigen Lichtblicke in einer für die Klimapolitik insgesamt trüben Projektion: Die im Hauptszenario der IEA beschriebenen Trends

15 Vgl. ebenda, S. 9.

16 Vgl. ebenda.

17 Vgl. ebenda, S. 7.

18 Vgl. International Energy Agency (2010b), S. 9.

19 Vgl. International Energy Agency (2010a), S. 9.

würden nämlich bedeuten, dass das Zwei-Grad-Ziel verfehlt wird. Mit 650 ppm CO₂-eq²⁰ läge die Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre erheblich höher als die erforderliche Marke von 450 ppm CO₂-eq – mit der Folge eines Temperaturanstiegs von 3,5 Grad Celsius.²¹

Wie diese Entwicklung verhindert werden kann, zeigt die IEA in ihrem „450-Szenario“. Kernelemente sind Maßnahmen zur Emissionsreduktion in fünf Regionen (USA, Europäische Union, Japan, China und Indien), die den Anteil der Stromerzeugung an den weltweiten Treibhausgasemissionen bis 2035 von 41 Prozent auf 24 Prozent sinken lassen und damit einen entscheidenden Beitrag zur Dekarbonisierung der Weltwirtschaft darstellen. **Neben der Steigerung der Energieeffizienz ist der Umstieg auf CO₂-freie Energiequellen ein wesentlicher Beitrag, um das Ziel einer sicheren und klimaverträglichen Energieversorgung zu erreichen.**²²

Wasser

„Das blaue Gold“ ist in den letzten Jahren die Metapher für **Wasser** schlechthin – ein deutlicher Hinweis, dass dieses Element in vielen Regionen der Welt **eine knappe Ressource** ist. Zwar wird die Oberfläche der Erde zu etwa 70 Prozent von Wasser bedeckt, aber nur ein Bruchteil dieser Menge – 2,5 Prozent – ist Süßwasser. Weil es überwiegend in Eis und Gletschern gebunden ist, können die Menschen nur rund ein Prozent des weltweiten Wasserangebots (insgesamt 1,4 Milliarden Kubikkilometer) direkt nutzen.

Im 20. Jahrhundert hat sich der weltweite Wasserverbrauch um das Sechsfache erhöht. Diese Steigerung fiel erheblich größer aus als das Bevölkerungswachstum, das im selben Zeitraum um den Faktor 3,7 zugelegt hat. Dieser überproportionale Anstieg des Wasserverbrauchs hat verschiedene Ursachen: Immer mehr Ackerflächen werden künstlich bewässert, um den zunehmenden Nahrungsmittelbedarf zu befriedigen. 1966 wurden rund um den Globus 153 Millionen Hektar Ackerflächen bewässert, 2004 waren es bereits 278,8 Millionen Hektar. Heute fließen etwa 70 Prozent des weltweit verbrauchten Wassers in die Landwirtschaft, allerdings versickert oder verdunstet davon schätzungsweise die Hälfte, sodass hier ein großes Potenzial zur Effizienzsteigerung besteht.²³

Ein weiterer Treiber des Wasserverbrauchs ist die Industrialisierung, die sich in den letzten Jahrzehnten in den Schwellenländern mit rasantem Tempo vollzieht. Mit ihr geht eine Zunahme des Energieverbrauchs einher, was wiederum den Wasserbedarf steigert, denn der Energiesektor hat einen erheblichen Anteil an den Wasserentnahmen. Der zunehmende Wohlstand in einigen Schwellenländern wirkt sich ebenfalls auf den Wasserverbrauch aus. Die Konsequenzen lassen sich auf eine simple Formel bringen: Je höher der Lebensstandard, desto höher der Wasserverbrauch.

Diese Trends werden sich in den kommenden Dekaden fortsetzen, gleichzeitig werden immer mehr Menschen den Planeten Erde bevölkern. Jedes Jahr kommen 80 Millionen Menschen dazu. Dies bleibt nicht ohne Konsequenzen für den globalen Wasserverbrauch, der sich nach Prognosen des World Water Development Report 3 jährlich um 64 Milliarden Kubikmeter erhöhen wird. Dieser **demografische Effekt auf die Wasserversorgung** wird noch verschärft, weil die Bevölkerungszahlen vor allem dort ansteigen, wo die Ressource Wasser schon heute extrem knapp ist: in der Sub-Sahara-Region Afrikas, im Mittleren Osten und in Südostasien.

Wassermangel, verschmutztes Trinkwasser sowie fehlende sanitäre Einrichtungen gelten als Ursache für etwa 80 Prozent aller Krankheiten in Entwicklungsländern. Hinzu kommen die ökonomischen Lasten: Die Wasserkrise führt in Entwicklungsländern zu erheblichen wirtschaftlichen Einbußen. Die Kosten für diese Defizite werden für Afrika mit 28,4 Milliarden US-Dollar jährlich veranschlagt, das entspricht etwa fünf Prozent der gesamten Wirtschaftsleistung des Kontinents.²⁴

Der Klimawandel wird den Wassermangel in vielen Regionen weiter verschärfen. Die globale Erwärmung verändert das Niederschlagsmuster, das Oberflächenwasser, den Feuchtigkeitsgehalt der Böden und den Grundwasserspiegel. Schätzungen gehen davon aus, dass der Anteil des Klimawandels an der globalen Verknappung der Ressource Wasser bei etwa 20 Prozent liegt. In Kombination mit dem Bevölkerungswachstum und dem steigenden Wasserverbrauch in den Schwellenländern ist eine Zuspitzung der Wasserkrise absehbar. Bis 2050, so die moderate Prognose der UNESCO, werden zwei Milliar-

20 CO₂-Äquivalent – Die Wirkung einer bestimmten Menge eines Treibhausgases auf den Treibhauseffekt wird durch das sogenannte Global Warming Potential (GWP; deutscher Begriff: Treibhauspotenzial) ausgedrückt. Es beschreibt die mittlere Erwärmungswirkung über einen bestimmten Zeitraum. Das Treibhauspotenzial eines jeden Treibhausgases wird auf Kohlendioxid (CO₂) umgerechnet. Vgl. Henzelmann (2010), S. 221.

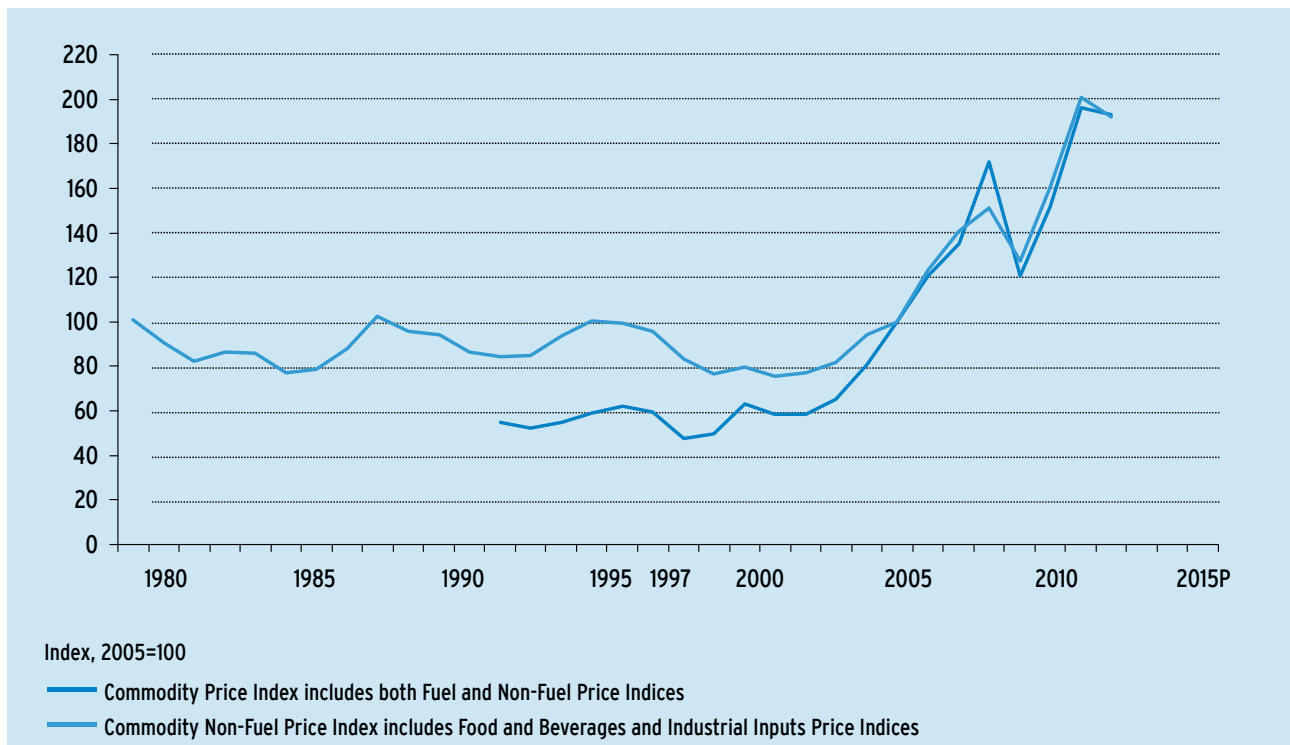
21 Vgl. ebenda, S. 12.

22 Vgl. ebenda, S. 13.

23 Vgl. OECD (2011).

24 Vgl. UNESCO (2009).

Abbildung 2: Entwicklung der Rohstoffpreise 1980 bis 2015



Quelle: IMF World Economic Outlook

den Menschen in 48 Ländern von Wasserknappheit²⁵ oder Wassermangel²⁶ betroffen sein. Auch wenn die Generalversammlung der Vereinten Nationen im Juli 2010 das Recht auf sicheres Trinkwasser und sanitäre Versorgung zu einem universellen Menschenrecht erklärt hat, bleibt die Verwirklichung dieses Grundrechts für viele in weiter Ferne: Heute muss noch jeder zehnte Mensch auf der Erde ohne sichere Trinkwasserversorgung auskommen.

Industrierohstoffe

Steigende Rohstoffpreise sind kein Phänomen des 21. Jahrhunderts. Bereits seit den Anfängen des internationalen Rohstoffhandels folgten die Preisschwankungen auf den Märkten dem Auf und Ab der Konjunktur. Die Frage ist nur, auf welchem Niveau sich das neue Gleichgewicht einpendeln wird.

Die Indexentwicklung in Abbildung 2, zeigt, dass die **Preise für mineralische Rohstoffe Auftrieb** haben. Den Höchststand erreichten sie im Sommer 2008, ehe die Wirtschafts- und Finanzkrise 2008/2009 die Preiskurve einknicken ließ. Doch in der Erholungsphase nach dem Konjunkturreinbruch haben die Preise für nicht-energetische Rohstoffe wieder angezogen.

Die Preise für nicht-energetische Rohstoffe werden wohl nicht mehr auf das niedrige Niveau der 1990er Jahre zurückkehren. Das **Wachstum in den Schwellenländern sowie der Anstieg der Weltbevölkerung** auf neun Milliarden Menschen bis 2050 **lassen den Bedarf nach Rohstoffen weiter steigen**. Gleichzeitig sind die Rohstoffvorkommen endlich. Ressourcenknappheit bedeutet in diesem Zusammenhang aber nicht zwingend, dass sämtliche Lagerstätten erschöpft sind, denn ökonomisch betrachtet ist die Verfügbarkeit von Rohstoffen ein relativer Begriff. Rohstoffreserven beziehen sich auf „die erfassten und unter derzeitigen wirtschaftlichen und technischen Rahmenbedingungen abbaubaren Vorräte“. Verschiebt sich die Nachfrage – und damit auch der erzielbare Preis – verschieben sich auch die Kriterien, nach denen sich der Abbau von Rohstoffvorkommen wirtschaftlich darstellen lässt.

Derzeit liegt der Rohstoffverbrauch pro Kopf und Tag in Europa bei 43 Kilogramm, in Nordamerika bei 88 Kilogramm und in Afrika bei zehn Kilogramm. Weltweit werden jedes Jahr 60 Milliarden Tonnen Rohstoffe verbraucht, 50 Prozent mehr als drei Jahrzehnte zuvor.²⁷ Eine Fortschreibung dieser Entwicklung würde das Ökosystem Erde überfordern. Bei der Gewinnung, dem Transport und der Verarbeitung von Rohstoffen

25 Verfügbarkeit von Süßwasser pro Kopf pro Jahr weniger als 1666 Kubikmeter.

26 Verfügbarkeit von Süßwasser pro Kopf pro Jahr weniger als 1000 Kubikmeter.

27 Vgl. Umweltbundesamt (2010a), S. 2.

fallen erhebliche CO₂-Emissionen sowie andere Schadstoffe an. Außerdem ist die Förderung von Rohstoffen, vor allem im Bergbau, mit massiven Eingriffen in die Natur verbunden. Hinzu kommt, dass das steigende Preisniveau den Abbau von Lagerstätten mit geringerer Konzentration rentabel macht, was die negativen Effekte auf die Umwelt noch verstärkt.

Aber nicht nur ökologische, sondern auch ökonomische Argumente sprechen dringend für einen sparsamen Umgang mit Ressourcen: Für die

Volkswirtschaften der Industrieländer und ihre Unternehmen ist dieser mittel- und langfristige Preistrend eine schwere Belastung. Der Standort Deutschland ist stark auf Rohstoffeinfuhren angewiesen; bei primären Metallrohstoffen besteht eine 100-prozentige Importabhängigkeit. 2009 lag der Wert der deutschen Einfuhren von Energie- und Mineralrohstoffen bei 83,9 Milliarden Euro. Daran stellten Edelmetalle, Nichteisen-Metalle und Stahlveredler einen Anteil von rund 22 Prozent.²⁸

Klimawandel

Die globale Mitteltemperatur hat sich seit Beginn des Industriezeitalters um 0,8 Grad Celsius erhöht. Es herrscht ein **breiter wissenschaftlicher Konsens, dass die globale Erwärmung in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts „sehr wahrscheinlich“²⁹ auf den anthropogenen Treibhauseffekt zurückzuführen ist.** Die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre hat sich von 280 ppm³⁰ in der vorindustriellen Zeit auf 387,2 ppm erhöht und damit den höchsten Wert seit zwei Millionen Jahren erreicht.³¹ Zwischen 1971 und 2008 hat sich der jährliche Kohlendioxidausstoß mehr als verdoppelt, zwischen 1990 und 2008 hat er um 40 Prozent zugenommen. 2010 erreichten die durch die Verbrennung fossiler Energieträger verursachten CO₂-Emissionen die Rekordhöhe von 30,6 Gigatonnen. Damit lag die Zunahme zwischen 2000 und 2009 bei rund 24 Prozent.³²

Ohne Minderung der Treibhausgasemissionen halten Klimaforscher einen globalen Temperaturanstieg von drei bis sieben Grad Celsius im Vergleich zum vorindustriellen Niveau für möglich. Nach heutigem Erkenntnisstand lassen sich die schlimmsten Folgen der globalen Erwärmung („gefährliche Störung des Klimasystems“) mit einer Wahrscheinlichkeit von zwei Dritteln vermeiden, wenn der **Anstieg der globalen Mitteltemperatur auf zwei Grad Celsius begrenzt** wird. Um unterhalb dieser Marke zu bleiben, dürfen die kumulativen CO₂-Emissionen von 2010 bis 2050 das Limit von 750 Milliarden Tonnen nicht überschreiten. Die globalen Treibhausgasemissionen

müssten dafür um 50 bis 80 Prozent gegenüber dem Niveau von 1990 gesenkt werden. Bei einer Fortschreibung der heutigen Emissionsmenge wäre das Budget von 750 Milliarden Tonnen CO₂ bereits in 25 Jahren aufgezehrt.³³

Im Dezember 2010 wurde bei der 16. UN-Klimakonferenz in Cancun die **Zwei-Grad-Leitplanke als konkretes quantitatives Ziel der internationalen Klimapolitik** anerkannt. Bei der 17. UN-Klimakonferenz, die im Dezember 2011 im südafrikanischen Durban stattfand, verabschiedeten die Teilnehmer das „Paket von Durban“, das wichtige Festlegungen für die Zukunft der internationalen Klimapolitik enthält: Auf der COP17 (Conference of Parties) wurde beschlossen, ein internationales Klimaschutzabkommen vorzubereiten, dem alle Staaten angehören sollen. Es soll bis 2015 ausgehandelt und ab 2020 umgesetzt werden. Auf dieser Basis haben sich die Vertragsstaaten auch darauf verständigt, das Kyoto-Protokoll mit einer zweiten Verpflichtungsperiode weiterzuführen. Bis zur nächsten UN-Klimakonferenz, die zum Jahresende 2012 in Katar geplant ist, sollen die Höhe der Minderungsversprechen, Emissionsbudgets und andere Inhalte geklärt werden. In Durban wurde außerdem eine Reihe von Umsetzungsentscheidungen getroffen, unter anderem die Einrichtung eines Grünen Klimafonds, die Schaffung von Strukturen für ein Komitee zur Klimaanpassung und ein internationales Netzwerk für Technologiekooperation.³⁴

28 Vgl. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Hrsg.) (2010), S. 39f.

29 „Sehr wahrscheinlich“ bedeutet eine Wahrscheinlichkeit von über 90%. Vgl. IPCC (2008), S. 31.

30 ppm – parts per million; Millionstel Volumenanteile in der Luft.

31 Stand 2009. Vgl. Global Carbon Project (2010).

32 Vgl. International Energy Agency (2011b), S. 46

33 Vgl. Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltfragen, Klimawandel (2009).

34 Vgl. Bundesumweltministerium (2011g).

Das **Zeitfenster im Kampf gegen die globale Erwärmung**, in dem die schlimmsten Folgen des Klimawandels noch zu verhindern wären, **steht nicht mehr lange offen**. Je später die Trendumkehr von steigenden zu sinkenden globalen CO₂-Emissionen beginnt, desto höher werden die jährlichen Minderungsraten, die zu einer Erreichung des Reduktionsziels bis 2050 nötig sind.³⁵ Anders ausgedrückt: Das Zwei-Grad-Ziel rückt in unrealistische Ferne, wenn es in den nächsten zehn Jahren nicht gelingt, die globalen Treibhausgasemissionen zu senken.

Dabei steht viel auf dem Spiel, denn die **Auswirkungen einer globalen Erwärmung jenseits der Zwei-Grad-Marke würden für das Ökosystem Erde erhebliche und teilweise unkalkulierbare Risiken bedeuten**. Zu den Folgen des Klimawandels, die mit hoher beziehungsweise sehr hoher Wahrscheinlichkeit eintreten, gehört der **Anstieg des Meeresspiegels**; er wird durch die Erwärmung der Ozeane aufgrund höherer Temperaturen sowie durch das Abschmelzen von Gebirgsgletschern und großen Eismassen in Grönland und der Antarktis verursacht. Ein steigender Meeresspiegel wäre eine erhebliche Gefahr für tief liegende Inseln und Küstengebiete. Küstenstädte wie Shanghai, New York, Buenos Aires und Rio de Janeiro wären von Überschwemmungen bedroht. Der Klimawandel ist auch eine **Bedrohung für die biologische Vielfalt**: Die Geschwindigkeit der globalen Erwärmung überfordert die Anpassungsfähigkeit vieler Arten. So ist bereits heute ein Drittel aller riffbildenden Korallenarten durch steigende Wassertemperaturen gefährdet. Neben dem Klimawandel tragen die Vernichtung und Beeinträchtigung von Lebensräumen sowie die Übernutzung von Ökosystemen zu einer Beschleunigung des Artensterbens bei: Jedes Jahr sterben von den rund 1,72 Millionen bekannten Tier- und Pflanzenarten etwa 35.000 aus. Die natürliche Aussterbensrate würde bei circa zehn Arten pro Jahr liegen. Um dem Verlust der biologischen Vielfalt Einhalt zu gebieten, haben die Vereinten Nationen die **UN-Dekade der Biodiversität 2011-2020** ausgerufen.

Bei fortschreitendem Klimawandel werden **extreme Wetterereignisse** wie Dürren, Starkregen und Überschwemmungen häufiger vorkommen. Zu diesen absehbaren Folgen des Klimawandels kommen noch die Gefahren, die von den sogenannten Kipp-Elementen

des Klimasystems ausgehen.³⁶ Solche Kipp-Punkte können beim Erreichen kritischer Schwellenwerte Prozesse in Gang setzen, die die globale Erwärmung beschleunigen und großteils irreversibel und selbstverstärkend sind. Zu diesen Kipp-Punkten zählen unter anderem das Abschmelzen der Gletscher im Himalaya, das Tauen der sibirischen Permafrostböden und die damit verbundene Freisetzung von Methan, die Instabilität des Amazonas-Regenwaldes, die Bistabilität des indischen Monsuns sowie die Instabilität des Grönländischen Eisschildes und des Westantarktischen Eisschildes.

Ein „Weiter-so-Szenario“ bei den CO₂-Emissionen ist angesichts dieses existenziellen Risikos für die natürlichen Lebensgrundlagen der Menschheit keine zu rechtfertigende Option – weder aus ökologischer noch aus ökonomischer Perspektive: Das Aussetzen des Klimawandels käme der Weltwirtschaft teuer zu stehen, denn die Kosten des Nicht-Handels werden höher sein als Finanzierung von Gegenmaßnahmen. Der Stern-Report kam bereits 2006 zu dem Ergebnis, dass ein Prozent des jährlichen globalen Bruttoinlandsprodukts aufgewendet werden muss, um das Zwei-Grad-Ziel zu erreichen. Anhaltende Untätigkeit könnte dagegen bis 2050 zu einem Schrumpfen der globalen Wirtschaftsleistung um bis zu 20 Prozent führen.

Um die Herausforderung des Klimawandels zu meistern, bedarf es einer Doppelstrategie: Zum einen geht es **um die Anpassung** an die Folgen des Klimawandels, zum anderen um die Begrenzung des weiteren Temperaturanstiegs durch eine **Minderung des Treibhausgasausstoßes**. Anpassung und Minderung sind dabei keine konkurrierenden Ziele, denn Anpassung ist eine Reaktion auf die globale Erwärmung, aber kein Instrument, um sie zu verhindern oder zu begrenzen.³⁷

Auf politischer Ebene hat sich – ungeachtet der langsamen Fortschritte der internationalen Klimapolitik – in den letzten Jahren immer stärker die Einsicht in die Notwendigkeit durchgesetzt, Maßnahmen zum Klimaschutz zu ergreifen. Ein Indikator dafür ist die steigende Anzahl von klimarelevanten Gesetzen und Verordnungen: Allein zwischen Dezember 2008 und Dezember 2010 haben die 16 größten Volkswirtschaften der Erde, die sogenannten MEF-Länder,³⁸ fast 300 klimapolitisch relevante Maßnahmen beschlossen.³⁹

35 Vgl. Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltfragen, Klimawandel (2009).

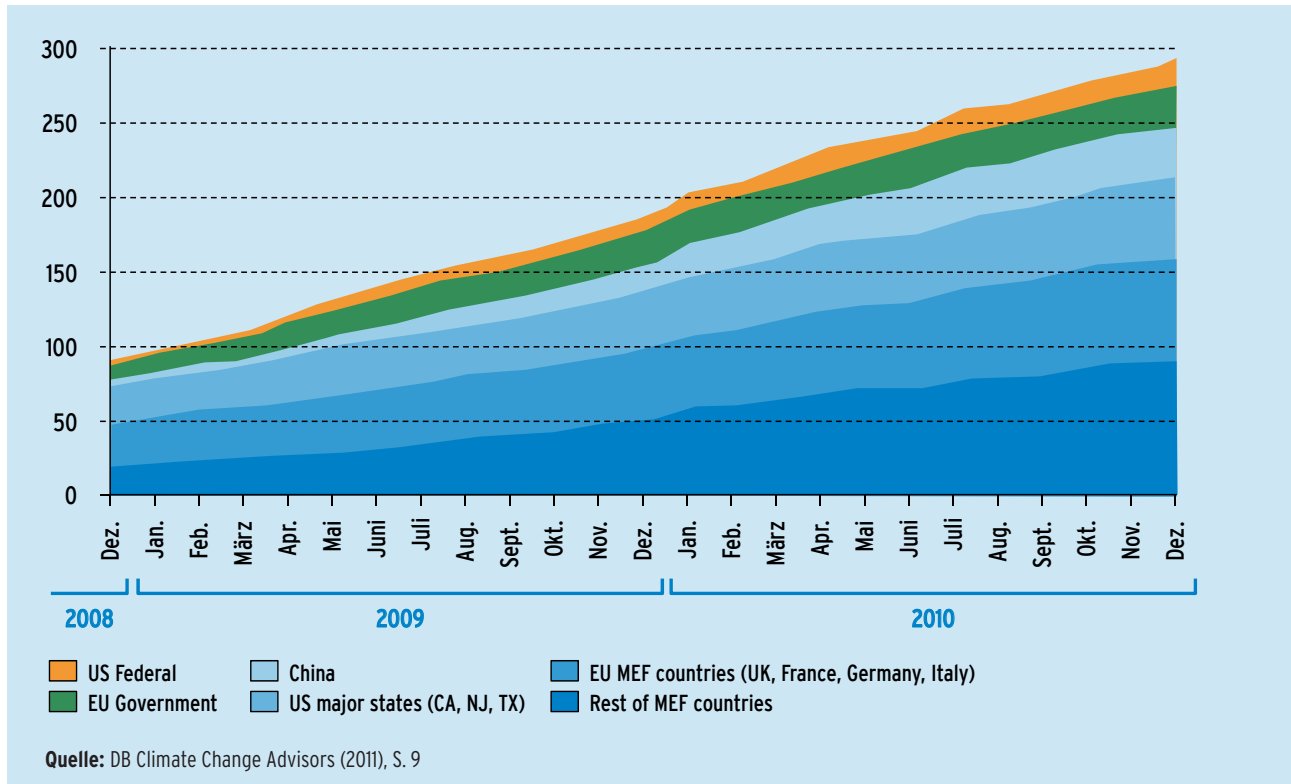
36 „Der Begriff ‚Kipp-Element‘ ist dadurch definiert, dass hier kleine äußere Störungen eine starke Reaktion auslösen.“ – Vgl. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (2011a).

37 Was durch Verminderung nicht verhindert werden kann, verlangt uns Anpassung ab; was wir durch Anpassung nicht bewältigen können, müssen wir verhindern.“ – Mastrandrea, M./Schneider, S. (2011), S. 39.

38 Zu den MEF-Ländern (Major Economies Forum) werden die G8-Staaten (Deutschland, Frankreich, Großbritannien, Italien, Japan, Kanada, Russland und USA) sowie Australien, Brasilien, China, Indien, Indonesien, Mexiko, Südafrika und Südkorea gezählt.

39 Vgl. DB Climate Change Advisors (2011), S. 9.

Abbildung 3: Klimarelevante politische Initiativen 2008 bis 2010

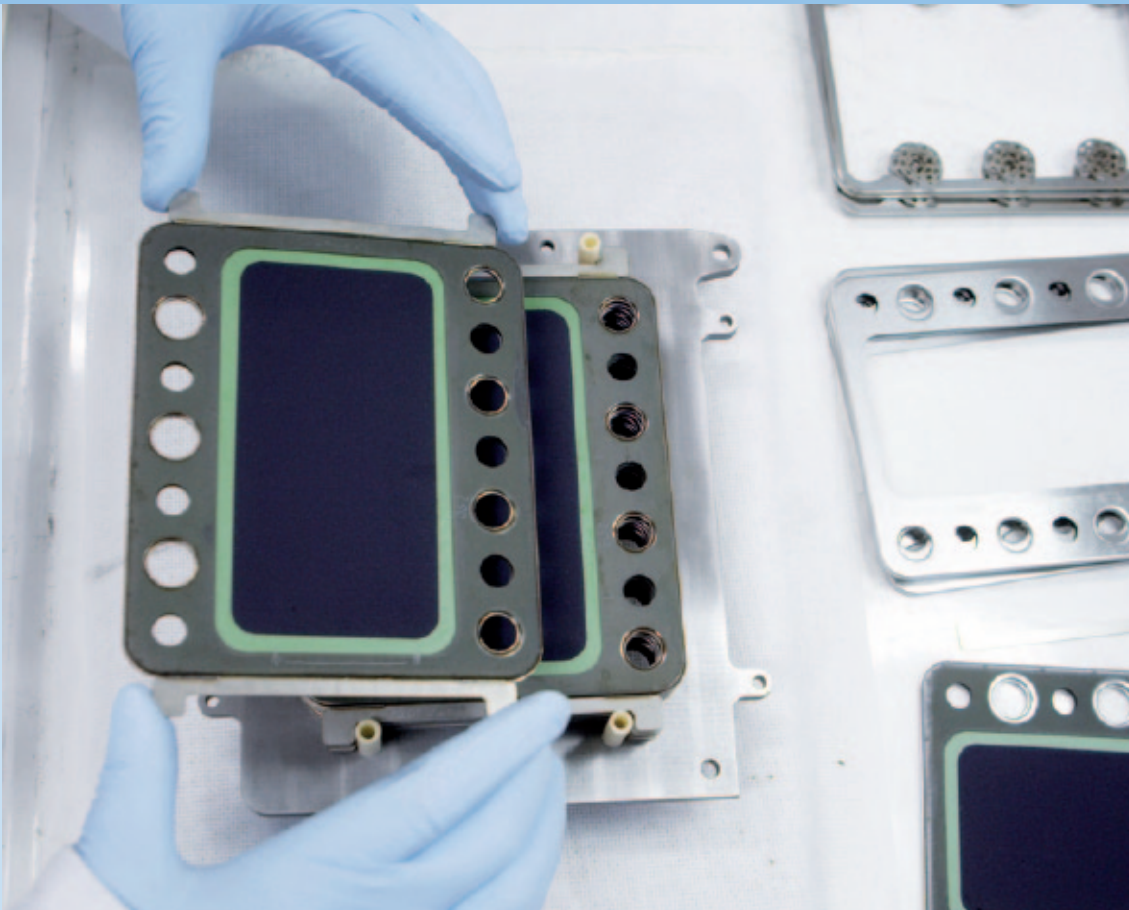


Fazit

Die hier skizzierten Megatrends werden rund um den Globus in den nächsten Jahrzehnten die gesellschaftlichen, politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen prägen. Vor allem Klimawandel und Ressourcenknappheit sind die maßgeblichen Treiber für die Entwicklung der Umwelttechnik.

Sie hat sich als internationaler Leitmarkt etabliert, auf dem deutsche Anbieter hervorragend positioniert sind. Eine detaillierte Darstellung der Green-Tech-Branche und ihrer Märkte sowie Prognosen über deren Entwicklung bis zum Jahr 2025 liefert das folgende Kapitel.

Der internationale und nationale Markt für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz – Klassische Wirtschaftszweige als Grundlage des Wachstums der Umwelttechnik



Kartierung einer Wachstumsbranche – Die Systematik der „grünen“ Märkte

Im Fahrzeugbau werden Fahrzeuge gebaut, im Maschinenbau Maschinen. Diese Branchen haben „sprechende Namen“, die eine klare Vorstellung vermitteln, welche Betriebe dem jeweiligen Wirtschaftszweig zuzurechnen sind und womit sie ihre Umsätze machen. Bei der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz liegt der Fall komplizierter. Diese junge Branche hat nicht einmal einen einheitlichen Namen, sondern firmiert als Umwelttechnologien, Grüne Technologien, Cleantech, GreenTech etc. So vielfältig wie die Bezeichnungen sind auch die Facetten der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz. Auch wenn GreenTech häufig mit erneuerbaren Energien assoziiert wird, greift eine Gleichsetzung zu kurz. Zwar sind die Erzeugung, Bereitstellung und Speicherung regenerativer Energien ein wichtiger Bereich der Umwelttechnik-Branche, aber dieser Wirtschaftszweig ist weitaus umfassender.

Die **Umwelttechnik und Ressourceneffizienz** ist eine **Querschnittsbranche** mit zahlreichen Überschneidungen zu anderen Schlüsselindustrien wie dem Maschinen- und Anlagenbau, der Elektrotechnik oder dem Fahrzeugbau. Geschäftsfelder und Technologien dieser klassischen Industriezweige werden erweitert und teilweise neu definiert. Aufgrund dieser Überschneidungen weist die Umwelttechnik und Ressourceneffizienz nicht in allen Bereichen trennscharfe Grenzen zu anderen Wirtschaftszweigen auf – was eine eindeutige Definition der GreenTech-Branche nicht eben erleichtert.

Um die Branche zu charakterisieren und abzugrenzen, werden hier **Umwelttechnik und Ressourceneffizienz nicht über Produkte, sondern über Leitmärkte definiert**. Dieser Ansatz wurde bereits der Darstellung der Umwelttechnik-Märkte in den Publikationen *GreenTech made in Germany* und *Green-Tech made in Germany 2.0* zugrunde gelegt und kann inzwischen als etabliert gelten.

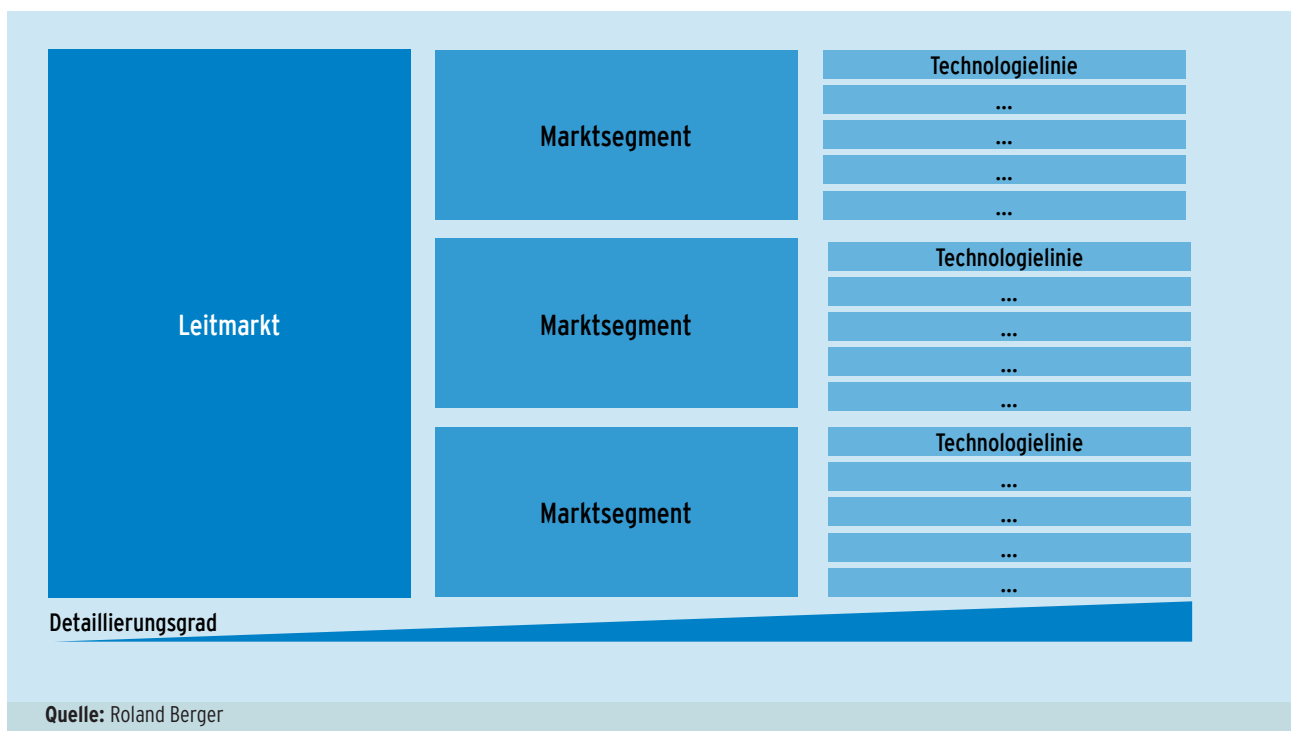
Als **Leitmärkte** werden wesentliche Teilbereiche der **Umwelttechnik und Ressourceneffizienz bezeichnet**. Auf diesen „Kernfeldern“ sind ökonomische und ökologische Belange und Herausforderungen besonders eng verknüpft; das heißt, die Leitmärkte spielen eine entscheidende Rolle für die Befriedigung menschlicher Grundbedürfnisse und für die Erhaltung der Ökosysteme. Auf dieser konzeptionellen Grundlage wird die **Branche Umwelttechnik und Ressourceneffizienz in sechs Leitmärkte unterteilt**:

- Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung
- Energieeffizienz
- Rohstoff- und Materialeffizienz
- Nachhaltige Mobilität
- Kreislaufwirtschaft
- Nachhaltige Wasserwirtschaft

Die Grundlage für die Segmentierung der Leitmärkte hat sich bei der groß angelegten Unternehmensbefragung herauskristallisiert, die im Vorfeld der ersten Auflage des Umwelttechnik-Atlas durchgeführt wurde. Inzwischen hat sich gezeigt, dass diese Unterteilung der Leitmärkte nach wie vor einen stimmigen Rahmen für die Betrachtung der GreenTech-Branche darstellt. Dies haben zahlreiche Befragungen der Marktteilnehmer bestätigt.

Auch wenn der Rahmen für die Analyse des Wirtschaftszweiges Umwelttechnik und Ressourceneffizienz seit 2007 gleichgeblieben ist: Innerhalb dieser strukturbildenden Einfassung hat sich **in den einzelnen Leitmärkten eine sehr dynamische Entwicklung** vollzogen. Für eine differenzierte Beschreibung der GreenTech-Branche würde die Untergliederung nach Leitmärkten deshalb nicht ausreichen, um die Trends und Verschiebungen abzubilden. Um eine größere Tiefenschärfe bei der Betrachtung der nationalen und internationalen Märkte zu erreichen, bedarf es einer engmaschigeren Segmentierung. Deshalb wurden **unterhalb der Leitmarktebene noch zwei weitere Hierarchiestufen eingeführt: Marktsegmente**

Abbildung 4: Segmentierung des Leitmarktes in Marktsegmente und Technologielinien



Quelle: Roland Berger




und **Technologielinien**. Dieses Gliederungsschema (siehe Abbildung 4) ermöglicht einerseits einen hohen Detaillierungsgrad, erlaubt aber auch den Überblick über Entwicklungen, die sich in einem größeren Maßstab vollziehen.

Die **kleinste Einheit bei der Unterteilung der Leitmärkte** bilden die sogenannten **Technologielinien**. Dieser Benennung liegt hier jedoch ein weit gefasstes Verständnis zugrunde. Unter dem Dach des Begriffs

‚Technologielinie‘ werden Produkte, Verfahren und Dienstleistungen versammelt; die Bezeichnung ‚Technologielinie‘ bedeutet keine Beschränkung im engeren Sinn von ‚Technik‘.

Damit das soeben beschriebene Gliederungsschema anschaulich und nachvollziehbar wird, zeigt Abbildung 5 am Beispiel des Leitmarktes **Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung** die Unterteilung in Marktsegmente und Technologielinien.

Abbildung 5: Marktsegmente und Technologielinien des Leitmarktes Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung

Marktsegmente	Technologielinien
 <p>Erneuerbare Energien</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Photovoltaik • Solarthermie • Geothermie (oberflächennahe und tiefe Geothermie) • Windkraft (Offshore und Onshore) • Wasserkraft • Biomassenutzung (z.B. Biogasanlagen, Biomasseaufbereitung, Biomasseheizkraftwerke) • Verstromung von Klärgas
 <p>Umweltschonende Nutzung von fossilen Brennstoffen</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Kombikraftwerke (GuD Anlagen) • Blockheizkraftwerke (Kraft-Wärme-Kopplung, Fern- und Nahwärmenetze) • Hochleistungskraftwerk (Hochtemperaturtechnik) • CO₂-arme Energieerzeugung
 <p>Speichertechnologien</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mechanische Speicherung von Energie (z.B. Pumpspeicherung, Druckluftspeicherung, Schwungrad) • Elektrochemische Speicherung von Energie (z.B. Batterien, Wasserstoffspeicherung) • Elektronische Speicherung von Energie (z.B. Kondensatoren, Magnetspeicherung) • Thermische Speicherung von Energie (z.B. Erdwärmespeicherung)

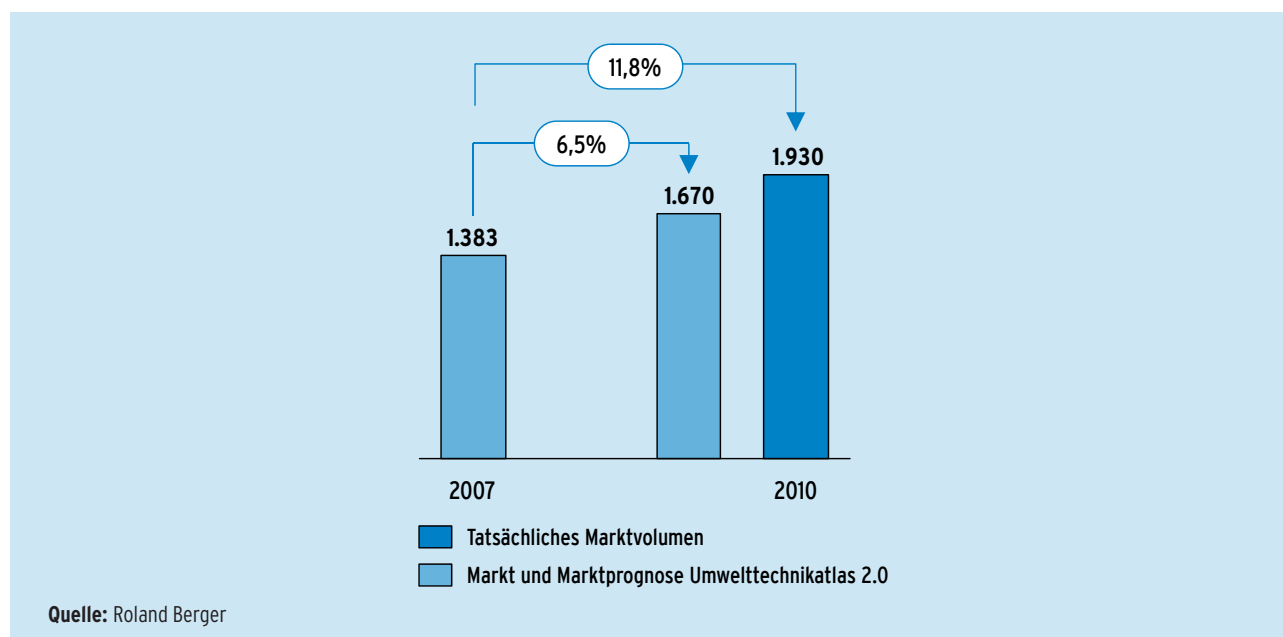
Quelle: Roland Berger

Auf Wachstumskurs – Entwicklung der globalen und nationalen GreenTech-Märkte

Als 2009 die Publikation *GreenTech made in Germany 2.0* erschien, wurden der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz glänzende Zukunftsaussichten prophezeit: Dieser Markt – so die Prognose in der zweiten Auflage des Umwelttechnik-Atlas – sollte weltweit im Zeitraum 2007 bis 2010 jahresdurchschnittlich um 6,5 Prozent wachsen. Die Realität hat diese Voraussage allerdings überflügelt: **Der globale Markt für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz ist zwischen 2007 und 2010 um durchschnittlich 11,8 Prozent per annum gewachsen und hat 2010 ein Volumen von 1.930 Milliarden Euro erreicht** (siehe Abbildung 6). Die Vorhersage aus der zweiten Auflage des Umwelttechnik-Atlas lag noch bei 1.670 Milliarden Euro.

Dieses „Delta“ zwischen Prognose und Realität – 260 Milliarden Euro – ist vor allem auf zwei Faktoren zurückzuführen: Zum einen war auf dem Sektor der **Umwelttechnik-Dienstleistungen ein immenses Wachstum zu verzeichnen**; zum anderen wurden 2009 „grüne“ **Konjunkturprogramme** beschlossen, um die Ökonomie aus der Talsohle der Finanz- und Wirtschaftskrise 2008/2009 zu holen. Diese Konjunkturpakete sind der Hauptgrund, dass die internationale Nachfrage nach Umwelttechnik wesentlich stärker angezogen hat als erwartet. Mit 240 Milliarden Euro geht der Großteil des nicht prognostizierten Wachstums auf das Konto der Maßnahmen zur Wiederbelebung der Konjunktur.

Abbildung 6: Entwicklung des globalen Marktes für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz 2007 bis 2010 (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2007-2010 in Prozent)



Allerdings werden trotz des Höhenflugs in den Jahren 2007 bis 2010 die Wachstumsprognosen für den gesamten Zeitraum zwischen 2007 und 2025 nicht nach oben korrigiert. In diesem Zeitintervall ist nach wie vor mit einem jahresdurchschnittlichen Wachstum von 5,6 Prozent zu rechnen. Das hohe Investitionsniveau der Jahre 2007 bis 2010 wird nicht beibehalten, da es im Wesentlichen auf Vorzieheffekte zurückzuführen war.

Als Katalysator für den weltweiten Expansionskurs der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz wirken Konjunkturprogramme, die einige Staaten als Reaktion auf die Finanz- und Wirtschaftskrise 2008/2009 aufgelegt haben. Hinzu kommen in vielen Ländern Fördermechanismen, um die Marktdurchdringung von Effizienztechnologien und erneuerbaren Energien zu unterstützen. Die Schwerpunkte, die einzelne Staaten dabei setzen, fallen unterschiedlich aus. Einige Beispiele aus wichtigen Industrie- und Schwellenländern illustrieren die Bandbreite „grüner“ Infrastrukturprogramme.

Brasilien hat als Reaktion auf die Wirtschaftskrise 2008/2009 das umfangreiche Infrastrukturprogramm PAC 1 (Programa de Aceleramento do Crescimento – PAC) verabschiedet; ihm folgte PAC 2, das Investitionen für den Zeitraum 2011 bis 2014 vorsieht. Mit den „Wirtschaftsbeschleunigungsprogrammen“ will das

größte lateinamerikanische Land vor allem Defizite in der Abfall- und Wasserwirtschaft beseitigen: Im Rahmen von PAC 2 – sein Volumen liegt insgesamt bei circa 870 Milliarden US-Dollar – sollen knapp 48 Milliarden US-Dollar für „Urbane Infrastruktur und Versorgung abgelegener Regionen mit Wasser und Elektrizität“ investiert werden. Zwischen 2011 und 2014 sind für den „Ausbau der Nutzung der erneuerbaren Energien sowie der Förderung von Erdöl und Gas“ 255,3 Milliarden US-Dollar vorgesehen.¹

Indien plant bis 2012 Investitionen in Höhe von rund neun Milliarden Euro in die Wasserversorgung und Abwasserentsorgung.² Im Rahmen des Programms „Solar Mission“ sollen bis 2022 Kapazitäten für die Erzeugung von Solarstrom im Umfang von 20 Gigawatt aufgebaut werden; außerdem ist die Installation von 17 Millionen Quadratmetern Kollektorfläche für die solare Warmwasserbereitung vorgesehen.³ Die **Volksrepublik China** hat schon im 11. Fünfjahresplan (2006-2010) einige ökologische Akzente gesetzt, etwa die Erhöhung der Energieeffizienz und die Verringerung der CO₂-Intensität. Im Rahmen des 12. Fünfjahresplans (2011-2015) spielen Energie- und Umweltfragen ebenfalls eine große Rolle: Die Energieintensität soll zwischen 2011 und 2015 um 16 Prozent abnehmen, die CO₂-Intensität um 17 Prozent. Der Wassereinsatz pro BIP-Einheit soll bezogen auf das Jahr 2010 um 30 Prozent zurückgehen.

1 Vgl. German Trade & Invest (2010a).

2 Vgl. German Trade & Invest (2011b).

3 Vgl. German Trade & Invest (2011a).

Als Reaktion auf die Wirtschafts- und Finanzkrise 2008/2009 haben die USA den „American Recovery and Reinvestment Act (ARRA)“ verabschiedet. Er umfasst zahlreiche Investitionsvorhaben im Bereich Umwelttechnik und Ressourceneffizienz. Dazu gehören beispielsweise 14,5 Milliarden US-Dollar für Energieeffizienzmaßnahmen für Gebäude. In den Energiesektor sollen 23 Milliarden US-Dollar fließen; davon sind sechs Milliarden US-Dollar für den Ausbau des Stromnetzes zur Integration erneuerbarer Energien vorgesehen. CCS-Technologien sollen mit 3,4 Milliarden US-Dollar gefördert werden; elf Milliarden US-Dollar sind für die Modernisierung des Stromnetzes eingeplant. Die erneuerbaren Energien sollen mit insgesamt 30 Milliarden US-Dollar unterstützt werden.⁴

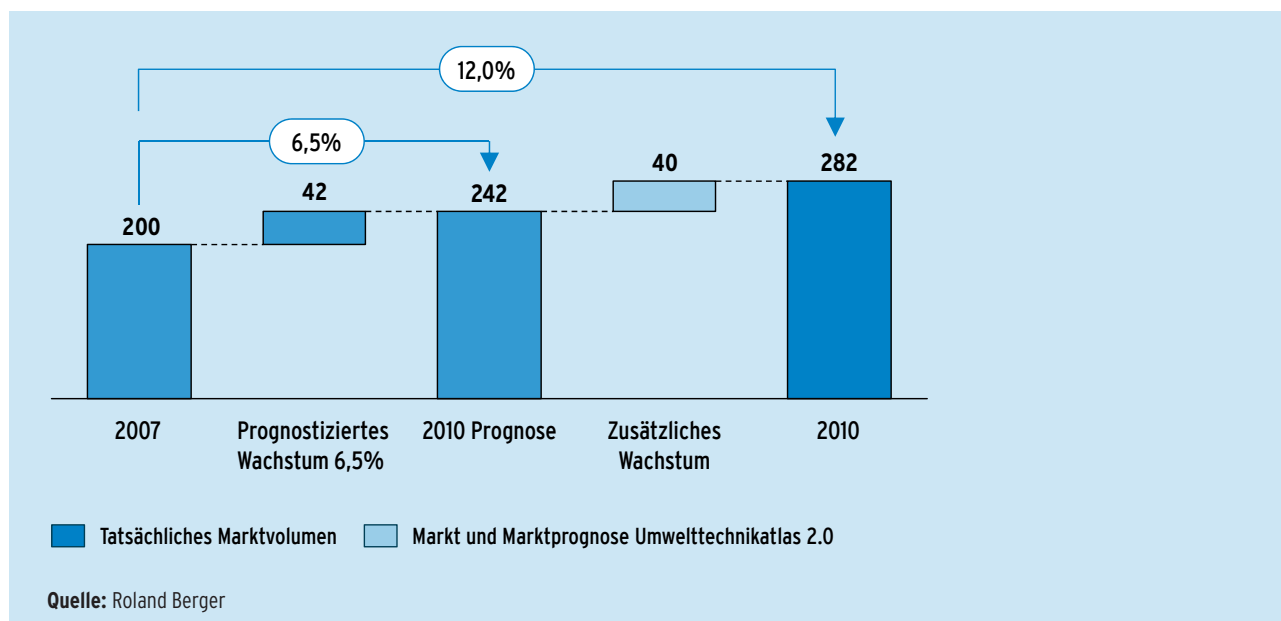
Die deutschen GreenTech-Anbieter konnten von der Expansion der internationalen Märkte für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz stark profitieren. Die aufgrund der „grünen“ Konjunkturprogramme gestiegene Auslandsnachfrage nach Umwelttechnik kam Unternehmen aus Deutschland dank ihrer exzellenten Positionierung auf dem Weltmarkt sehr zugute. Allein Siemens rechnet mit zusätzlichen Aufträgen von rund 15 Milliarden Euro aus staatlichen grünen Konjunkturprogrammen. Das in Deutschland im Januar 2009 beschlossene „Konjunkturpaket II“ enthielt „grüne Elemente“, beispielsweise die energie-

tische Sanierung öffentlicher Gebäude oder Förderung der Elektromobilität.

Vor diesem Hintergrund hat die durch Konjunkturprogramme weltweit zunehmende Nachfrage nach Verfahren und Produkten der Umwelttechnik **starke Impulse für die Branchenentwicklung in Deutschland** gesetzt. Wie Abbildung 7 zeigt, hat das Wachstum des GreenTech-Marktes in Deutschland die Voraussagen aus dem Umwelttechnik-Atlas 2.0 bei Weitem übertroffen: Statt wie prognostiziert um 6,5 Prozent hat **der Markt für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz zwischen 2007 und 2010 jahresdurchschnittlich um zwölf Prozent** zugelegt.

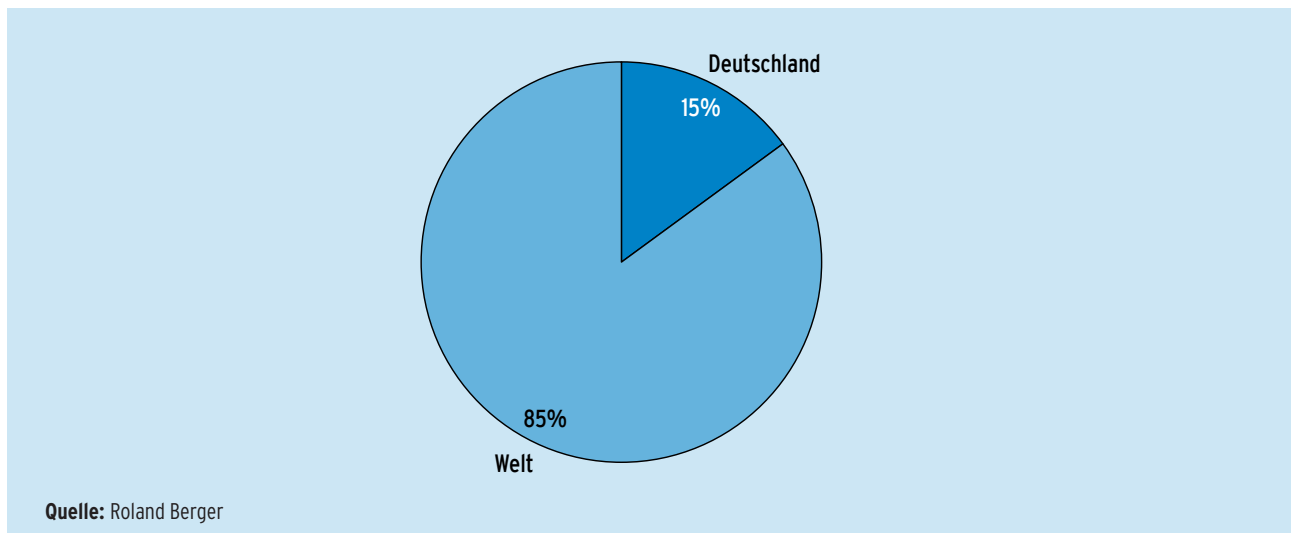
Diese Entwicklung verdeutlicht die starke Stellung deutscher Anbieter. Auf dem globalen Markt für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz erreicht Deutschland einen Marktanteil von 15 Prozent (siehe Abbildung 8). Damit ist es den GreenTech-Unternehmen gelungen, ihre hervorragende Positionierung auf den internationalen Märkten zu behaupten. Auch langfristig schafft es Deutschland, den Marktanteil von 15 Prozent im wachsenden Markt der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz zu verteidigen (siehe Abbildung 9).

Abbildung 7: Marktwachstum Deutschland (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2007-2010 in Prozent)



4 Vgl. German Trade & Invest (2010b).

Abbildung 8: Anteil Deutschlands am globalen Markt für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz

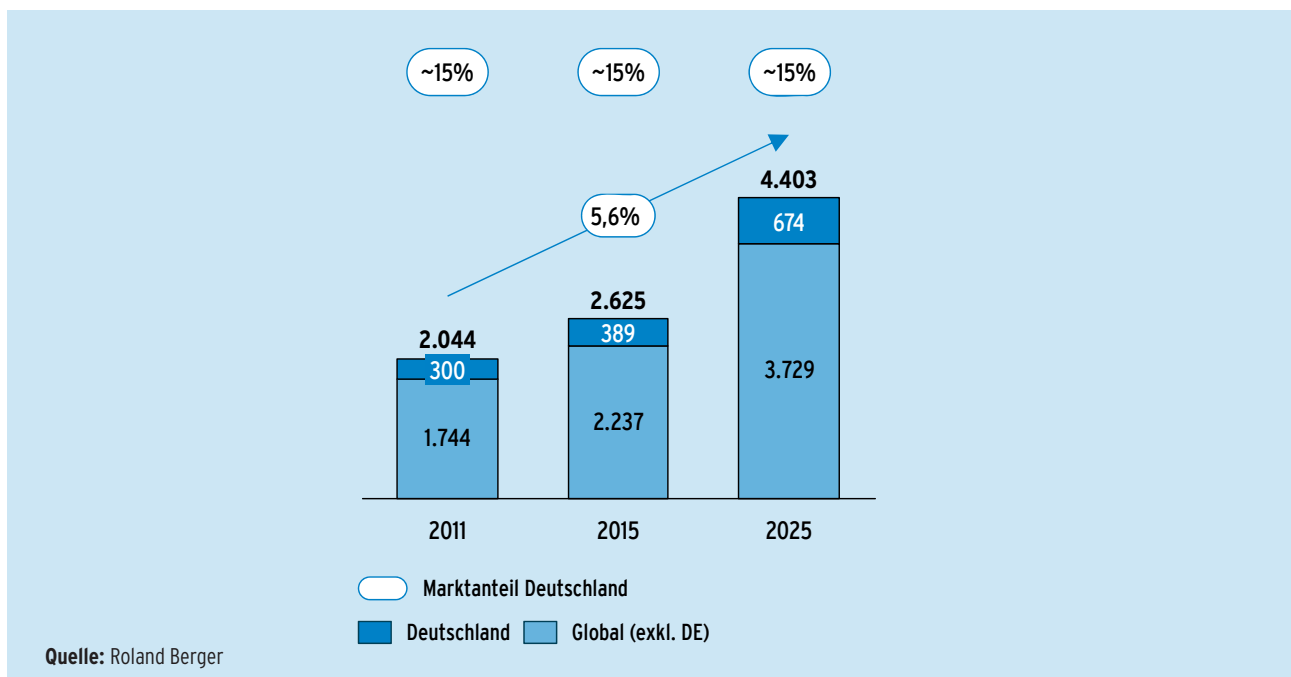


Die aktuelle Analyse im GreenTech-Atlas 3.0 bestätigt erneut die **Bedeutung der Wachstumsbranche Umwelttechnik und Ressourceneffizienz für den Standort Deutschland. Der Anteil dieses Wirtschaftszweiges am Bruttoinlandsprodukt (BIP) liegt inzwischen bei knapp elf Prozent.** Dieser Beitrag zur Wirtschaftsleistung wird sich bis 2025 auf über 20 Prozent erhöhen; dafür sorgt das Wachstum des globalen Marktes, das die Nachfrage nach

Umwelttechnik und Ressourceneffizienz „made in Germany“ stimuliert.

Dieser Aufschwung spiegelt sich in der Beschäftigungsentwicklung wider: **2011 gab es in der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz bezogen auf die sechs Leitmärkte 1,4 Millionen Arbeitsplätze.**⁵ Davon sind etwa eine Million Beschäftigte im Sektor Umwelttechnik-Dienstleistungen tätig;

Abbildung 9: Wachstumsprognose des globalen Marktes für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz 2011, 2015, 2025 (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)



5 Diese sechs Leitmärkte erfassen noch nicht alle Arbeitsplätze, die für die Herstellung von Umweltschutzwaren und -dienstleistungen nötig sind. Im Jahr 2008 arbeiteten in Deutschland knapp zwei Millionen Beschäftigte für den Umweltschutz – dabei sind allerdings neue Bereiche wie nachhaltiger Tourismus und umweltorientierte Versicherungswirtschaft noch nicht oder nur unzureichend enthalten. Vgl. Bundesumweltministerium/Umweltbundesamt (2012).

die übrigen 400.000 Arbeitsplätze entfallen auf die Produktion und den Anlagenbau. Betrachtet man die Verteilung der GreenTech-Beschäftigten auf die einzelnen Leitmärkte, erweisen sich die Energieeffizienz sowie die Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung mit Abstand als Spitzenreiter (siehe Abbildung 10).

Im Jahr 2025 wird es voraussichtlich 2,4 Millionen Beschäftigte im Wirtschaftszweig Umwelttechnik

und Ressourceneffizienz geben (siehe Abbildung 11). Die Beschäftigtenzahl wird in diesem Zeitraum mit einem jahresdurchschnittlichen Wachstum von 3,9 Prozent zulegen. Mit dieser Wachstumsrate wird der Beschäftigungszuwachs geringer veranschlagt als das für diesen Zeitraum vorhergesagte Marktwachstum in Höhe von 5,6 Prozent. Diese Abweichung ergibt sich daraus, dass eine Produktivitätssteigerung von zwei Prozent angenommen wurde.

Abbildung 10: Verteilung der Beschäftigten der Umwelttechnik-Branche auf die einzelnen Leitmärkte - Deutschland 2011

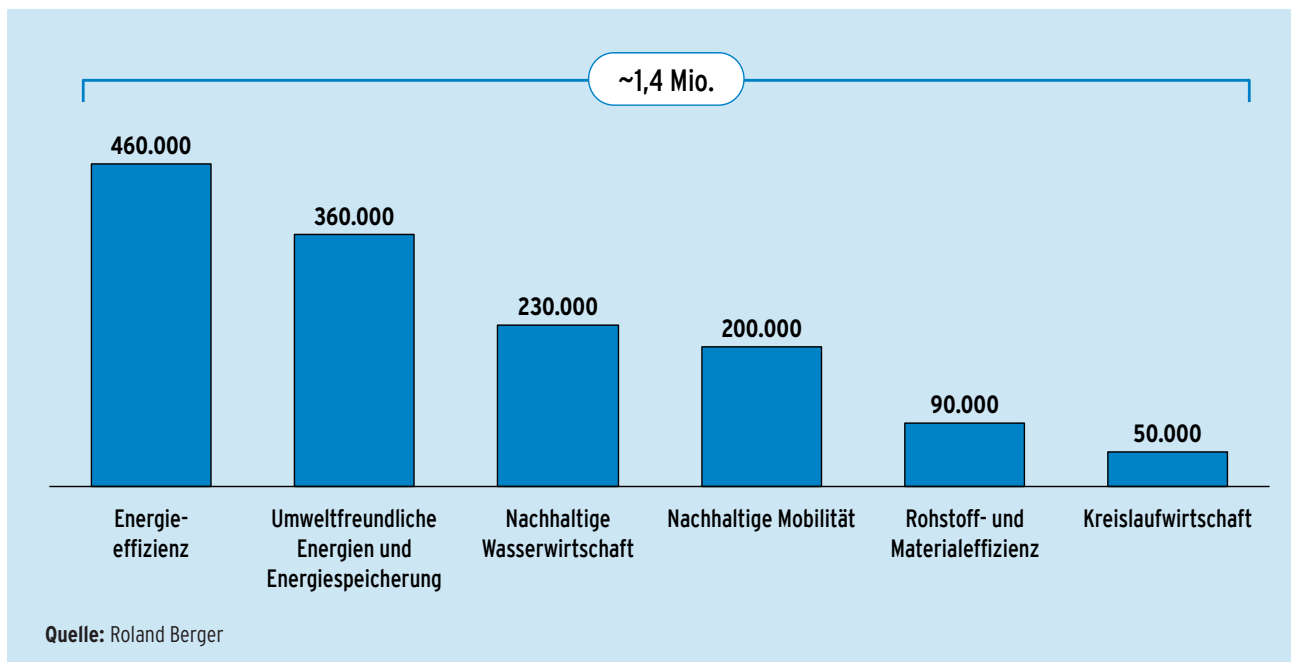
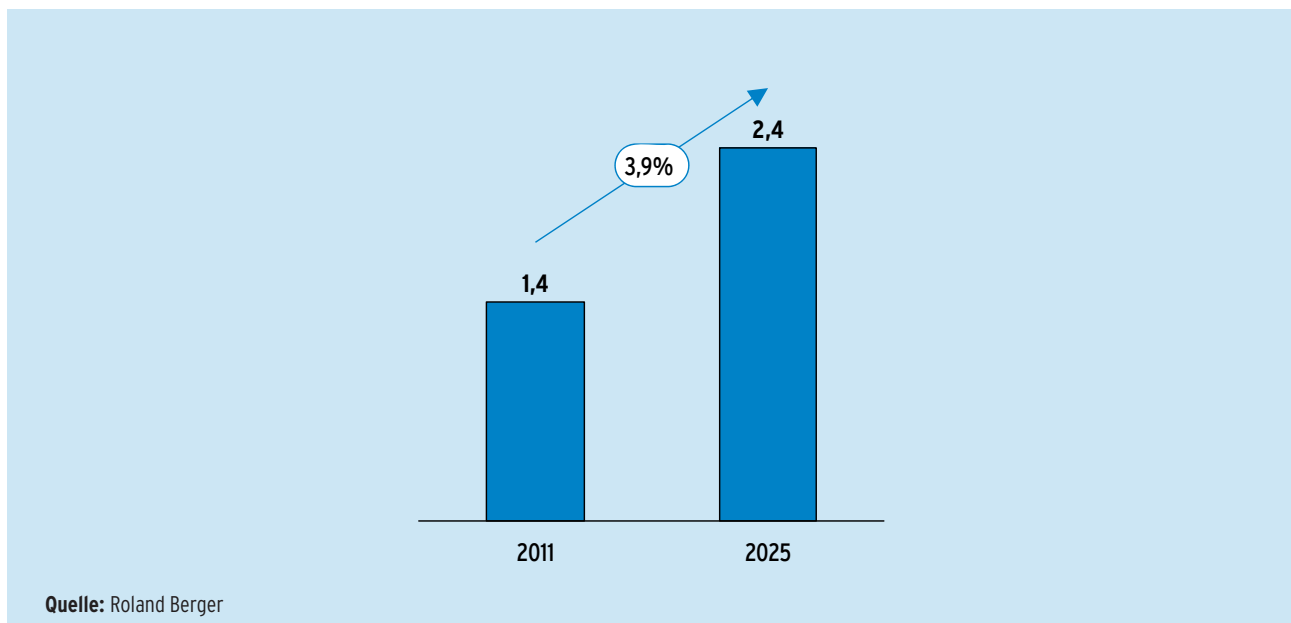


Abbildung 11: Beschäftigungsentwicklung in der Branche Umwelttechnik und Ressourceneffizienz 2011 bis 2025 (in Millionen und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)



Einblicke in Nahaufnahme - Ausgewählte Trends in einzelnen Leitmärkten

Die sechs Leitmärkte der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz erreichen 2011 weltweit ein Volumen von 2.044 Milliarden Euro; 2025 wird es mit über 4.400 Milliarden Euro mehr als doppelt so groß sein. Sowohl aus globaler als auch aus nationaler Perspektive ist **Energieeffizienz heute mit Abstand der Leitmarkt mit dem größten Volumen** (siehe Abbildung 12). Gerade an einem Standort wie Deutschland, an dem die Industrieproduktion in den Branchen wie Maschinenbau, Chemieindustrie und Fahrzeugbau eine wichtige Rolle spielt, nimmt die Nachfrage nach Produkten und Verfahren zur Steigerung der Energieeffizienz enorm zu. Auf der Anwenderseite senken Investitionen in Energieeffizienz die Kosten bei der Produktion und tragen damit zur Wettbewerbsfähigkeit deutscher Anbieter bei. Auf der Anbieterseite stimulieren steigende Investitionen in energieeffiziente Lösungen die Entwicklung neuer Effizienztechnologien, was wiederum eine positive Wechselwirkung auf die Nachfrage auslöst.

Der Blick auf die Umwelttechnik **in Deutschland** zeigt, dass auch hier die **Energieeffizienz mit einem Volumen von 98 Milliarden Euro der größte Leitmarkt der nationalen GreenTech-Branche** mit einem Gesamtvolumen von 300 Milliarden Euro ist (siehe Abbildung 13). Während international die Nachhaltige Wasserwirtschaft den zweitgrößten Leitmarkt darstellt, rangiert hierzulande der Leitmarkt

Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung auf Platz zwei. Getrieben wird die Entwicklung dieses Leitmarktes ganz wesentlich durch die frühzeitigen energiepolitischen Weichenstellungen, den Ausbau der erneuerbaren Energien zu fördern. Hinzu kommt, dass der im Rahmen der Energiewende beschlossene Atomausstieg bis 2022 die Nachfrage nach erneuerbaren Energien und Speichertechnologien zusätzlich stimuliert – was sich in einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 8,4 Prozent bis zum Jahr 2025 widerspiegelt.

Betrachtet man die Positionierung der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz „made in Germany“ auf dem globalen Markt, zeigt sich eine besondere Stärke in den Leitmärkten Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung, Kreislaufwirtschaft und Nachhaltige Mobilität (siehe Abbildung 14). Hier halten deutsche Anbieter Weltmarktanteile von 23 Prozent beziehungsweise jeweils 17 Prozent.

Die Prognosen für das Jahr 2025 gehen davon aus, dass der Leitmarkt Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung die Energieeffizienz als volumenmäßig führenden Leitmarkt verdrängen wird. Deren Anteil wird sich von 33 Prozent auf 27 Prozent verringern, während Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung um neun Prozentpunkte zulegt. Die Anteile der Leitmärkte Nachhaltige Mo-

Abbildung 12: Globales Volumen der einzelnen Leitmärkte 2011 (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)

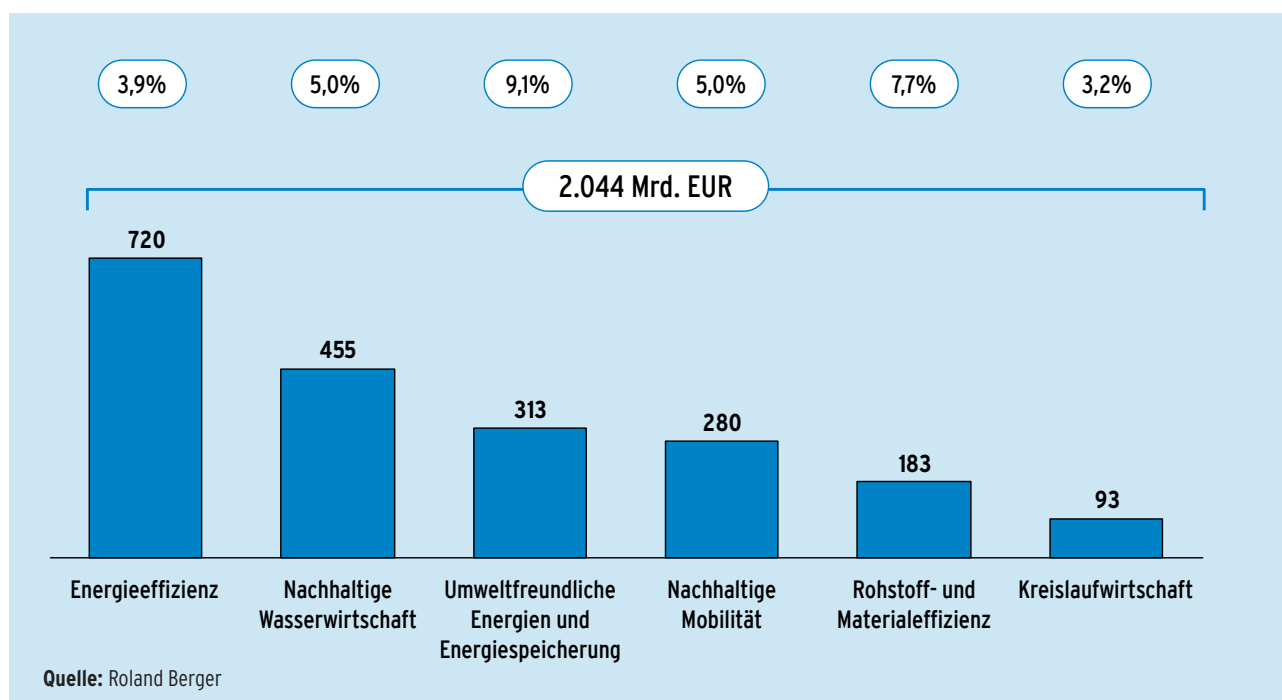


Abbildung 13: Volumina der Leitmärkte der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz in Deutschland 2011 (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)

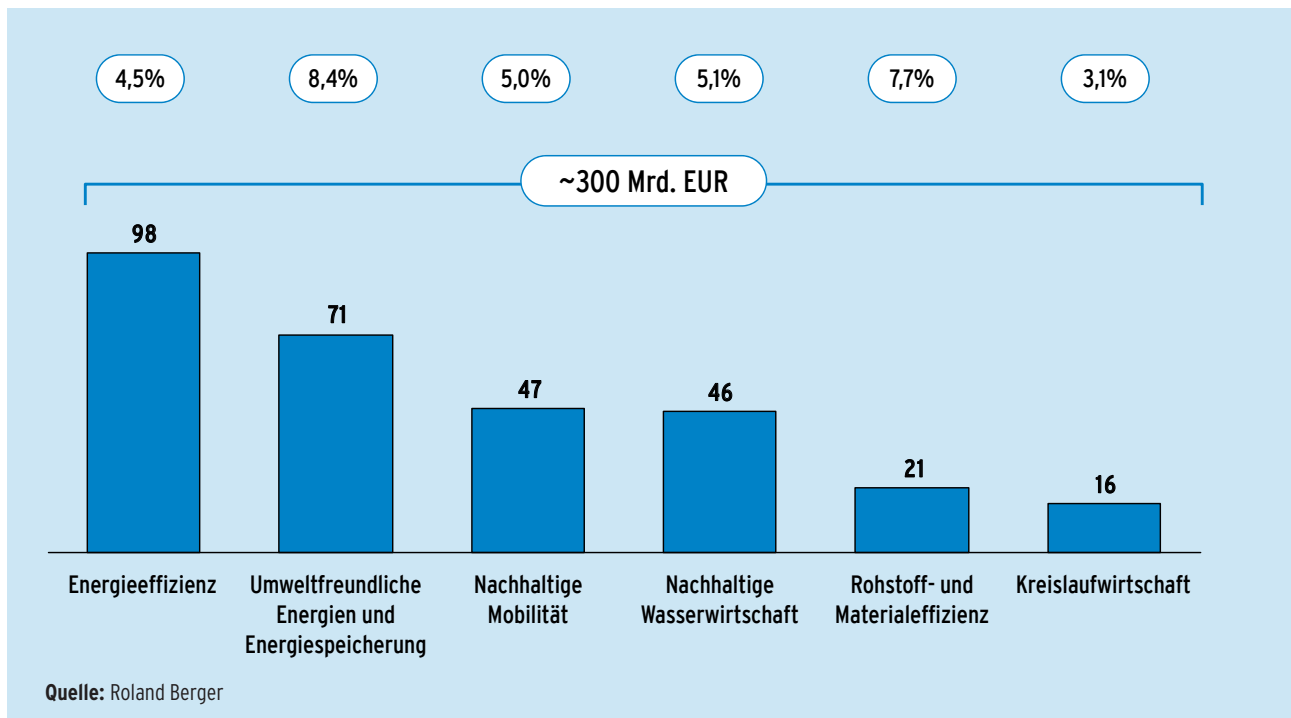
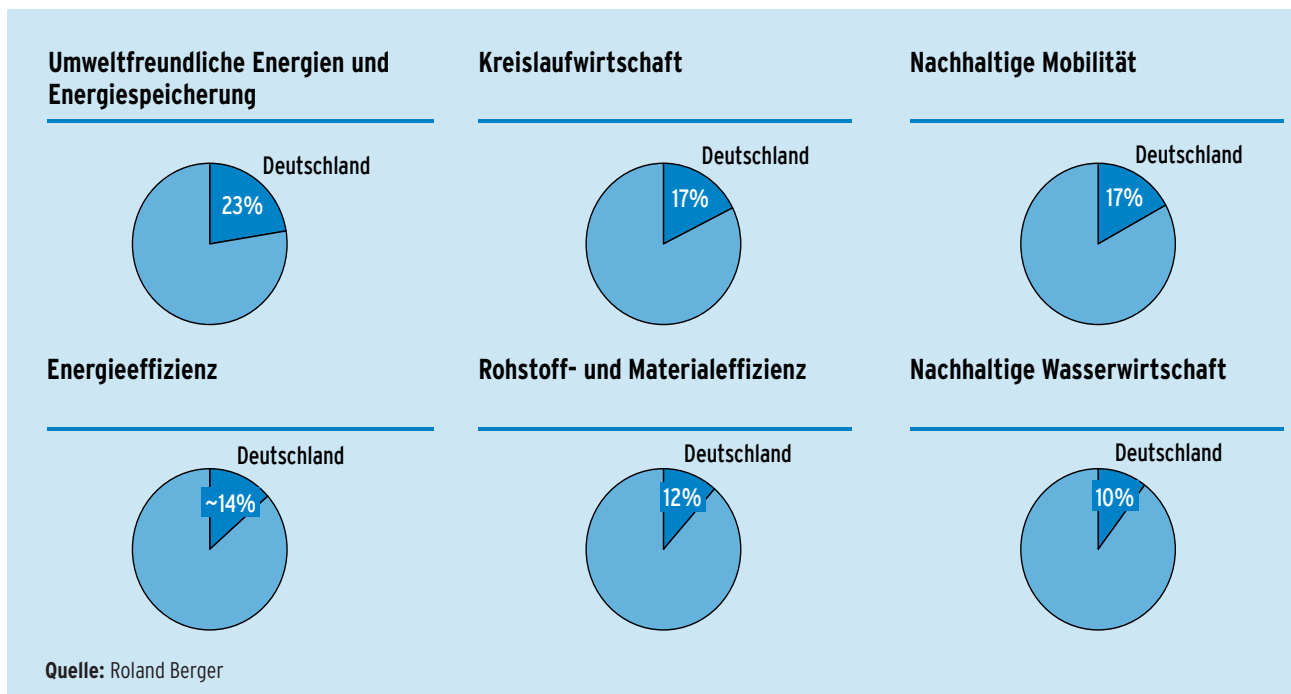


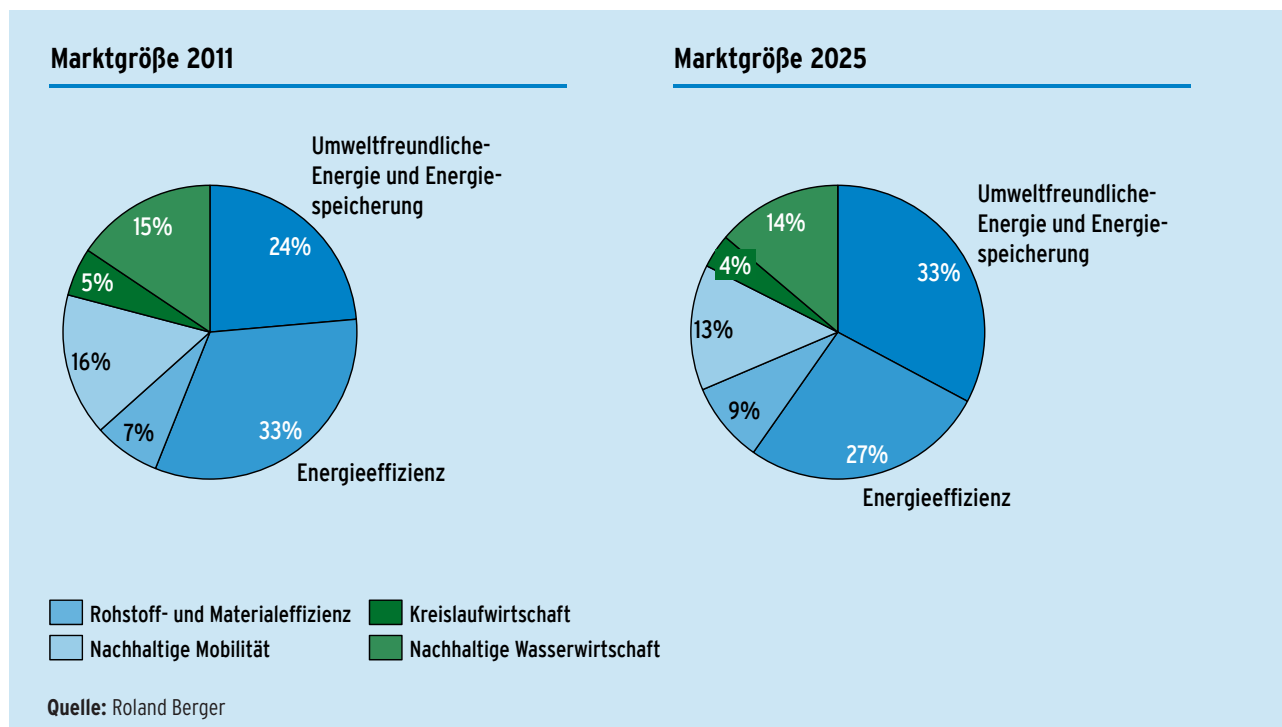
Abbildung 14: Weltmarktanteile deutscher Unternehmen in den sechs Leitmärkten der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz 2011



bilität, Kreislaufwirtschaft und Nachhaltige Wasserwirtschaft an der gesamten GreenTech-Branche in Deutschland verzeichnen marginale Rückgänge, während Rohstoff- und Materialeffizienz leichte Zugewinne verbucht (siehe Abbildung 15).

Auch wenn das Gewicht der Umweltfreundlichen Energien und Energiespeicherung im Inland zunimmt, kann Deutschland mittel- und langfristig seinen Anteil am globalen Volumen dieses Leitmarktes nicht behaupten (siehe Abbildung 16). Deutsche

Abbildung 15: Entwicklung der relativen Marktgrößen auf Leitmarktebene



Anbieter halten 2011 einen Anteil von 23 Prozent am Weltmarkt für Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung; 2025 wird dieser Anteil voraussichtlich nur noch bei 21 Prozent liegen.

Für diese Entwicklung zeichnet vor allem verantwortlich, dass wichtige Industrie- und Schwellenländer die Bedeutung der erneuerbaren Energien und ihren Nachholbedarf auf diesem Sektor erkannt haben, sodass sie jetzt ihre Anstrengungen verstärken.

Der mittel- und langfristige Entwicklungsplan für erneuerbare Energien der Volksrepublik China sieht vor, den Anteil regenerativer Quellen am Primärenergieverbrauch des Landes bis 2020 auf 15 Prozent zu erhöhen. Im 12. Fünfjahresplan (2011-2015) wird dieses Ziel aufgegriffen: Bis 2015 soll der Anteil der nicht fossilen Energieträger am Primärenergieverbrauch auf 11,4 Prozent steigen (2010: 8,3 Prozent). Zu den „nicht fossilen Energieträgern“ werden allerdings auch Kernkraft und große Wasserkraftwerke gerechnet. Rechnet man diese Kategorien heraus, soll der Anteil von Sonne, Wind und Biomasse circa 2,6 Prozent betragen. Für den Ausbau „neuer Energien“ sind Fördermittel in Höhe von fünf Bill. RMB vorgesehen.⁶ Die Produktionskapazitäten für erneuerbare Energien sollen während der Laufzeit des 12. Fünfjahresplans um 225 Gigawatt ausgeweitet werden.

Vor diesem Hintergrund dürfte es deutschen Anbietern zunehmend schwerer fallen, ihre Technologieführerschaft zu verteidigen. Die **zunehmende Konkurrenz aus Asien**, insbesondere aus China, bekommt die **Photovoltaik-Industrie in Deutschland** bereits heute empfindlich zu spüren. Künftig wird es insbesondere für deutsche Modulhersteller schwierig, mit ihrem bisherigen Geschäftsmodell profitabel auf den internationalen Märkten zu agieren. Günstigere Refinanzierung, niedrigere Energiekosten und Personalaufwendungen sowie Abschreibungsvorteile verschaffen asiatischen Modulproduzenten Kostenvorteile von rund 20 bis 30 Prozent. Die Modulhersteller aus China sind bestrebt, durch Skalenvorteile ihre Kostenvorteile weiter zu vergrößern und die Preise für Module und Systeme zu drücken: Die führenden chinesischen Modulproduzenten haben 2011 Produktionskapazitäten von insgesamt 8,6 Gigawatt aufgebaut. Die Produktionskapazitäten in Deutschland beziffern sich auf 2,4 Gigawatt. Für die deutschen Photovoltaik-Hersteller wird es angesichts dieser Konkurrenz nicht einfach, im internationalen Wettbewerb mitzuhalten, zumal die bisher gängigen Module wenig Differenzierungspotenzial hinsichtlich Wirkungsgrad und Markenprofil bieten. Allerdings haben deutsche Hersteller die Möglichkeit, ihre Wettbewerbsposition durch Technologieführerschaft zu festigen beziehungsweise auszubauen. Vielversprechende Ansätze zeigen sich hier bei der Einführung

6 Vgl. German Trade & Invest (2011c).

hocheffizienter Produktionsverfahren, der Weiterentwicklung von Dünnschichtmodulen sowie von organischen Solarzellen.

Bedingt durch den Ausbau der Produktionskapazitäten an anderen Standorten dürfte der Anteil der deutschen Photovoltaik-Industrie am globalen Markt von 34 Prozent im Jahr 2011 bis 2025 auf 24 Prozent zurückgehen (siehe Abbildung 17). Diese

Marktzahlen umfassen Solarmodule, Wechselrichter und den Bau von Solarkraftwerken. Die Marktanteile in diesen drei Bereichen weisen deutliche Unterschiede auf, wie die Werte von 2010 zeigen: An der Modulproduktion hält Deutschland einen Anteil von rund einem Fünftel; dagegen liegt der deutsche Anteil an der Wechselrichterindustrie bei etwa 70 Prozent. Im Bereich Solarkraftwerke hält Deutschland mehr als die Hälfte des Weltmarktes.

Abbildung 16: Deutscher Anteil am globalen Leitmarkt Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung 2011 und 2025

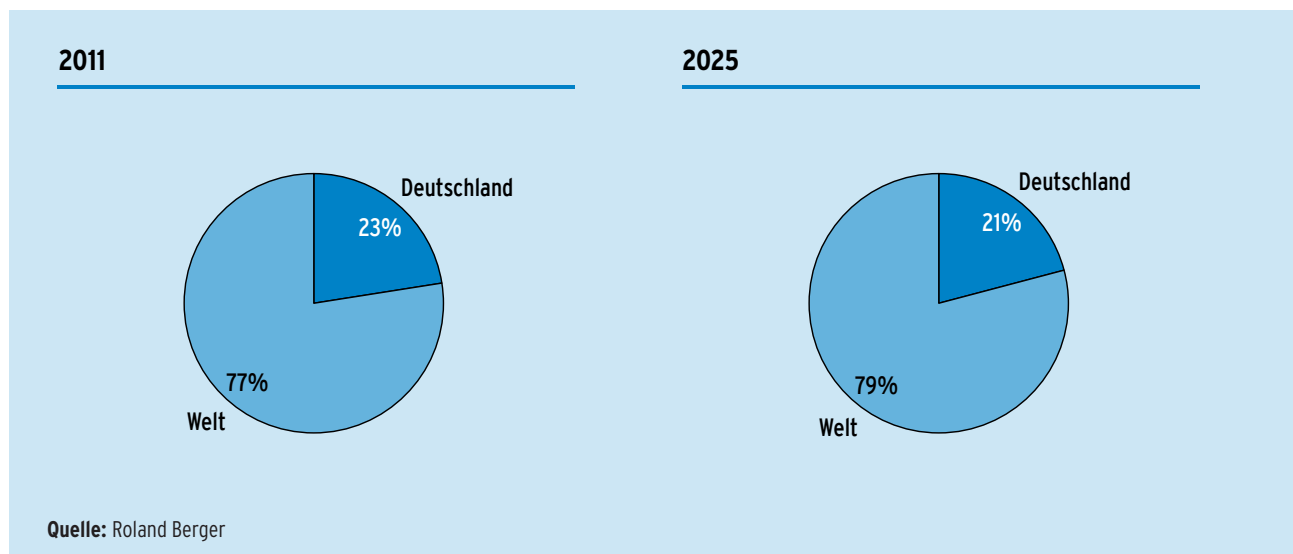
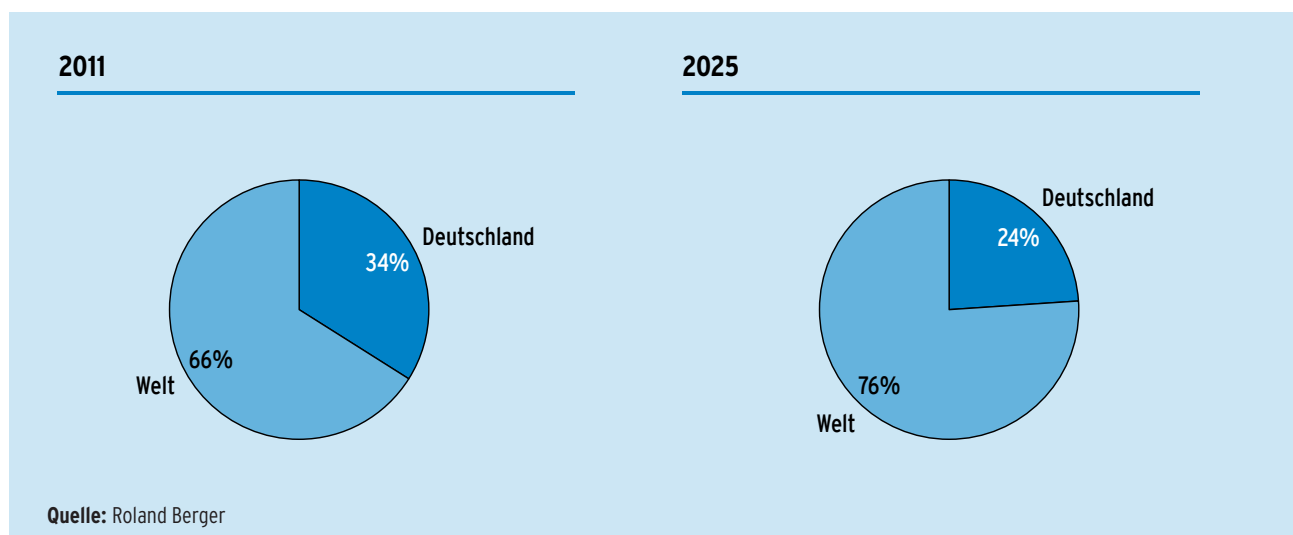


Abbildung 17: Deutsche Photovoltaik-Industrie – Anteil am globalen Markt 2011 und 2025



Im Fokus – Leitmärkte Energieeffizienz und Rohstoff- und Materialeffizienz

Betrachtet man den Zeitraum 2007 bis 2011, fällt auf, dass Deutschland seine Anteile am globalen Marktvolumen der Energieeffizienz sowie der Rohstoff- und Materialeffizienz erhöhen konnte (siehe

Abbildung 18 und 19). Das Volumen dieser Leitmärkte hat in den letzten fünf Jahren deutlich zugelegt, wobei diese Expansion im Wesentlichen auf die steigenden Energiepreise und die zunehmende Knappheit von

Abbildung 18: Weltmarktanteile deutscher Unternehmen am globalen Leitmarkt Energieeffizienz 2007 und 2011 sowie an ausgewählten Technologielinien dieses Leitmarktes

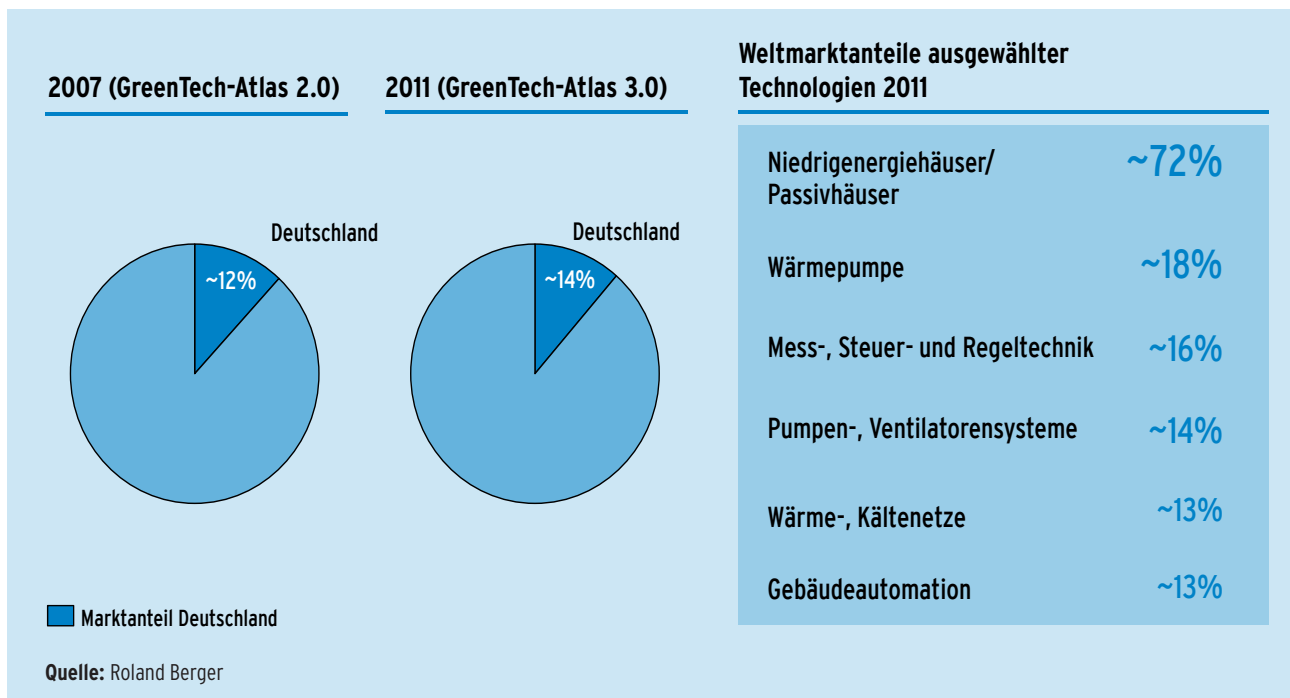
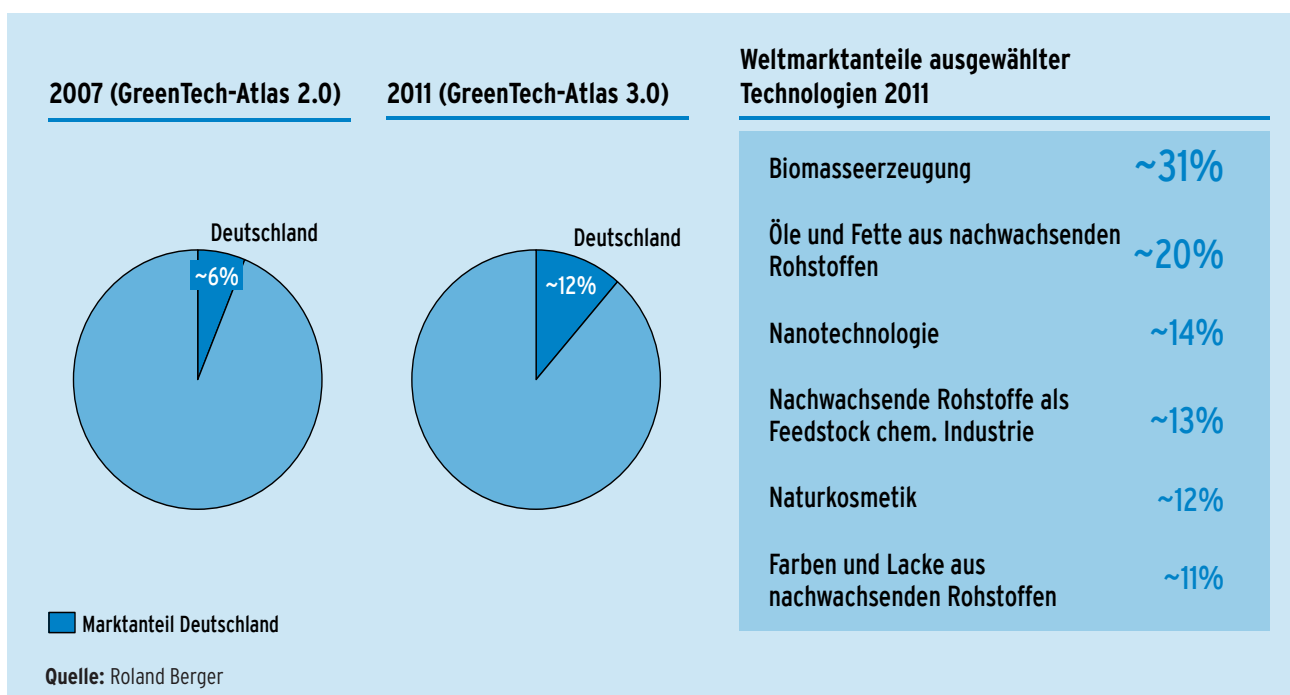


Abbildung 19: Weltmarktanteile deutscher Unternehmen am globalen Leitmarkt Rohstoff- und Materialeffizienz 2007 und 2011 sowie an ausgewählten Technologielinien dieses Leitmarktes



Ressourcen bei gleichzeitig wachsender Nachfrage zurückzuführen ist. **Bei Lösungen zur Steigerung der Ressourceneffizienz sind deutsche Anbieter führend.** Das Portfolio der Unternehmen aus Deutschland umfasst innovative Produkte, Verfahren und Dienstleistungen, um die international wachsende Nachfrage zu befriedigen.

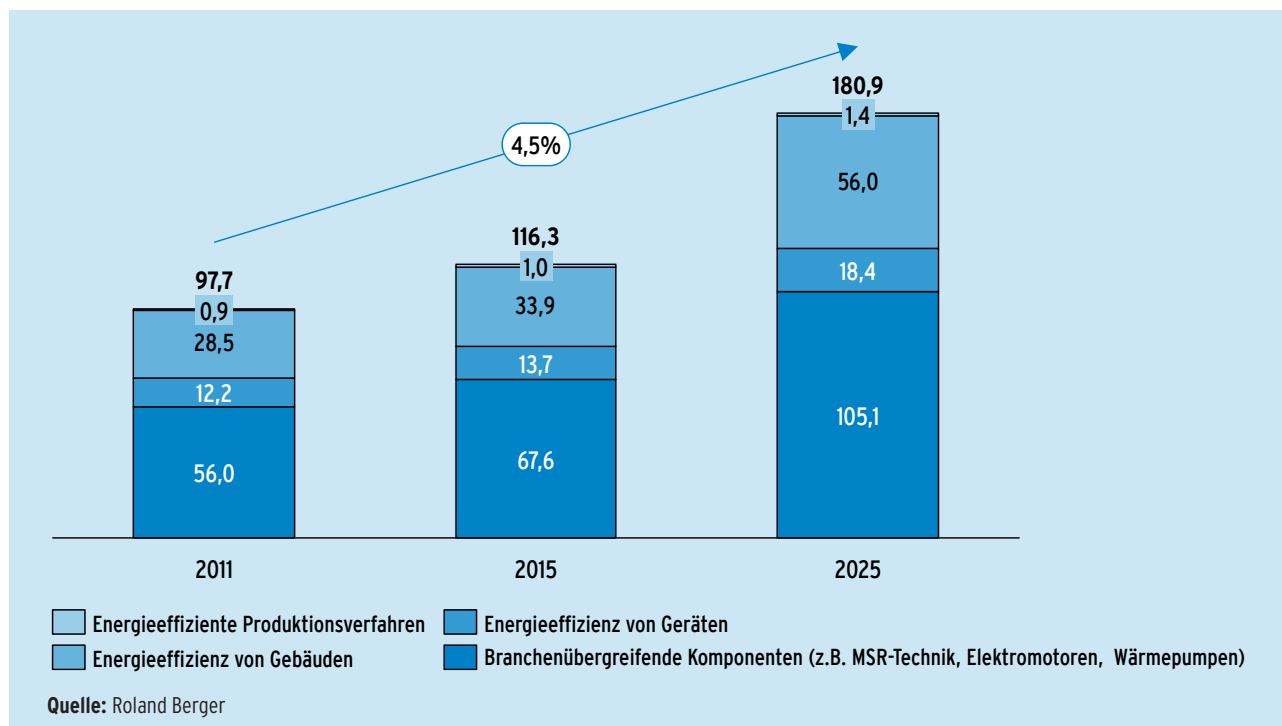
Im **Leitmarkt Energieeffizienz können Anbieter aus Deutschland ihre Stärken in den Bereichen Mess-, Steuer- und Regeltechnik (MSR) sowie bei anderen Querschnittstechnologien** (beispielsweise Elektromotoren, Wärmepumpen etc.) ausspielen. Auf diese sogenannten branchenübergreifenden Komponenten entfällt ein großer Anteil des Leitmarktes Energieeffizienz. Das Volumen dieses Marktsegments, in dem die Mess-, Steuer- und Regeltechnik eine Schlüsselrolle für die Verbesserung der Energieeffizienz spielt, wird sich von 56 Milliarden Euro im Jahr 2011 auf 105,1 Milliarden Euro bis 2025 ausweiten (siehe Abbildung 20). Ein weiterer wichtiger Bereich ist die Energieeffizienz von Gebäuden. Innerhalb dieses Marktsegments wird die Bedeutung intelligenter Gebäudeleittechnik zunehmen. Gut aufgestellt sind deutsche Anbieter auch, um auf die steigende Nachfrage nach ressourceneffizienten und klimaschonenden Heizungssystemen zu reagieren, die auf dem nationalen Markt Impulse durch das Erneuerbare-

Energien-Wärmegesetz erhält. Voraussichtlich wird insbesondere der Absatz von Wärmepumpen zunehmen.

Geht man in die Details des Leitmarktes Rohstoff- und Materialeffizienz, fällt vor allem die zunehmende Bedeutung der Bio- und Nanotechnologie auf (siehe Abbildung 21). In der industriellen Biotechnologie ist Deutschland gut positioniert. Dieser auch als „weiße Biotechnologie“ bezeichneter Bereich gewinnt angesichts der steigenden Preise und der zunehmenden Knappheit endlicher fossiler Rohstoffe immer mehr an Relevanz. Deutsche Unternehmen sind hervorragend aufgestellt bei der Entwicklung von Enzymen, neuen Biomaterialien oder biotechnologischen Produktionsprozessen.

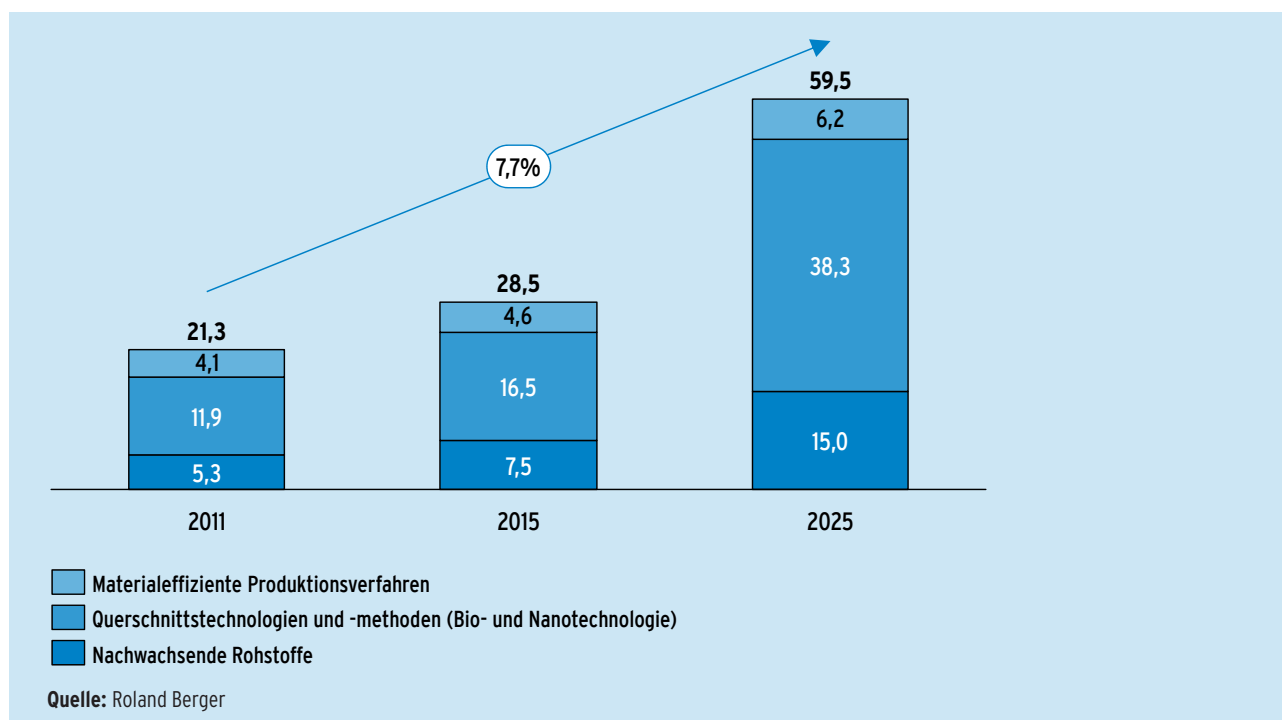
Die **Nanotechnologie zählt in Deutschland zu den Schlüsseltechnologien mit großen Innovationspotenzialen in unterschiedlichen Anwendungsbereichen.**⁷ In der Umwelttechnologie wird Nanotechnologie insbesondere zur Entfernung von Schadstoffen eingesetzt, beispielsweise für Filtrationsverfahren oder zur katalytischen Reinigung. In der Brennstoffzellentechnologie kommt Nanotechnologie bei optimierten Elektronen und Katalysatoren zum Einsatz, ebenso bei der Weiterentwicklung elektrischer Energiespeicher, etwa Lithium-Ionen-Batterien.

Abbildung 20: Marktvolumina innerhalb des Leitmarktes Energieeffizienz in Deutschland 2011, 2015, 2025 (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)



⁷ Vgl. dazu ausführlich die Darstellung im Leitmarkt Rohstoff- und Materialeffizienz.

Abbildung 21: Marktvolumina innerhalb des Leitmarktes Rohstoff- und Materialeffizienz in Deutschland 2011, 2015, 2025 (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)



Im Blickpunkt - Die führenden Technologielinien

Der Markt für Umweltechnik und Ressourceneffizienz in Deutschland lässt sich nicht nur auf der Ebene der Leitmärkte analysieren. Stellt man den Zoom etwas schärfer und verändert die Perspektive, ist eine Betrachtung auf Basis der Technologielinien sehr aufschlussreich. Abbildung 22 zeigt die nach dem Kriterium des Marktvolumens **größten zehn Technologielinien**. Sie stellen mit einem Gesamtvolumen von **139,6 Milliarden Euro rund 46 Prozent** des deutschen GreenTech-Marktes. Die mit Abstand führende Technologielinie ist mit einem Marktvolumen von fast 30,5 Millionen Euro die **Mess-, Steuer- und Regeltechnik (MSR)**. Die deutsche MSR zeichnet sich durch exzellent ausgebildete Fachkräfte, globalen Vertrieb, hervorragende Produktqualität sowie Innovationsstärke aus. Hinzu kommt, dass die Anbieter frühzeitig die Megatrends Klimaschutz und Ressourcenknappheit erkannt und ihre Strategie entsprechend ausgerichtet haben.

Das gute Abschneiden der **Photovoltaik und Windkraft** bei der Platzierung der Technologielinien nach Marktgrößen unterstreicht die derzeitige Spitzenposition, die deutsche Unternehmen in diesen Segmenten besetzen.

Wirft man beim Ranking der in Deutschland nach Marktgröße führenden Technologielinien einen

Blick in die Zukunft, rangiert die Mess-, Steuer- und Regeltechnik im Jahr 2025 nach wie vor auf Platz eins. Im Vergleich zu 2011 wird es vier Neuzugänge unter den Top-10-Technologielinien geben: Hochleistungskraftwerke, Wasserverteilung, Niedrigenergie-/Passivhäuser sowie Solarthermische Kraftwerke. Durch die Steigerung der Dampfparameter – in Hochleistungskraftwerken bis zu 700 Grad Celsius – kann die Effizienz bestehender Anlagen erheblich gesteigert werden. In der Technologielinie Wasserverteilung sind deutsche Anbieter gut aufgestellt, um an der weltweit steigenden Nachfrage nach Ventilen, Armaturen, Pumpen und anderen zur Wassergewinnung, -aufbereitung und -verteilung unentbehrlichen Produkten zu partizipieren.

Das **Know-how bei der Errichtung energieeffizienter Gebäude beziehungsweise bei der energetischen Sanierung von Bestandsbauten** wird in den nächsten Jahren voraussichtlich stark zunehmen. Nach der Zielsetzung der Bundesregierung im Rahmen der Energiewende soll der Immobiliensektor bis 2050 durch eine Verdoppelung der Sanierungsrate von ein auf zwei Prozent jährlich „nahezu klimaneutral“ werden. Nach Angaben des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung müssen rund 30 von insgesamt 40 Millionen Gebäuden in Deutschland energetisch saniert werden.

Abbildung 22: Top-10-Technologielinien in Deutschland nach Marktgröße 2011 (in Milliarden Euro)

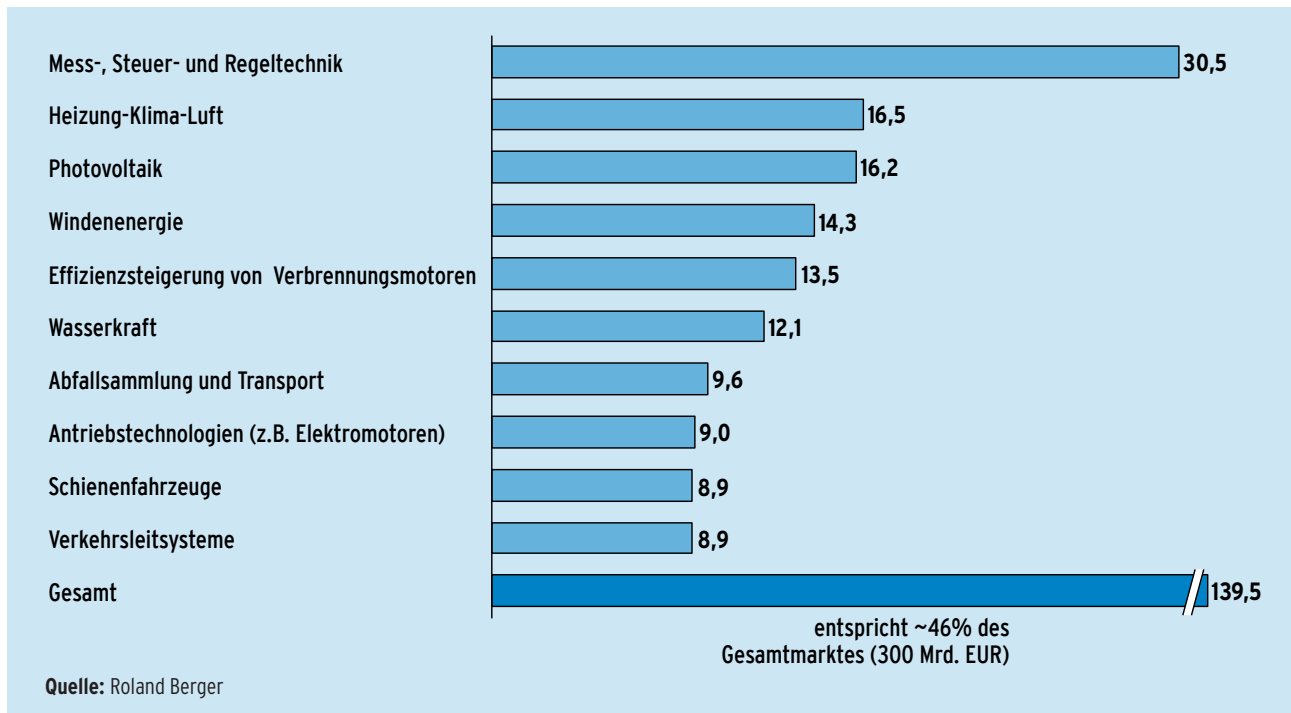
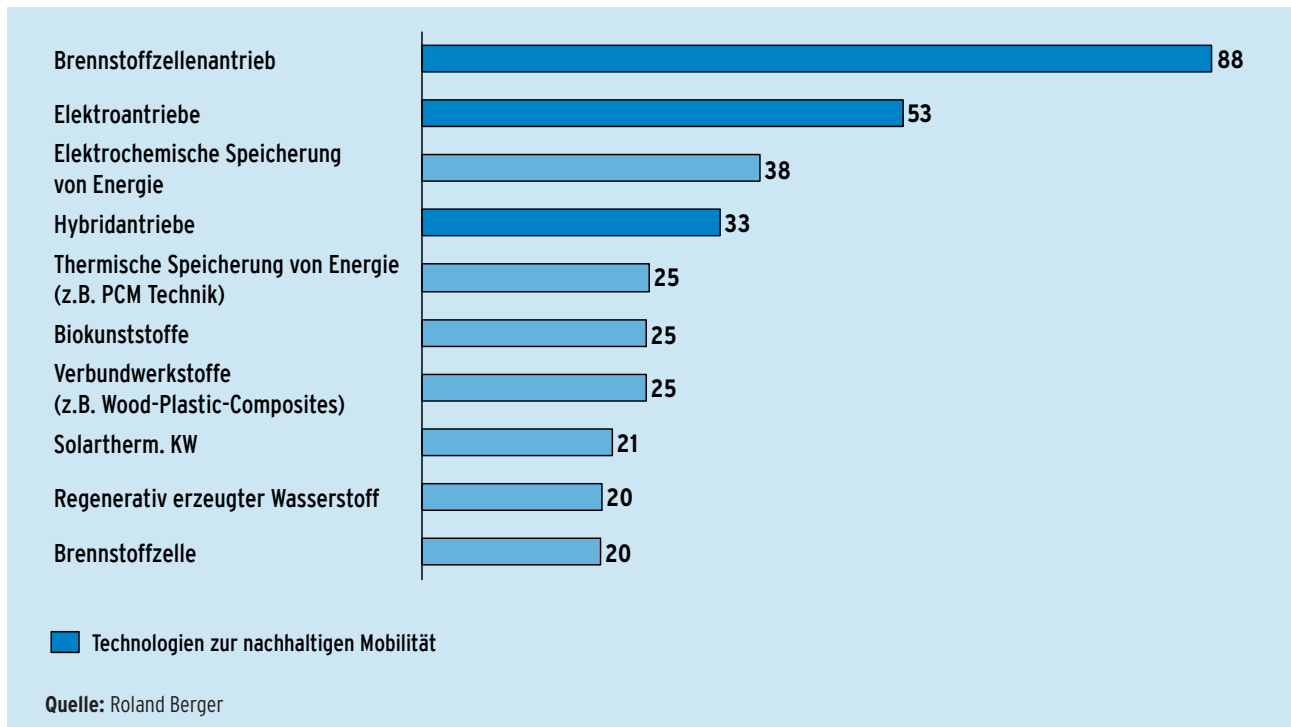


Abbildung 23: Top-10-Technologielinien in Deutschland nach Wachstum 2011 bis 2025 (durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)



Erstellt man das Ranking der führenden Technologielinien nicht nach dem Kriterium Marktgröße, sondern anhand der Kategorie „jahresdurchschnittliches Wachstum 2011 bis 2025“, ergibt sich die Reihenfolge in Abbildung 23. Dabei wird deutlich, dass insbesondere der Leitmarkt Nachhaltige Mobilität bei den Wachstums-Champions unter den Technologielinien vertreten ist. Durch den allmählichen Rückzug der mit fossilen Kraftstoffen betriebenen Fahrzeuge haben alternative Technologien vielversprechende Perspektiven. Mit großem Abstand hat sich hier die Technologielinie Brennstoffzellenantrieb auf Platz eins unter den expansiven Technologien gesetzt. Allerdings lässt

sich die ausgesprochen hohe jahresdurchschnittliche Wachstumsrate von 88 Prozent auf die extrem niedrige Ausgangsbasis zurückführen. Derzeit ist die Marktgröße dieser Technologielinie noch marginal.

Auch die Ränge zwei und vier werden von Technologielinien aus dem Leitmarkt Nachhaltige Mobilität eingenommen. Dies ist ein Indiz dafür, dass die Abkehr von den fossilen Treibstoffen Benzin und Diesel für ein rasantes Wachstum alternativer Kraftstoffe und Antriebe sorgt. Der Hybridantrieb spielt dabei eine wichtige Rolle als Brückentechnologie bis zur Marktdurchdringung der Elektromobilität.

Starke Schlüsselindustrien als Fundament des Wachstums der Umwelttechnik „made in Germany“

Die Umwelttechnik und Ressourceneffizienz ist eine typische Querschnittsbranche, die zahlreiche Überschneidungen zu den Schlüsselindustrien wie dem Maschinen- und Anlagenbau, der Elektrotechnik oder dem Fahrzeugbau aufweist. Nicht wenige GreenTech-Akteure haben sich aus diesen Industrien heraus den Umwelttechnik-Markt erschlossen. Es gibt zahlreiche Unternehmen, die in die Umwelttechnik hinein diversifiziert haben und dabei nach wie vor ein oder mehrere Standbein/e in ihren Herkunftsbranchen besitzen. Gerade diese **Verankerung in den klassischen Industrien hat sich für die Entwicklung der Umwelttechnik in Deutschland als ein wesentlicher Erfolgsfaktor** erwiesen: Die noch relativ junge GreenTech-Branche konnte auf einem tragfähigen und breiten Fundament wachsen und dabei von den traditionellen Stärken der deutschen Industrie profitieren. Zu ihnen zählen Innovationskraft, die Fähigkeit, industrielle Produkte und Dienstleistungen zu komplexen Lösungen „aus einer Hand“ zusammenzuführen, sowie die ausgeprägte Exportorientierung. Umgekehrt setzt die Umwelttechnik wichtige Impulse für Innovationen in den klassischen Industrien; vor allem auf den Handlungsfeldern der Energie- sowie der Rohstoff- und Materialeffizienz hat sich die GreenTech-Entwicklung als Modernisierungstreiber erwiesen.

Im Rahmen der vorliegenden Analyse ist von Interesse, in welchem Umfang **Unternehmen aus anderen Branchen auf dem Markt für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz aktiv** sind. Für diese Betrachtung wurden vier Wirtschaftszweige herangezogen: Elektroindustrie, Maschinenbau, Chemieindustrie und Automobilindustrie. Mit 17 Prozent hat die Elektroindustrie den größten Anteil am globalen GreenTech-Markt, gefolgt vom Maschinenbau mit 15 Prozent (siehe Abbildung 24). Auf der Ebene der

einzelnen Leitmärkte sind die Gewichte der einzelnen Branchen unterschiedlich stark ausgeprägt: Beispielsweise hat die Elektroindustrie einen hohen Anteil am Leitmarkt Energieeffizienz, der Maschinenbau zeigt eine starke Präsenz im Leitmarkt Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung.

Dreht man die Perspektive um und betrachtet den **Anteil der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz am Marktvolumen der einzelnen Branchen**, zeigt sich, dass GreenTech im Maschinenbau eine besonders ausgeprägte Rolle spielt: Die Umwelttechnik und Ressourceneffizienz verzeichnet mit 20 Prozent am Maschinenbau den größten relativen Anteil, etwa beim Bau von Windenergieanlagen (siehe Abbildung 25). In der Elektroindustrie können zwölf Prozent der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz zugeschrieben werden (beispielsweise MSR-Technik). Daran wird deutlich, dass die Umwelttechnik und Ressourceneffizienz bereits heute eine immens wichtige Rolle innerhalb der Schlüsselindustrien spielt. Ihre Relevanz wird künftig noch zunehmen, denn immer mehr Unternehmen der „klassischen“ Branchen sehen in der Umwelttechnik ein Mittel, um sich im (internationalen) Wettbewerb zu differenzieren.

Abbildung 24: Anteil klassischer Industrien am Gesamtmarkt Umwelttechnik und Ressourceneffizienz (Ausschnitt)

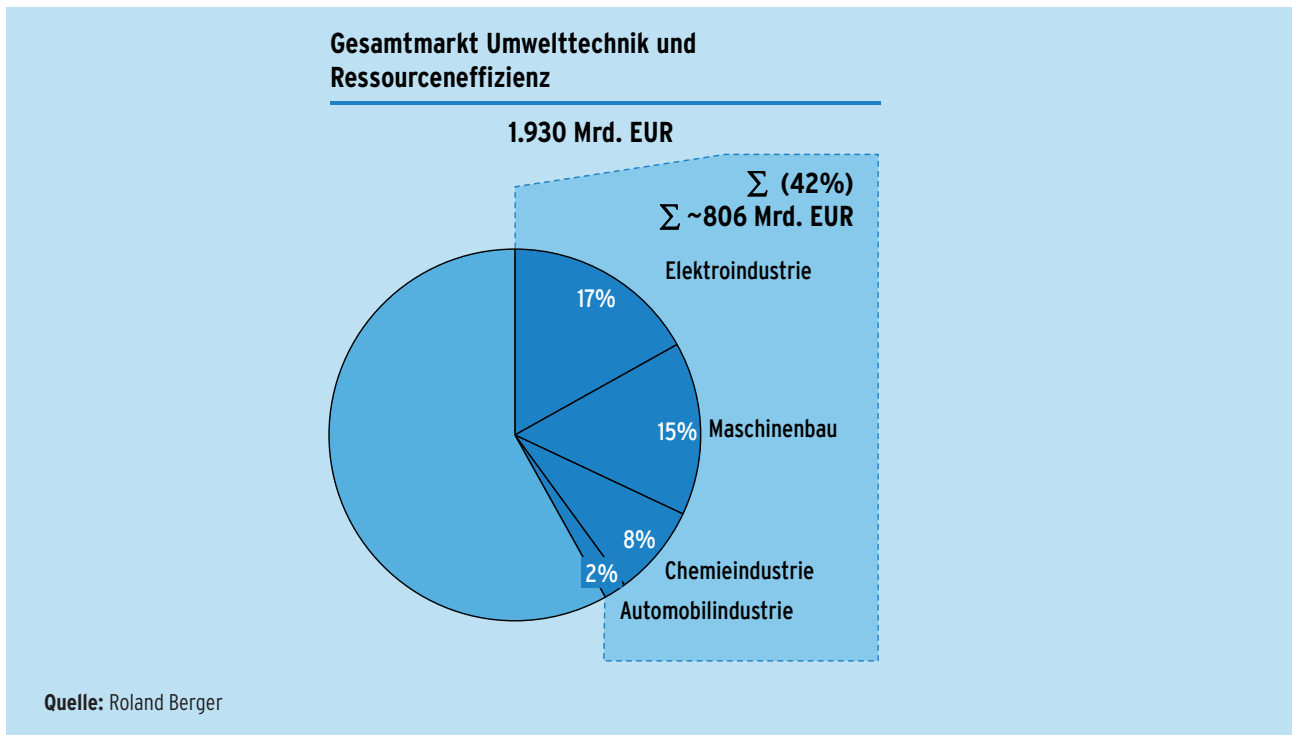
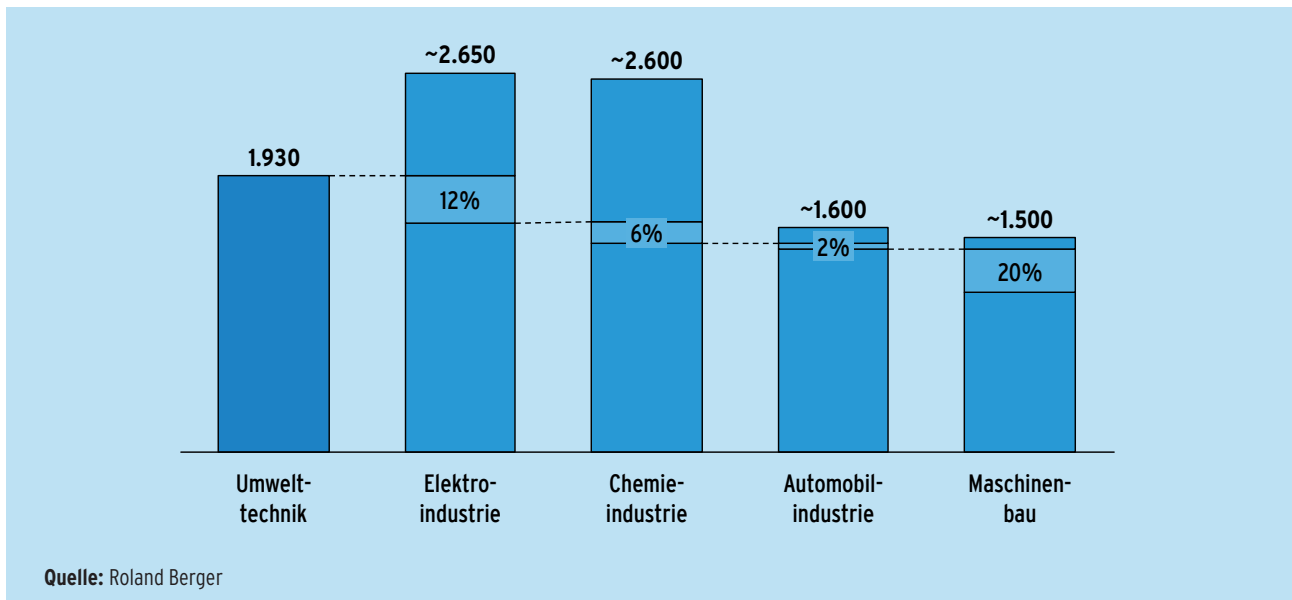


Abbildung 25: GreenTech-Anteil am globalen Marktvolumen (in Milliarden Euro) ausgewählter Industrien



Innovationen im Service-Bereich - Die wachsende Bedeutung der Umwelttechnik-Dienstleistungen

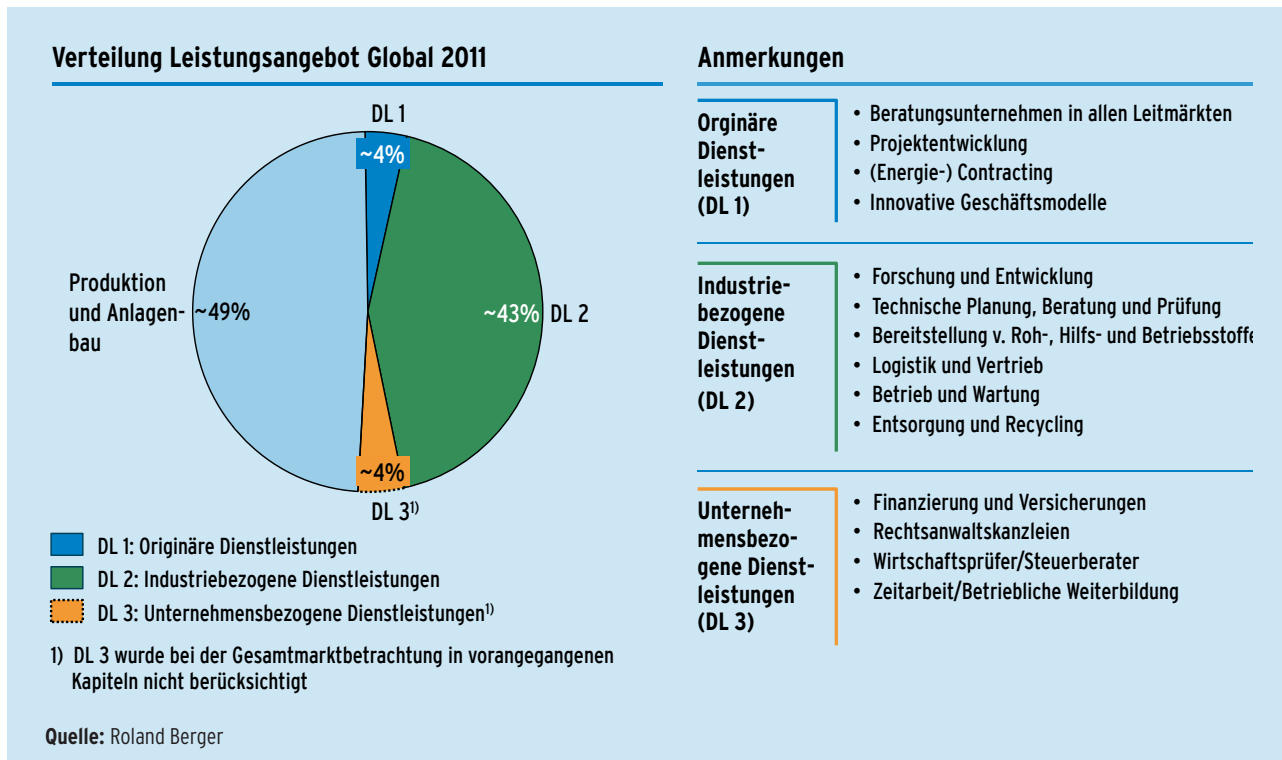
Allzu wörtlich genommen, kann die Bezeichnung „Umwelttechnik“ in die falsche Denkrichtung führen: Mit „Technik“ werden schließlich nicht auf Anbieh Dienstleistungen assoziiert. **Dienstleistungen spielen aber in der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz eine wichtige Rolle und machen mehr als die Hälfte dieses Marktes aus** (siehe Abbildung 26). Dabei stellen die industriebezogenen Dienstleistungen⁸ mit 43 Prozent den größten Anteil.

Die „grünen“ Dienstleistungen haben eine wichtige Funktion für die Weiterentwicklung des Marktes für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz:⁹ Häufig fungieren die originären Dienstleistungen als Markttreiber, weil sie Technologien „nachziehen“. Dieser Mechanismus wird verstärkt, indem sie innovative Geschäftsmodelle generieren, wie Handel mit Ökostrom, Elektrotankstellen und Ökotourismus. Auch die industriebezogenen Dienstleistungen spielen oft die Rolle der Innovationstreiber. Forschungsinstitute, Entwicklungsdienstleister unterstützen aktiv den Innovationsprozess in der Branche.

Der globale Markt für Umwelttechnik-Dienstleistungen wird weiter expandieren. Für den Zeitraum 2011 bis 2025 wird ein jahresdurchschnittliches Wachstum von fast sechs Prozent prognostiziert (siehe Abbildung 27).

In Deutschland ist zu beobachten, dass der Anteil der Dienstleistungen am Gesamtmarkt für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz seit 2008 zugenommen hat (siehe Abbildung 28). Zwischen 2008 und 2010 ist das Marktvolumen der Umwelttechnik-Dienstleistungen von 123 Milliarden Euro auf 155 Milliarden Euro gestiegen. Dieses schnelle Wachstum lässt sich auf mehrere Ursachen zurückführen: Zum einen hat Deutschland eine hohe Forschungs- und Entwicklungsquote und ist führend bei der Grundlagenforschung und bei der angewandten Forschung. Zum anderen partizipieren deutsche Dienstleister am internationalen Wachstum der Umwelttechnikmärkte, beispielsweise durch Aufträge im Ausland, bei denen sie die Projektentwicklung übernehmen. Außerdem spielen in Deutschland ansässige Unter-

Abbildung 26: Anteil der Dienstleistungen am Markt für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz



8 Vgl. zur Systematisierung der Dienstleistungen ausführlich im Kapitel *Umwelttechnik-Dienstleistungen - Neue Herausforderungen, neue Geschäftsmodelle*, S. 170ff.

9 Vgl. dazu die detaillierte Darstellung in der vom Bundesumweltministerium veröffentlichten Studie *Umwelttechnik-Dienstleistungen. Treiber für ökologische Modernisierung und Beschäftigung* (Bundesumweltministerium, 2009d).

nehmen häufig eine Vorreiterrolle bei der Innovation neuer, „grüner“ Geschäftsmodelle.

Betrachtet man den Anteil der Dienstleistungen an den einzelnen Leitmärkten der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz, fällt die **Kreislaufwirtschaft** durch eine **besonders ausgeprägte Service-Intensität** auf (siehe Abbildung 29). In diesem Leitmarkt

weisen insbesondere die Abfallsammlung und der Abfalltransport hohe Dienstleistungsgrade auf. Der Bereich erneuerbare Energien im Leitmarkt Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung ist ebenso dienstleistungsintensiv: An die Planung und den Betrieb der Anlagen zur regenerativen Energieerzeugung sind zahlreiche Dienstleistungen geknüpft.

Abbildung 27: Wachstum des globalen Marktes für Umwelttechnik-Dienstleistungen 2011 bis 2025 (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)

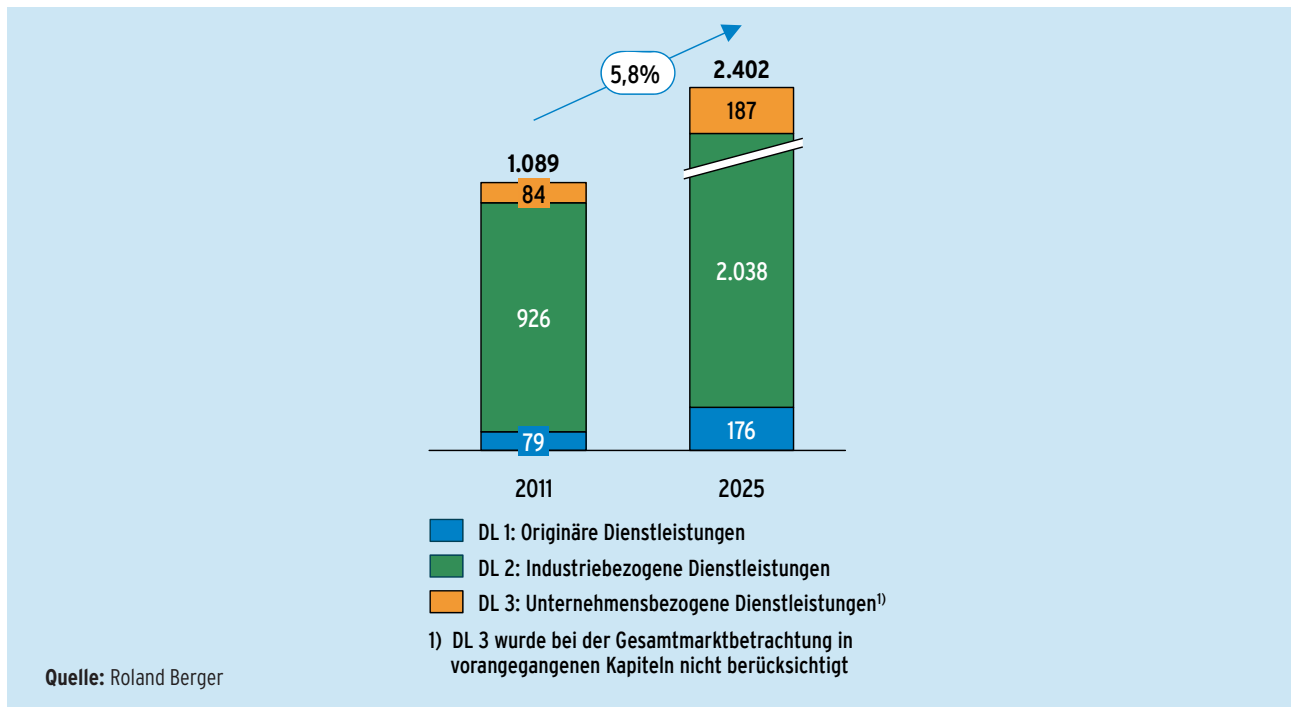


Abbildung 28: Anteil der Dienstleistungen am Markt für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz in Deutschland - Entwicklung seit 2008

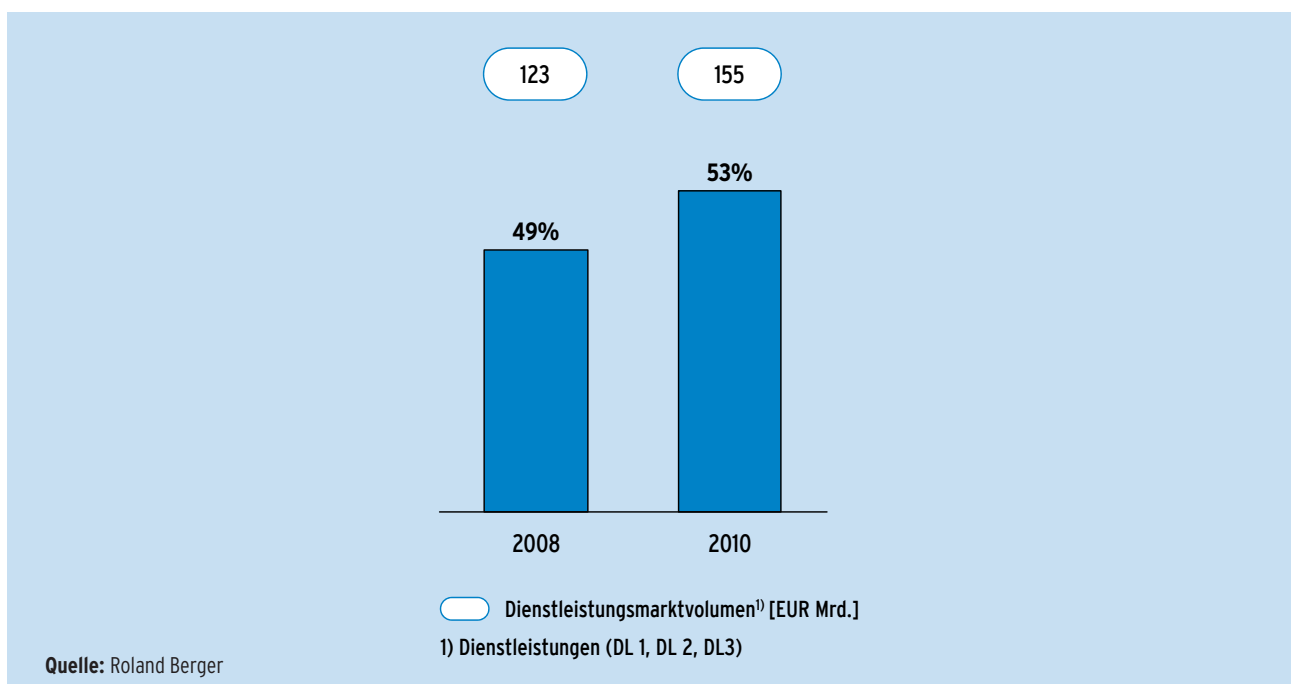
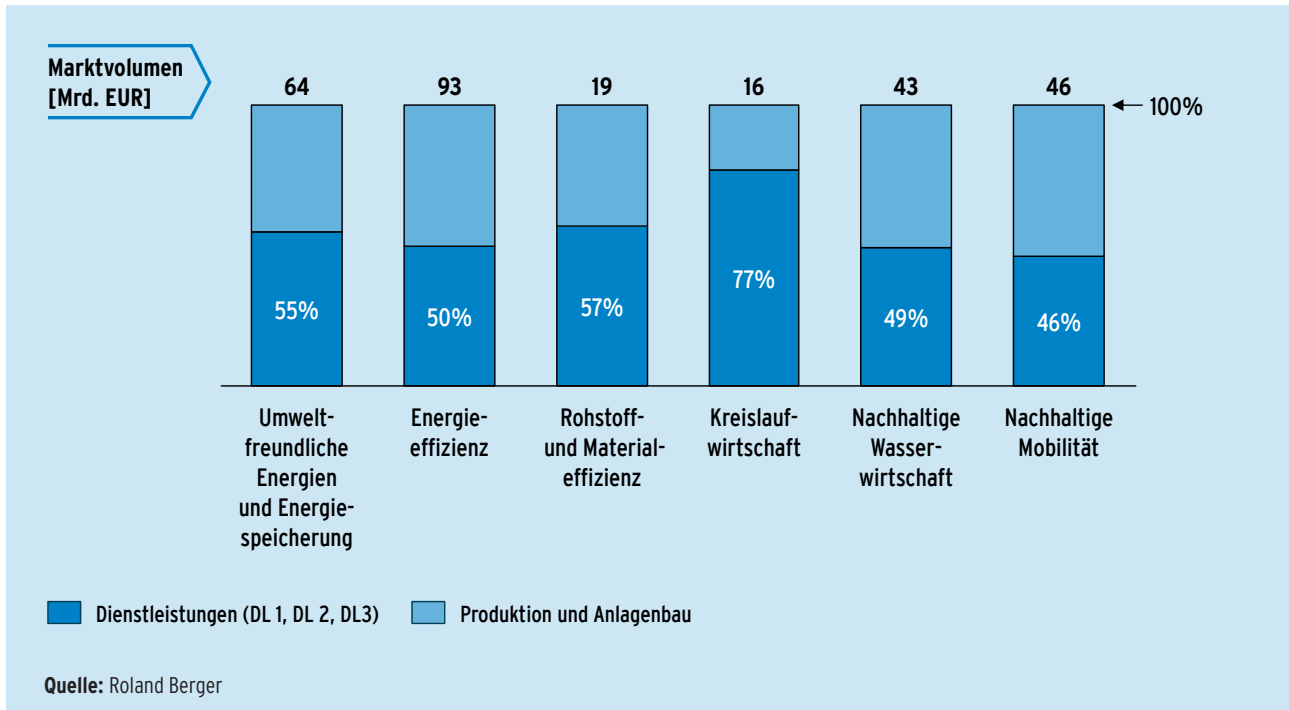


Abbildung 29: Dienstleistungsintensität auf Leitmarktebene in Deutschland 2010





Die sechs Leitmärkte der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz

Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung

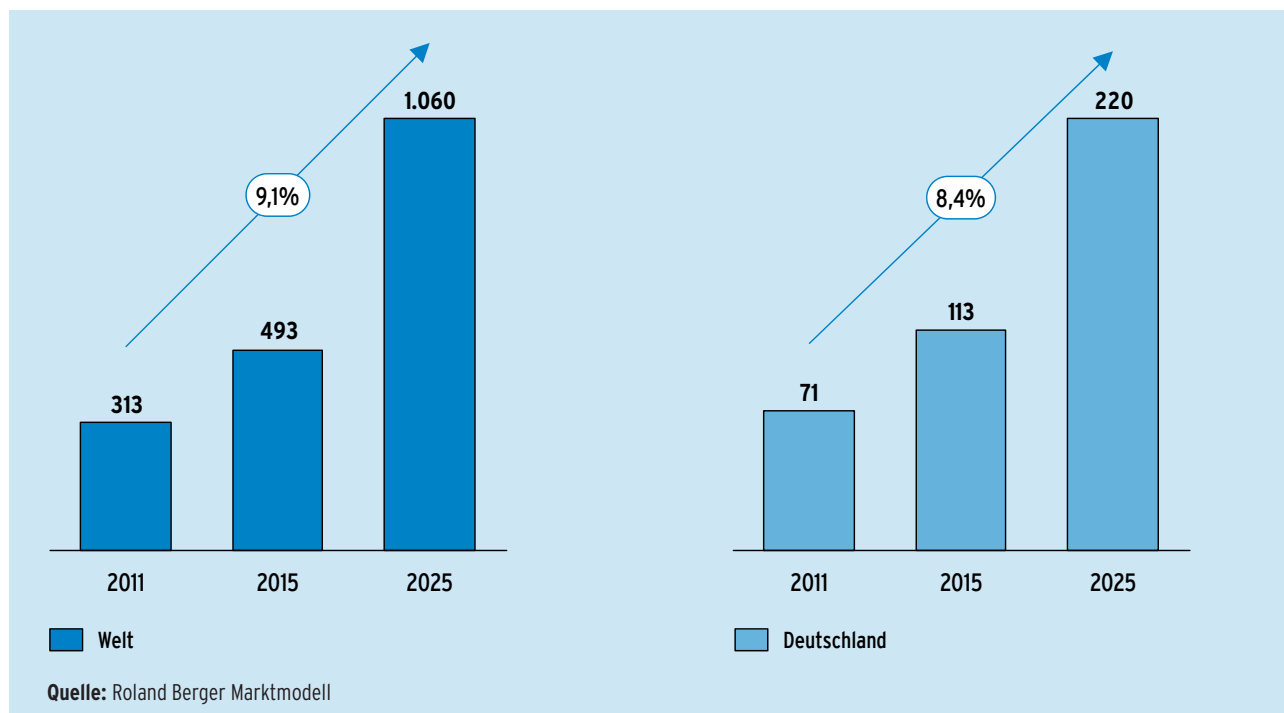
Der Energiesektor gehört zu den Hauptverursachern der klimaschädlichen Treibhausgase: Bei der Strom- und Wärmeversorgung entstehen rund 40 Prozent der globalen CO₂-Emissionen.¹ Mit einem Anteil von 46 Prozent am Treibhausgasausstoß ist die Energiewirtschaft auch in Deutschland der größte CO₂-Emittent; erst mit weitem Abstand folgen die Sektoren Verkehr (16 Prozent),² Industrie (13 Prozent) und Haushalte (11 Prozent).³

Angesichts des großen Anteils der Energiewirtschaft am CO₂-Ausstoß gehört es zu den größten Herausforderungen im Kampf gegen die globale Erwärmung, eine Reduktion der Treibhausgasemissionen bei gleichzeitig weltweit wachsendem Energiebedarf zu erreichen. Diese Aufgabe lässt sich nur bewältigen, wenn der Anteil von CO₂-freien beziehungsweise CO₂-armen Quellen an der Energieerzeugung massiv ausgebaut wird. Gleichzeitig muss die Nutzung fossiler Brennstoffe klimaverträglich gestaltet werden, denn Kohle, Erdgas und Erdöl spielen in den nächsten Jahrzehnten weiterhin eine große, wenn auch abnehmende Rolle im globalen Energiemix. In Deutschland wird die Bedeutung fossiler Brennstoffe noch schneller zurückgehen als weltweit. Deshalb

sind kurz- und mittelfristig Technologien erforderlich, die den Ressourcenverbrauch und den Schadstoffausstoß bei der Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern minimieren. Eine weitere Voraussetzung für die Dekarbonisierung des Energiesektors ist die Energiespeicherung: Wenn der Anteil regenerativer Energien wie Photovoltaik und Windkraft ausgebaut wird, muss die Speicherkapazität deutlich wachsen. Denn die fluktuierende Einspeisung dieser erneuerbaren Energieträger macht es schwieriger, das für die Netzstabilität erforderliche Gleichgewicht zwischen Stromerzeugung und Stromnachfrage auszubalancieren. Um einen Ausgleich herzustellen, spielen Speichertechnologien in den nächsten Jahrzehnten eine zunehmend wichtigere Rolle.

Diese drei für eine klimaverträgliche Energieversorgung entscheidenden Handlungsfelder – Ausbau der erneuerbaren Energien, umweltschonende Nutzung fossiler Energien, Energiespeicherung – bilden die Marktsegmente des Leitmarktes Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung, der sowohl in Deutschland als auch weltweit stark wachsen wird.

Abbildung 30: Marktprognose Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung 2011, 2015 und 2025 (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)



1 Vgl. International Energy Agency (2010b), S. 65.

2 Maßnahmen zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor werden detailliert im Leitmarkt Nachhaltige Mobilität erörtert.

3 Vgl. Umweltbundesamt (2012).

Marktsegment Erneuerbare Energien

Die Nutzung regenerativer Energiequellen wie Wasserkraft, Windenergie, Sonnenenergie, Erdwärme und Biomasse hat entscheidende Vorteile gegenüber den fossilen Energieträgern Kohle, Erdöl und Erdgas: **Die Erneuerbaren sind klimafreundlich.** Diese Eigenschaften machen sie für eine zukunftsgerichtete Energiepolitik unverzichtbar, denn sie gehen die Herausforderungen **Versorgungssicherheit** und

Klimaschutz gleichzeitig an: Die Unabhängigkeit von importierten fossilen Energieträgern wie Erdöl und Erdgas wird gestärkt; bei der Stromerzeugung aus regenerativen Quellen werden keine Treibhausgase emittiert. 2011 wurde allein in Deutschland durch die Nutzung regenerativer Energiequellen der Ausstoß von 129 Millionen Tonnen CO₂-eq vermieden.⁴

Abbildung 31: Marktprognose Erneuerbare Energien 2011, 2015 und 2025 in Deutschland (in Millionen Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)

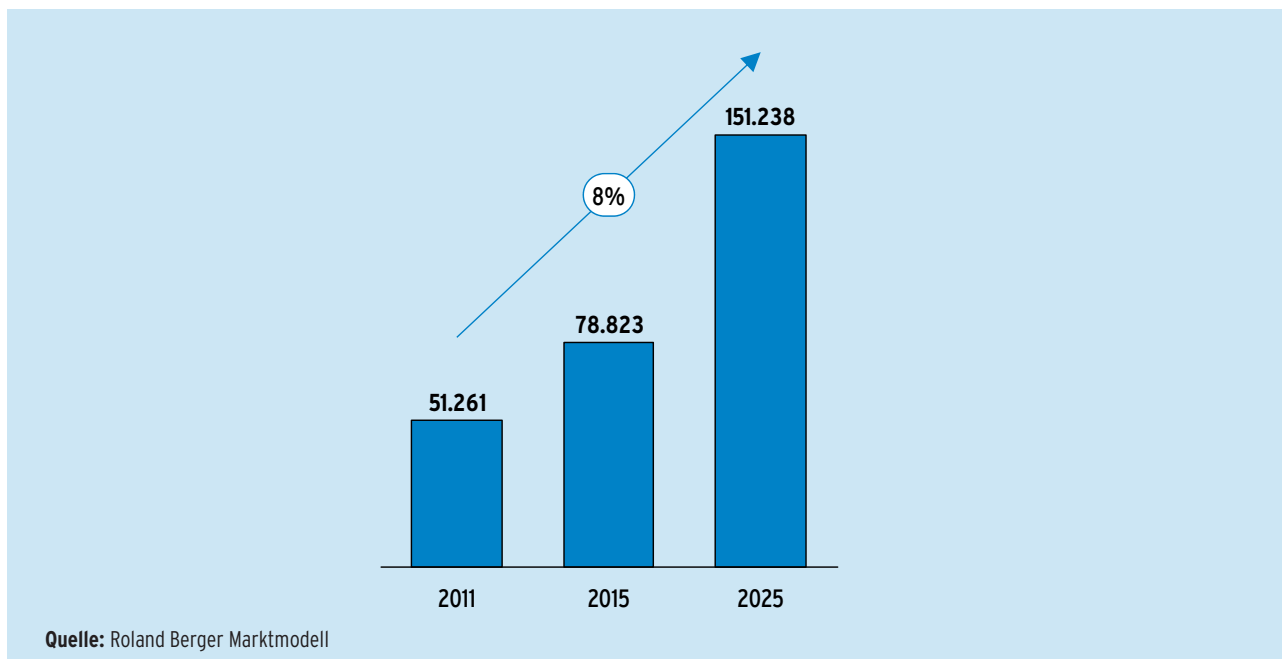
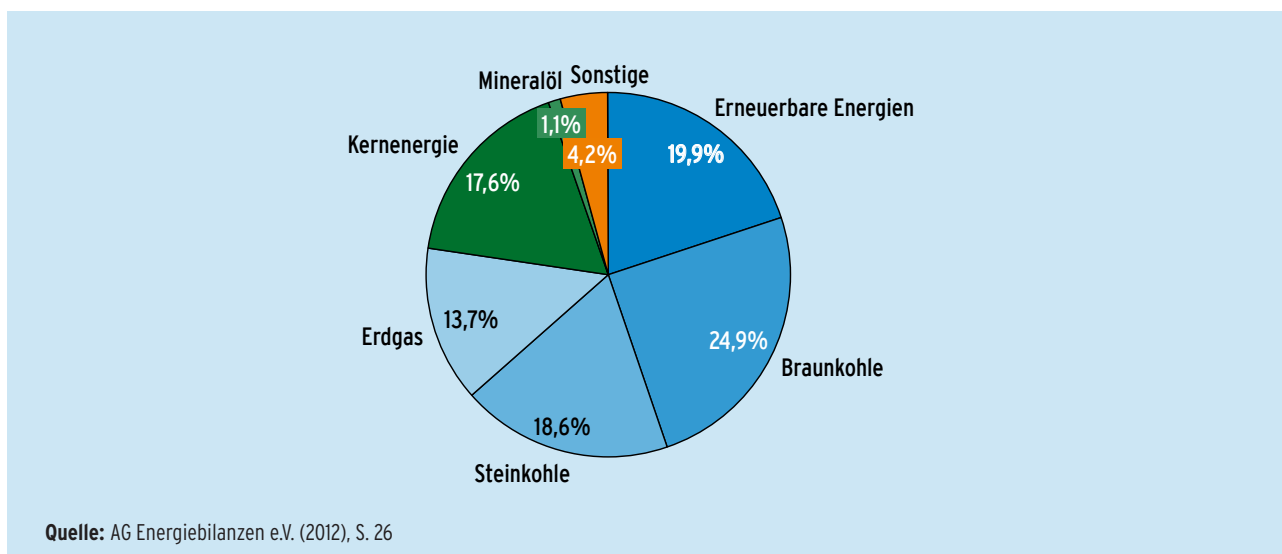
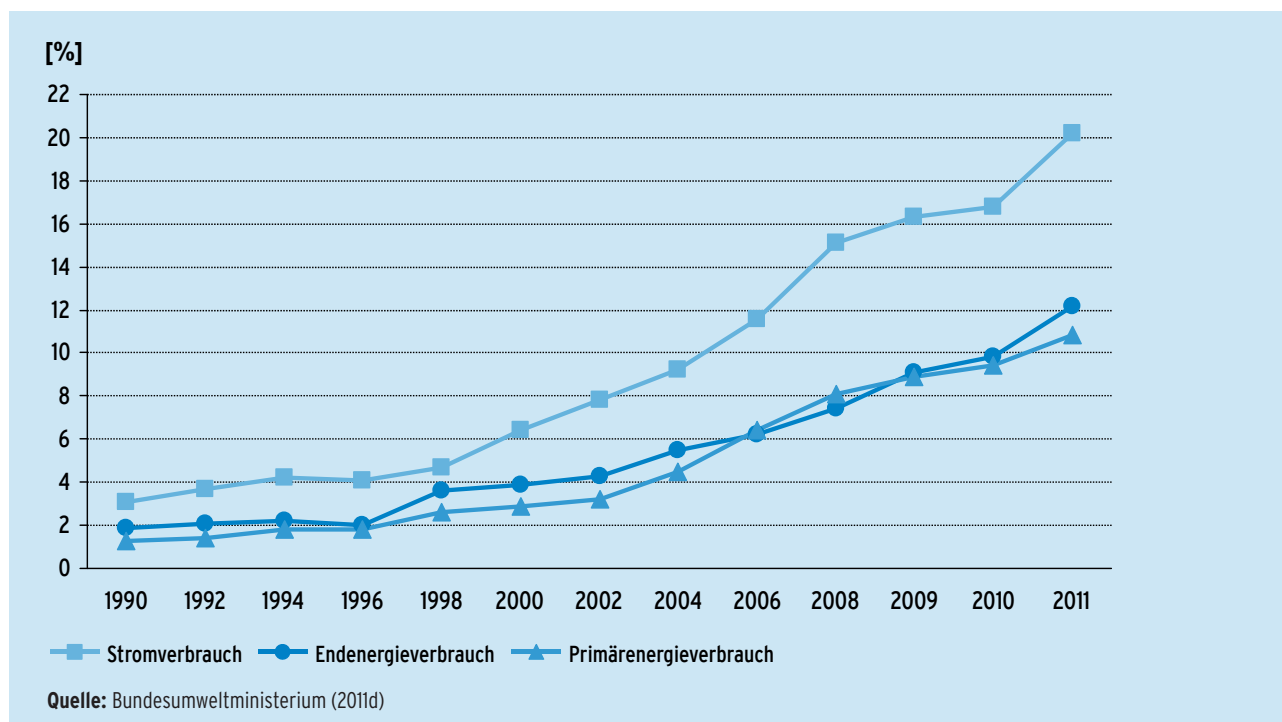


Abbildung 32: Bruttostromerzeugung in Deutschland nach Energieträgern 2011



4 Vgl. Energiewende Aktuell – Ausgabe 2/2012.

Abbildung 33: Anteile der erneuerbaren Energien an der Energiebereitstellung in Deutschland



Im Sommer 2011 haben Bundestag und Bundesrat mit der „beschleunigten Energiewende“ die Eckpunkte für einen grundlegenden Wandel der Energieversorgung in Deutschland beschlossen und den Ausstieg aus der Kernkraft besiegelt. Bis 2022 werden alle deutschen Atomkraftwerke nach und nach vom Netz gegangen sein. Den Anteil des Atomstroms am Energiemix (siehe Abbildung 32) sollen weitgehend regenerative Energieträger übernehmen. Außerdem soll die Steigerung der Energieeffizienz das Wegfallen der Kernenergie kompensieren. So steigt der **Druck, das Tempo beim Ausbau der erneuerbaren Energien zu erhöhen**. Die Meilensteine des Energiekonzepts 2050 sehen vor, dass bis 2020 der Anteil von regenerativ erzeugtem Strom bei mindestens 35 Prozent liegt und sich über die Zwischenetappen 50 Prozent bis 2030, 65 Prozent bis 2040 auf 80 Prozent bis 2050 steigert.⁵ Die kumulierten Ausbauziele der Bundesländer für 2020 sind noch deutlich ambitionierter als die oben genannten 35 Prozent.

Die Steigung der Linien in Abbildung 33 zeichnet eine beispiellose Erfolgsgeschichte nach. **Erneuerbare Energien** haben sich in **Deutschland** zu einer **Schlüsseltechnologie** entwickelt. Im Jahr 2011 deckten sie 12,2 Prozent des gesamten deutschen Endenergieverbrauchs an Strom, Wärme und Kraftstoffen.⁶ In zwei Jahrzehnten haben Wasser, Wind, Sonne, Biomasse

und Geothermie ihren Anteil an der Stromerzeugung von 3,1 Prozent auf 17 Prozent gesteigert.⁷ 2011 stellen die Erneuerbaren einen Anteil von 20,1 Prozent an der Stromversorgung in Deutschland. 2011 wurden in Deutschland 103,4 Terawattstunden Strom aus regenerativen Quellen erzeugt.⁸

Der Ausbau der regenerativen Energien ist in Deutschland erheblich schneller erfolgt als in anderen Ländern. Ein maßgeblicher Faktor für diesen Aufschwung der Erneuerbaren war und ist der Einsatz politischer Instrumente und Fördermaßnahmen. Am Anfang des Ausbaus steht die Verabschiedung des 1991 in Kraft getretenen Stromeinspeisegesetzes. Mit ihm wurde erstmals sichergestellt, dass die Stromversorger aus regenerativen Quellen erzeugten Strom vorrangig abnehmen und in einer vom Gesetzgeber definierten Höhe vergüten müssen. Dieses Prinzip wurde im Erneuerbare-Energien-Gesetz beibehalten, das im Jahr 2000 als Nachfolger des Einspeisegesetzes in Kraft getreten ist und seitdem bereits mehrfach novelliert wurde.

Die strategische Förderpolitik trieb den Ausbau der Erneuerbaren aber nicht nur bei der Stromerzeugung voran, sondern auch im Wärmesektor. Bereits im Jahr 2000 wurde von der Bundesregierung das Marktanzreizprogramm für die Nutzung von Wärme aus erneuer-

5 Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie/Bundesumweltministerium (2010), S. 5.

6 Vgl. Energiewende Aktuell – Ausgabe 2/2012.

7 Der Anteil bezieht sich auf den gesamten Bruttostromverbrauch.

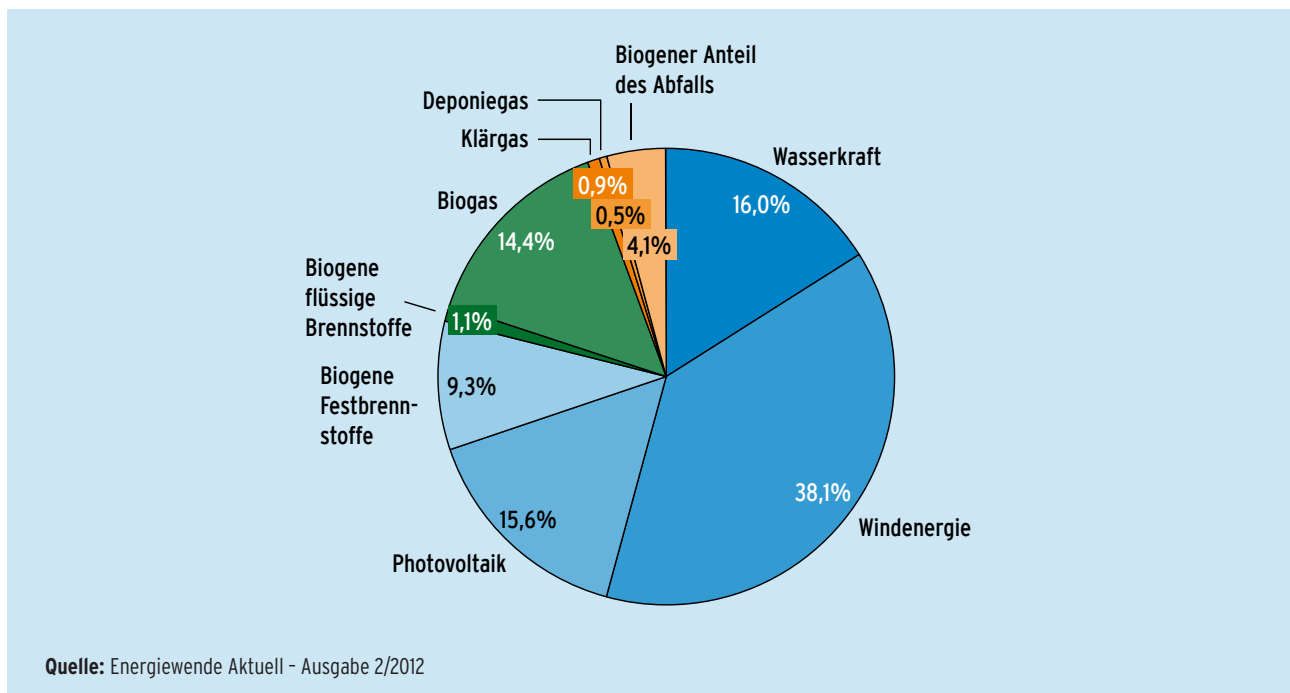
8 Vgl. Energiewende Aktuell – Ausgabe 2/2012.

erbaren Energien deutlich aufgestockt. Heute liegt der Anteil der erneuerbaren Energien an der Wärmebereitstellung in Deutschland bei 10,4 Prozent,⁹ bis 2020 wird eine Erhöhung auf 14 Prozent angestrebt.

Das zu Beginn des Jahres 2009 in Kraft getretene Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) sieht eine jährliche Förderung der Wärmeerzeugung aus regenerativen Energien von bis zu 500 Millionen Euro vor. Dieses Gesetz verpflichtet Bauherren neuer Wohn- und Gewerbeimmobilien, für die Wärmebereitstellung und Warmwasserbereitung regenerative Energien zu nutzen oder in eine Verbesserung der Energieeffizienz zu investieren. Der Senkung des Energieverbrauchs und des CO₂-Ausstoßes von Bestandsgebäuden wird durch die Bundesregierung weiterhin durch das Marktanzreizprogramm gefördert: Im Februar 2012 haben die KfW und das Bundesumweltministerium die gemeinsame Förderung von Investitionen zur Wärmeversorgung durch erneuerbare Energien vereinbart: Im Rahmen des KfW-Programms „Erneuerbare Energien – Premium“, das wiederum Teil des Marktanzreizprogramms ist, werden größere, meist gewerbliche Anlagen mit zinsgünstigen KfW-Darlehen und Tilgungszuschüssen unterstützt: große Solarkollektoren, Wärmespeicher, Wärmenetze, Biogasaufbereitungsanlagen, Biomasseanlagen und Tiefengeothermie.

Der Einsatz politischer Instrumente und Fördermaßnahmen hat dazu beigetragen, dass sich die erneuerbaren Energien in Deutschland zu einer **Hightech-Branche** entwickelt haben, die sich selbst in der Konjunktur-Talsole der Wirtschafts- und Finanzkrise 2008/2009 als Wachstumsmotor bewährt hat: 2010 wies die Statistik in Deutschland im Bereich erneuerbare Energien rund **368.000 Arbeitsplätze** aus, etwa acht Prozent mehr als im Vorjahr. Gegenüber 2004 (160.500 Arbeitsplätze) hat sich damit die Zahl der Beschäftigten mehr als verdoppelt.¹⁰ Die Bedeutung der erneuerbaren Energien als Wirtschaftsfaktor unterstreicht auch die Entwicklung der Investitionen: Im Jahr 2010 wurden über 26 Milliarden Euro in Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien investiert, im Vorjahr waren es 19,9 Milliarden Euro.¹¹ Es hat sich gezeigt, dass die Fördergelder für den Ausbau erneuerbarer Energien gut angelegt sind: Die Fördermaßnahmen induzieren Investitionen und sorgen für die Erhaltung bestehender bzw. Schaffung neuer Arbeitsplätze. Auf diese Weise entstehen Steuereinnahmen, deren Höhe die eingesetzten Fördergelder übertrifft. Beispielsweise erwartet das Bundesumweltministerium, dass die Auflagen und Fördermaßnahmen im Bereich erneuerbare Wärmepolitik bis 2020 Investitionen in Höhe von knapp 44 Milliarden Euro auslösen.¹²

Abbildung 34: Struktur der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland 2011: Anteile einzelner Energieträger



9 Vgl. Energiewende Aktuell – Ausgabe 2/2012.
 10 Vgl. Bundesumweltministerium (2011d), S. 10.
 11 Vgl. ebenda.
 12 Vgl. Umwelt spezial, S. 26.

Diese erfolgreiche Entwicklung macht die erneuerbaren Energien zu einem **Kernelement der Wachstumsbranche Umwelttechnik**: Windräder und Solarmodule verkörpern den Aufbruch in das postfossile Zeitalter und prägen maßgeblich das Leitbild der Niedrigemissionsgesellschaft (Low-Carbon-Economy).

Für erneuerbare Energien gilt die Devise „Gemeinsam sind sie stark“. Im Mix aus Windenergie, Bioenergie, Solarenergie, Wasserkraft und Geothermie ergänzen sich die unterschiedlichen Eigenschaften dieser regenerativen Energien ideal: Während die Stromerzeugung aus Wind- und Sonnenenergie je nach Wetterlage oder Tageszeit schwankt, sind Geothermie, Biomasse und Wasser stets verfügbar. Aus erneuerbaren Energien lassen sich Strom, Wärme, Kraftstoff und Gase (Biogas, Wasserstoff, Methan) für diverse, auch industrielle Nutzungen erzeugen. Hier werden aus dem Panorama der erneuerbaren Energien einige Technologien herausgegriffen und in Detailaufnahmen vorgestellt. Abbildung 34 zeigt, welche Anteile die einzelnen Energieträger am Ökostrom haben.

Photovoltaik

Bläulich schimmernde Dächer sind vor allem in ländlichen Regionen längst ein vertrauter Anblick, und die Photovoltaik-Anlagen auf Wohnhäusern und Scheunen werden immer mehr. Als Mini-Kraftwerke wandeln die Solarzellen das Sonnenlicht in elektrischen Strom um. Der **Photovoltaik-Markt in Deutschland hat sich 2011 rasant entwickelt**: In diesem Jahr wurden rund 7.500 Megawatt PV-Kapazität zugebaut, sodass sich die gesamte installierte Kapazität auf 24.800 Megawatt erhöhte – das entspricht einer Steigerung von 43 Prozent im Vergleich zum Vorjahr (17.320 Megawatt). Die etwa 1.090.000 Photovoltaik-Anlagen in Deutschland haben rund 18.500 Gigawattstunden Strom erzeugt; das entspricht vier Prozent des deutschen Stromverbrauchs.¹³

Der stark gestiegene Anteil der Photovoltaik im Strommix ist nicht zuletzt auf die deutlich verbesserten Wirkungsgrade der Solarzellen zurückzuführen; die **erhöhte Effizienz** ist dabei technologischen Innovationen zu verdanken. Der Wirkungsgrad – also das Verhältnis von eingestrahelter zu nutzbarer Sonnenenergie – hat sich bei monokristallinen Silizium-Solarzellen von rund zehn Prozent in den 1990er Jahren inzwischen auf circa 17 Prozent erhöht. Dünnschicht-

zellen¹⁴ erreichen Wirkungsgrade zwischen 7,5 und 9,5 Prozent, doch die zehn Prozent sind bereits in Sichtweite.

Der **Effizienzschub**, der anhaltende **Preisdruck durch internationale Wettbewerber**, insbesondere aus China, sowie **Skaleneffekte** aufgrund der Absatzsteigerung ließen die Preise für Photovoltaik-Anlagen fallen. Generell gilt die Formel, dass bei jeder Verdopplung der globalen Produktion der Preis von Photovoltaik-Anlagen um 22 Prozent sinkt.¹⁵ So bezahlte der Endkunde im vierten Quartal 2011 für eine Dach-Photovoltaik-Anlage fast 60 Prozent weniger als 2006.¹⁶ Der Abwärtstrend bei den Kosten wird sich in den nächsten Jahren fortsetzen.

Welches Potenzial in Photovoltaik-Zellen steckt, hat Schott Solar gezeigt: Als Welt-Premiere hat das deutsche Unternehmen eine monokristalline Siebdruck-Solarzelle im Industrieformat 156 x 156 Millimeter mit einem Wirkungsgrad von 20,2 Prozent produziert. Dies verdeutlicht zum einen, dass das Effizienzpotenzial von Photovoltaik-Anlagen längst nicht ausgeschöpft ist; zum anderen hat Schott Solar einen großen Erfolg bei der Entwicklung industrienaher Fertigungsprozesse für Hochleistungssolarzellen verbucht.¹⁷

Wissenschaftler arbeiten aber nicht nur an der Optimierung bestehender Technologien, sondern beschreiten auch ganz andere Wege bei der **Weiterentwicklung der Photovoltaik**. Obwohl noch nicht marktfähig, ist beispielsweise die **Grätzel DSC-Zelle (dye-sensitized solar cell)** ein vielversprechender Ansatz. Dabei wird das Prinzip der Photosynthese von Pflanzen nachgeahmt. Zwar liegen die Wirkungsgrade der Farbstoff-Solarzellen noch weit unter denen der konventionellen Silizium-Zellen, aber dafür bringen DSC andere Vorteile, etwa ihre Eignung für die Gebäudeintegration sowie die günstigen Herstellungskosten.¹⁸

Nicht weniger interessant sind die **Fortschritte der Organischen Photovoltaik (OPV)**. Organische Zellen aus Kunststoff versprechen wesentlich geringere Material- und Herstellungskosten: So könnte eine organische Solarzelle nur ein Viertel so viel kosten wie konventionelle Silizium-Solarzellen. Derzeit wird intensiv an der Weiterentwicklung der OPV geforscht, beispielsweise im deutsch-indischen Forschungsprojekt „Largecells“. Zu diesem internationalen Wissenschaftler-Team gehören auch Physiker und Chemiker

¹³ Vgl. Bundesverband Solarwirtschaft (2012), S. 1.

¹⁴ Bei der Produktion von Dünnschichtzellen werden photoaktive Halbleiter als dünne Schichten auf ein Trägermaterial aufgebracht. Vgl. Definition Glossar Solartechnikberater (2011).

¹⁵ Vgl. Greenpeace/European Photovoltaic Industry Association (2010), S. 1.

¹⁶ Vgl. Bundesverband Solarwirtschaft (2012), S. 5.

¹⁷ Vgl. Schott AG (2011).

¹⁸ Vgl. GTM Research (2010).

von der Universität Bayreuth. Gemeinsam mit ihren Kollegen aus Indien, den Niederlanden und aus Israel arbeiten sie daran, die Schwachstellen der organischen Solarzellen zu beseitigen. Vor allem der Wirkungsgrad soll verbessert werden; auch die Lebensdauer von etwa 18 Monaten schränkt möglicherweise den Einsatz der OPV ein.¹⁹

Trotz der im Vergleich zu Silizium-Solarzellen niedrigen Wirkungsgrade könnten Grätzel-Zellen und organische Photovoltaik künftig in manchen Bereichen eine Alternative zur jetzigen PV-Technologie darstellen, insbesondere bei Anwendungen, wo konventionelle Solarzellen nicht infrage kommen, beispielsweise für Baumaterialien, in elektronischen Geräte wie Mobilfunkgeräten oder auch für Textilien.

Tandemzellen gelten als weitere Hoffnungsträger unter den Photovoltaik-Innovationen, weil sie eine besonders hohe Effizienz aufweisen. Grund dafür ist die Fähigkeit der aus unterschiedlichen Halbleitermaterialien bestehenden Tandemzellen, das Sonnenspektrum besser auszunutzen. Die Tandemzelle – auch Mehrfachzelle oder Multispektralzelle genannt – aus amorphem und mikrokristallinem Silizium kann mehrere Wellenlängenbereiche des Sonnenlichts aufnehmen, sodass in Kombination mit Sammellinsen, die das einfallende Sonnenlicht bis zu einer 500-fachen Konzentration bündeln, Wirkungsgrade von mehr als 40 Prozent erreicht werden können.²⁰

Solarthermie

Bei der **Solarthermie** wird Sonnenenergie in Wärme umgewandelt. Diese Wärme kann zum **Heizen von Gebäuden** oder zur **Erzeugung von Strom in Solarthermischen Kraftwerken** genutzt werden. Bei der solarthermischen Heizung „sammeln“ Kollektoren auf dem Hausdach die Sonneneinstrahlung. Über einen Absorber wird aus Sonnenlicht Wärme, die anschließend über einen Wärmetauscher das Wasser erwärmt. Bei entsprechender Größe kann eine solche Anlage in den Übergangsmonaten im Herbst und Frühjahr auch die Heizung unterstützen. In Deutschland sind etwa 1,66 Millionen Solaranlagen mit einer Kollektorfläche von rund 15,3 Millionen Quadratmetern in Betrieb. Ihre installierte Leistung liegt bei 10,7 Gigawatt (therm.).²¹

Während bei der Photovoltaik die Solarzellen aus Sonnenlicht elektrischen Strom produzieren, wird bei der Solarthermie **Sonnenlicht in Wärme umgewandelt**. Solarthermische Kraftwerke nutzen diese Wärme zur Erzeugung von Dampf; der wiederum treibt eine Turbine zur Stromerzeugung an (Concentrated Solar Power-Technologie – CSP).

In solarthermischen Kraftwerken werden rinnenförmige Spiegel (Parabolrinnenkollektoren) eingesetzt, die wie riesige Brenngläser das Sonnenlicht bündeln und auf einen Receiver lenken. In diesem Receiver zirkuliert ein hitzebeständiges Thermoöl, das auf Temperaturen bis zu 400 Grad Celsius aufgeheizt wird. Dieses Arbeitsmedium transportiert die Energie in ein Turbinenhaus, wo über einen Wärmetauscher Dampf erzeugt wird. Der Dampf wiederum treibt eine Turbine zur Stromerzeugung an.

Solarthermische Kraftwerke können **Energie in Form von Wärme speichern**. Dieser Pluspunkt versetzt sie in die Lage, auch dann elektrischen Strom zu produzieren, wenn sich die Sonne rarmacht, etwa nachts oder bei dicht verhangenem Wolkenhimmel. Weil die Kollektoren nur direkte Sonneneinstrahlung effizient bündeln können, kommen als Standorte für die Solar-Großkraftwerke vor allem heiße Regionen mit viel Sonnenschein und nahezu wolkenlosem Himmel südlich des 40. Breitengrads infrage. In Kalifornien und Südsanien sind bereits die ersten kommerziellen Solarthermie-Anlagen am Netz.

Deutsche Unternehmen spielen bei dieser Concentrated Solar Power-Technologie (CSP) als Komponentenlieferanten, Systemintegratoren und Projektentwickler weltweit eine **führende Rolle**. So hat die Solarlite GmbH aus Mecklenburg-Vorpommern in Thailand technisches Neuland betreten und das erste CSP-Kraftwerk in Asien gebaut. Außerdem ist das Parabolrinnenkraftwerk in Kanchanaburi mit einer Leistung von fünf Megawatt das erste solarthermische Kraftwerk weltweit, das im Praxisbetrieb Wasser als Hitzeträger in den Receivern nutzt und auf Öl als Arbeitsmedium verzichtet.

Solarthermische Anlagen sind die Schlüsseltechnologie für die Verwirklichung der **Desertec-Projekte**. Das Kunstwort ‚Desertec‘ steht für eine nachhaltige Energieversorgung aus der Wüste. Um diese Pläne in der EU-MENA-Region²² voranzutreiben (Europa,

19 Vgl. o.V. (2011a).

20 Vgl. o.V. (2011b); Photovoltaiklexikon (2010).

21 Vgl. Bundesverband Solarwirtschaft (2012), S. 1.

22 MENA – Middle East and North Africa.

Nordafrika und Naher/Mittlerer Osten) haben sich 2009 Unternehmen aus der Industrie und dem Finanzsektor zur „Desertec Industrial Initiative“ zusammengeschlossen.²³ Dieses Industriekonsortium will das Ziel verwirklichen, in den Wüstenregionen der MENA-Länder im großen Maßstab Strom in solarthermischen Kraftwerken zu produzieren. Bis 2050, so die ehrgeizige Planung, soll damit der Großteil des wachsenden Energiebedarfs der MENA-Länder gedeckt werden. Etwa 15 Prozent des Wüstenstroms fließen über Gleichstrom-Hochspannungsnetze nach Europa. Die Investitionen für Desertec werden auf 400 Milliarden Euro geschätzt.

Windenergie

Zum Jahresende 2011 drehten sich in Deutschland die Rotoren von 22.297 Windenergieanlagen mit einer installierten Leistung von 29.060 Megawatt. Davon sind im Jahr 2011 2.086 Megawatt neu dazugekommen.²⁴ Mit einem Anteil von 38,1 Prozent in Deutschland spielt die Windenergie heute eine Hauptrolle im Mix der regenerativen Stromversorgung. Auch künftig wird sie eine tragende Säule im Energiekonzept der Bundesregierung sein: Ihr Anteil an der Stromerzeugung in Deutschland soll bis zum Jahr 2025 auf 25 Prozent steigen.²⁵ Den Ausbau der Windenergie werden Offshore-Windparks und die technologische Nachrüstung – das sogenannte Repowering – der Windenergieanlagen auf dem Festland vorantreiben.

Offshore-Windparks

Das Energiekonzept der Bundesregierung sieht vor, dass bis 2030 in Nord- und Ostsee Kapazitäten von 25 Gigawatt installierter Windenergieleistung entstehen.²⁶ Die Windenergienutzung auf See kann mit einer höheren Stromausbeute punkten: Im Vergleich zu guten Wind-Standorten auf dem Festland ist der **Stromertrag von Offshore-Anlagen etwa 40 Prozent höher**, denn über dem Meer herrscht selten Flaute, außerdem sind höhere Windstärken zu verzeichnen als an Land.

Allerdings hat der höhere Windertrag seinen Preis, denn die Errichtung von Windenergieanlagen auf See ist wesentlich aufwendiger als an Land: Für den Bau eines Offshore-Windparks müssen die schweren Bauteile (Rotorblätter, Dreibeinfundamente, Turmsegmente, Gondeln etc.) vom Festland zum geplanten

Standort auf See gebracht werden. Die Dimensionen dieser Bauteile – der Durchmesser der Rotorblätter kann bis zu 126 Metern betragen – stellen hohe Anforderungen an die maritime Logistik. Beispielsweise hat RWE das Tochterunternehmen RWE Offshore Logistics gegründet, das eine Basisstation in Bremerhaven errichtet und zwei Installationsschiffe gebaut hat.

In Deutschland sind die **Auflagen für den Bau von Offshore-Windparks** insbesondere aus Gründen des Naturschutzes schärfer als in den europäischen Nachbarländern: Die vorgeschriebene Entfernung zur Küste ist größer; das bedeutet, dass die Windenergieanlagen in tieferen Gewässern errichtet werden müssen. Dies stellt höhere Ansprüche an die Anlagen- und Fundamenttechnologie; außerdem erschweren die raue Witterung und der hohe Seegang den Aufbau. Auch die Instandhaltung der in größerer Distanz zur Küste gelegenen Offshore-Windparks gestaltet sich komplizierter als in Landnähe.

In Deutschland fiel der Startschuss für den Einstieg in die Offshore-Ära 2009: Seitdem speist **alpha ventus**, das deutsche Offshore-Pilotprojekt, ins Stromnetz ein. Der Windpark mit zwölf Windenergieanlagen befindet sich in 30 Meter Wassertiefe 45 Kilometer nördlich der Nordseeinsel Borkum. Mit einer installierten Leistung von 60 Megawatt deckt er den Strombedarf von 50.000 Haushalten. Dem Betreiber-Konsortium DOTI gehören die Energiekonzerne EWE, E.ON und Vattenfall an.²⁷

Inzwischen sind rein kommerzielle Offshore-Windparks ans Netz gegangen: **Baltic 1** ist der erste deutsche Windpark in der Ostsee. Auf einem Areal von sieben Quadratkilometern drehen sich 16 Kilometer vor der Halbinsel Darß die Rotoren von 21 Windenergieanlagen. Betreiber des Windparks mit einer Leistung von 48,3 Megawatt ist EnBW. Vor Rügen will der Energiekonzern einen weiteren Offshore-Windpark errichten, allerdings wird **Baltic 2** mit 80 Turbinen viermal so viele Windenergieanlagen haben wie Baltic 1 und sechsmal so viel Strom erzeugen. Die Investitionen für beide Ostseeprojekte belaufen sich nach Angaben von EnBW auf 1,2 Milliarden EUR.²⁸

In der deutschen Nordsee ist Ende 2010 etwa 100 Kilometer nordwestlich von Borkum ein zweiter Offshore-Windpark in Betrieb gegangen: „**BARD Offshore 1**“. Im Projektfeld der BARD-Gruppe rotieren inzwischen

23 Zur „Desertec Industrial Initiative“ gehören neben der „Desertec Foundation“ ABB, ABENGOA Solar, CeVital, Deutsche Bank, Enel, E.ON, Flagsol, HSH Nordbank, M+W Zander, Münchener Rück, Nareva, RED Electrica, RWE, Saint-Gobain Solar, SCHOTT Solar, Siemens, Terna und UniCredit (Stand 8/2011).

24 Vgl. Bundesverband WindEnergie e.V. (2012).

25 Vgl. Bundesumweltministerium (2011b).

26 Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie/Bundesumweltministerium (2010), S. 8.

27 Vgl. Bundesumweltministerium (2011b).

28 Vgl. EnBW (2011).

19 Windräder (Stand August 2011); nach und nach soll dieser Windpark auf 80 Windenergieanlagen mit einer Gesamtleistung von 400 Megawatt ausgebaut werden. Der von „BARD Offshore 1“ erzeugte Strom wird über ein 120 Kilometer langes Gleichstromkabel ans Festland transportiert und ins Höchstleistungsnetz eingespeist.²⁹

In Zukunft werden sich vor der deutschen Küste noch viel mehr Rotoren drehen. In der Nordsee sind bereits 24, in der Ostsee fünf Offshore-Windparks genehmigt (Stand August 2011). Die Gesamtleistung aller bereits genehmigten Windenergieanlagen beläuft sich auf circa 23.800 Megawatt.

Repowering

Auch Windenergieanlagen müssen modernisiert werden – 2012 werden schätzungsweise über 9.000 Turbinen in Deutschland älter als zwölf Jahre sein. Während ihrer Lebensspanne hat die technologische Entwicklung bei der Erzeugung von Windstrom Quantensprünge vollzogen: Anfang der 1980er Jahre lag die Nennleistung der Anlagen bei 50 Kilowatt, zehn Jahre später bei 300 Kilowatt. Heute erreichen die größten Anlagen in Offshore-Windparks eine Nennleistung von sechs Megawatt.³⁰

Repowering bedeutet, dass die Windenergieanlagen der ersten Generation durch leistungsstärkere Maschinen auf dem Stand der Technik ersetzt werden. Die Formel lautet: „**Halbierung der Anlagenzahl bei Verdoppelung der Leistung und Verdreifachung des Ertrags**“.³¹

Moderne Windenergieanlagen steigern durch eine **verbesserte Energieausbeute** den Wirkungsgrad von Windparks. Und je besser das Windangebot ausgenutzt wird, desto günstiger wird die Stromerzeugung. Dies ist möglich, weil bei den Schlüsselkomponenten der Windkraft – Rotorblättern und Antriebssystem – in den letzten Jahren erhebliche Fortschritte zu verzeichnen waren. Beim Antriebssystem setzen viele Hersteller inzwischen auf den **Direktantrieb**, bei dem Rotornabe und Ringgenerator eine direkt verbundene, feste Einheit bilden. In puncto **Netzstabilität** hat die heutige Generation der Windenergieanlagen ebenfalls mehr zu bieten als ihre Vorgänger: Durch eine **optimierte Steuerungselektronik** lassen sich Spannung, Frequenz und abgegebene Leistung besser regulieren, was die Integration des Windstroms ins Netz einfacher macht. Außerdem laufen moderne Windenergieanlagen leiser und mit einer niedrigeren Drehzahl: In den 1990er Jahren bewegten sich die Rotoren mit 40 bis 80 Umdrehungen pro Minute, heute mit 10 bis 20 Umdrehungen. Diese neue Trägheit minimiert den flackernden Schattenwurf.³² Durch diese Pluspunkte moderner Anlagen kann Repowering wesentlich dazu beitragen, die Akzeptanz der Windenergie zu erhöhen: Mehr Leistung mit weniger Anlagen eröffnet die Chance, Windpark-Standorte zu verdichten und die befürchtete „Versparung“ des Landschaftsbildes zu verhindern. Nach Schätzungen des Bundesverbands WindEnergie e.V. wird durch Repowering in den nächsten Jahren ein Markt von bis zu 1.000 Megawatt jährlich entstehen. Bis 2020 rechnet der Verband mit Investitionen in Höhe von 60 Milliarden Euro.³³

ENERGIE AUS 3.300 METERN TIEFE

Die Ära der geothermischen Stromerzeugung begann in der Gemeinde Unterhaching bei München im Februar 2009 mit der Inbetriebnahme des ersten geothermischen Kraftwerks in Süddeutschland. Es erzeugt mit einer elektrischen Leistung von 3,6 Megawatt elektrisch (Mittelwert) 2010 10,9 Millionen Kilowattstunden Strom. Der Schwerpunkt liegt jedoch auf der Wärmeversorgung; das Kraftwerk deckt über ein 36 Kilometer langes Fernwärmenetz mit einer Anschlussleistung von 46,5 Megawatt thermisch derzeit rund ein Viertel des Wärmebedarfs in der Gemeinde. Der Ausbau ist schon beschlossen: Langfristig soll die Erdwärme 60 Prozent der Wärmeversorgung in Unterhaching bestreiten.

Das circa 122 Grad Celsius heiße Thermalwasser für die Geothermieanlage in Unterhaching wird aus einer Tiefe von rund 3.300 Metern in der Förderbohrung hochgepumpt. Pro Sekunde werden etwa 150 Liter gefördert. An der Oberfläche durchfließt das Wasser die Obertage-Anlage mit den Wärmetauschern, ehe es abgekühlt über die Injektionsbohrung wieder zurückfließt. Die beiden Bohrlöcher liegen etwa 3,5 Kilometer voneinander entfernt; diese Distanz wird von einer Thermalwassertrasse aus glasfaserverstärktem Kunststoff überbrückt.

Quelle: Geothermie Unterhaching (2011)

29 Vgl. BARD-Gruppe (2010).

30 Vgl. Bundesverband WindEnergie e.V. (2010a), S. 3.

31 Vgl. ebenda, S. 8.

32 Vgl. ebenda.

33 Vgl. ebenda, S. 3.

Geothermie

Im Erdkern, einer schmelzflüssigen Metallkugel aus Eisen und Nickel, herrschen Temperaturen von 5.000 Grad Celsius. Wärme wandert aus dem Erdinneren durch Erdmantel und Erdkruste Richtung Oberfläche. Diese auch als Geothermie bezeichnete **Erdwärme** wird in den äußeren Schichten der durchschnittlich 30 Kilometer dicken Erdkruste gespeichert, etwa in Thermalwasser oder heißem Gestein. Während in vulkanischen Gebieten wie Island oder Neuseeland diese wasserführenden Schichten relativ dicht unter der Erdoberfläche vorkommen, liegen solche Aquifere mit über 100 Grad Celsius heißem Wasser in Deutschland in einer Tiefe von 1.000 bis 3.500 Metern.

Erdwärme lässt sich zum Heizen von Gebäuden und zur Stromerzeugung nutzen. Man unterscheidet zwischen der **oberflächennahen Erdwärmennutzung** (bis zu 400 Metern Tiefe) und der **Tiefengeothermie**. Die Heizung mit Geothermie funktioniert mit Wärmepumpen, denen entweder durch Erdwärmesonden oder Erdwärmekollektoren Wärme aus dem Erdreich zugeführt wird. Die Wärmepumpen bringen diese Wärme auf die zum Heizen benötigte Temperatur.

Bei der **geothermischen Stromerzeugung** wird über eine Förderbohrung heißes Wasser an die Oberfläche gepumpt. Ein Wärmetauscher überträgt diese Energie auf einen Sekundärkreislauf. Darin zirkuliert eine Flüssigkeit mit niedrigem Siedepunkt, beispielsweise ein Ammoniak-Wasser-Gemisch, die als Arbeitsmedium eine Dampfturbine antreibt (Kalina-Kreisprozess). Durch Kraft-Wärme-Kopplung kann die bei diesem Prozess entstehende Wärme zum Heizen verwendet werden. Damit der unterirdische Wasservorrat nicht zur Neige geht, wird das abgekühlte Thermalwasser über eine sogenannte Injektionsbohrung wieder ins Erdreich zurückgeleitet.

Bei der Umwandlung von Geothermie in elektrische Energie kommt auch die **OCR-Technologie** zum Einsatz (**Organic-Rankine-Cycle**). Statt Wasser wird hier im Sekundärkreislauf ein organisches Arbeitsmedium benutzt (zum Beispiel Silikon, Kältemittel etc.), das bei niedrigeren Temperaturen verdampft. Die OCR-Technologie wird auch bei Biomassekraftwerken oder der Solarthermie angewendet und ist dann gefragt, wenn die Temperatur der Wärmequelle nicht ausreicht, um Wasserdampf für den Betrieb einer Turbine zu erzeugen.

GELUNGENE MISCHUNG

In Prenzlau in der Uckermark, etwa 100 Kilometer nördlich von Berlin, ist im Oktober 2011 das weltweit erste Wasserstoff-Hybridkraftwerk in Betrieb gegangen. Als Pilotprojekt eines neuen Kraftwerkstyps kombiniert das von der Enertrag AG errichtete Hybridkraftwerk Wasserstoff, Windkraft und Biogas zu einem Verbund. Diese Mischung punktet mit Speicherfähigkeit: Das Hybridkraftwerk - Investitionssumme 21 Millionen Euro - ist grundlastfähig, denn durch den Einsatz von Wasserstoff als Speichermedium geht die Windenergie nie verloren. Und die Biogas-Anlage arbeitet witterungsunabhängig. Auf diese Weise kann das Hybridkraftwerk die Abnehmer auch mit Strom, Wärme und Treibstoff versorgen, wenn es windstill ist.

Quelle: Enertrag (2011)

In Deutschland produzieren 22 geothermische Kraftwerke Wärme und Strom (Stand Ende 2010).³⁴ Derzeit ist der Anteil der Geothermie an der Stromerzeugung in Deutschland mit einer installierten Leistung von acht Megawatt noch marginal; die Wärmebereitstellung liegt bei fünf Milliarden Kilowattstunden (2009).³⁵ Trotz ihres noch geringen Beitrags zur Stromversorgung und Wärmebereitstellung spielt die Geothermie einen wichtigen Part im Mix der erneuerbaren Energien. Erdwärme ist wetterunabhängig und deshalb stets verfügbar – **Geothermie ist also grundlastfähig**.

Biomassenutzung

Biomasse im Energiesektor wird definiert als „organische, nicht-fossile Materie, die als Brennstoff im Strom-, Wärme- und Verkehrssektor eingesetzt werden kann“.³⁶ Diese Materie kann von Pflanzen stammen, etwa Mais oder Getreide, von Tieren (Gülle) oder aus Bioabfällen und Klärschlamm. Aus **Biomasse** lassen sich **Energieträger unterschiedlicher Form** gewinnen. Holzpellets oder Holzhackschnitzel sind typische Beispiele für feste Bioenergie. Biokraftstoffe sind flüssige Bioenergieträger,³⁷ während Biomethan zu den gasförmigen Bioenergieträgern gehört.³⁸ Durch Verbrennung kann **Biomasse in Bioener-**

34 Stand Dezember 2010; vgl. Bundesverband Geothermie e.V. (2011).

35 Vgl. Agentur für Erneuerbare Energien (2011b).

36 Bundesverband BioEnergie e.V. (2011).

37 Ausführlich werden Biokraftstoffe im Leitmarkt Nachhaltige Mobilität thematisiert.

38 Vgl. Deutsches BiomasseForschungszentrum (2011).

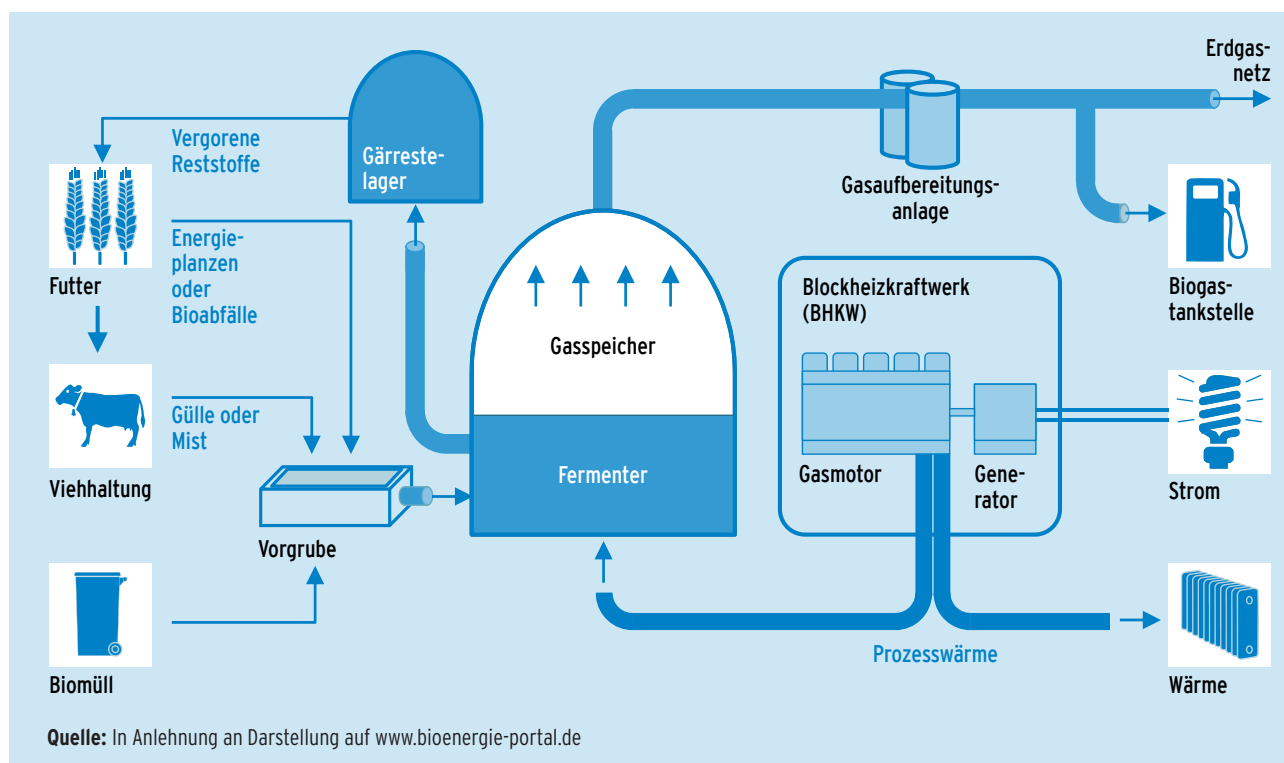
gie umgewandelt werden, die Wärme und Strom erzeugt oder Fahrzeuge antreibt. Biomasse setzt bei ihrer Verbrennung nur die Menge CO₂ frei, die eine nachhaltig produzierte Pflanze während ihres Wachstums aufgenommen hat, das heißt, die Verbrennung kann als klimaneutral bezeichnet werden. Allerdings muss bei der Klimabilanz berücksichtigt werden, dass während des Anbaus, des Transports und der Verarbeitung von Biomasse klimaschädliche Gase emittiert werden.

Wichtige Lieferanten für Biomasse sind die Forst- und Landwirtschaft. Auf fast einem Fünftel der Äcker in Deutschland – rund 2,1 Millionen Hektar – werden Rohstoffpflanzen angebaut, die großteils energetisch genutzt werden (Stand 2010).³⁹ Neben Holz und Energiepflanzen kann auch **Biomasse aus Reststoffen und Abfällen** energetisch genutzt werden, beispielsweise Biomüll, Klärschlamm, Klärgas, Deponiegas, Gülle. Gerade die Bioenergie aus solchen Reststoffen wird künftig eine immer wichtigere Rolle spielen und birgt noch großes Potenzial. Anders als bei Energiepflanzen besteht hier keine Nutzungskonkurrenz um Agrarflächen.

Biogasanlagen sind in Deutschland ein besonders wichtiges Segment der aus Biomasse gewonnenen Energie: Ende 2007 waren in Deutschland 3.700 Biogasanlagen mit einer elektrischen Leistung von 1.270 Megawatt in Betrieb; 2010 produzierten über 5.900 Biogasanlagen Strom mit einer Gesamtleistung von circa 2.300 Megawatt. Aktuell halten Biogasanlagen einen Anteil von 14,4 Prozent an der Strombereitstellung aus regenerativen Energien und rangieren damit auf Platz vier hinter Windkraft, Photovoltaik und Wasserkraft.^{40,41}

Die ersten Schritte der Produktion von Biogas sind Anlieferung und Aufbereitung des zu verwendenden Substrats, beispielsweise Gülle oder feste Bioabfälle. Dieses Substrat kommt in einen Fermenter (siehe Abbildung 35): In diesem gas-, wasserdichten und lichtundurchlässigen Behälter setzen Mikroorganismen einen Gärungsprozess in Gang, wodurch schließlich Gas entsteht. Die dabei anfallenden Gärreste werden zunächst gelagert und lassen sich dann zu hochwertigem Dünger verarbeiten. Je besser die Fermentierung vonstattengeht, desto ergiebiger die Erzeugung von Biogas und desto größer die Energieausbeute. Ein Teil des Gases wird durch einen Generator in thermische

Abbildung 35: Schemazeichnung einer Biogasanlage



39 Vgl. Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe e.V. (2011a).

40 Vgl. ebenda.

41 Vgl. Energiewende Aktuell – Ausgabe 2/2012.

oder elektrische Energie umgewandelt. Soll das Biogas als Kraftstoff verwendet oder ins Erdgasnetz eingespeist werden, muss es noch zusätzlich aufbereitet werden.

In Deutschland wurden **2010 aus Biomasse 33,5 Milliarden Kilowattstunden Strom produziert**, zehn Prozent mehr als im Vorjahr. Der Anteil der Biomasse am Stromverbrauch beträgt damit rund sechs Prozent.⁴² Bei der Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien hielt die Biomasse 2010 einen Anteil von 92 Prozent. 2010 stellte sie circa 127 Milliarden Kilowattstunden Wärme bereit (plus zehn Prozent gegenüber 2009). Zugelegt haben vor allem die Wärmergewinnung aus Biogas und die Verwendung von Holz in Privathaushalten.⁴³

Wasserkraft

Die Nutzung der **Wasserkraft hat eine lange Tradition**: Bereits lange vor Beginn der Industrialisierung wurden mit Wasserkraft Mühlräder, Hammer- und Sägewerke angetrieben. Heute entfällt auf die Wasserkraft als ausgereifte Technologie weltweit ein Anteil von 2,3 Prozent am globalen Primärenergieverbrauch. In einigen Ländern hat die Wasserkraft einen besonders hohen Stellenwert für die Energieversorgung: In Norwegen liegt der Anteil der Wasserkraft an der inländischen Stromerzeugung bei circa 95 Prozent, in Brasilien bei 84 Prozent und in Kanada bei über 60 Prozent.⁴⁴

An der gesamten Stromerzeugung in Deutschland hat die Wasserkraft einen Anteil von 3,2 Prozent. Unter den regenerativen Energiequellen stellt sie mit 16 Prozent hinter der Windenergie (38 Prozent) und vor der Photovoltaik (15,6 Prozent) den zweitgrößten Anteil an der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien.⁴⁵ In Deutschland sind circa 7.400 Wasserkraftanlagen in Betrieb, deren Leistung 2011 insge-

samt bei rund 19,5 Terawattstunden lag. Der Großteil der Wasserkraftanlagen befindet sich in Mittel- und Süddeutschland entlang großer Gewässer. Über 7.000 der deutschen Wasserkraftanlagen sind sogenannte **Kleinwasserkraftwerke** mit einer Leistung von weniger als einem Megawatt. Sie produzieren etwa zehn Prozent der Hydroelektrizität.

Hinter der Stromerzeugung aus Wasserkraft steckt das Prinzip, dass kinetische und potenzielle Energie einer Wasserströmung über ein Turbinenrad in mechanische Rotationsenergie umgewandelt wird, die wiederum einen Generator antreibt. **Laufwasserkraftwerke** nutzen dabei die Strömung eines Flusses oder eines Kanals, während **Speicherkraftwerke** das hohe Gefälle und die Speicherkapazität von Talsperren und Bergseen zur Stromerzeugung verwenden. Über ihren rein quantitativen Beitrag zur Stromerzeugung hinaus spielen Wasserkraftwerke eine wichtige Rolle für die Aufrechterhaltung der Netzstabilität, weil sie grundlastfähig sind und Pumpspeicherkraftwerke Reserveleistung für den Spitzenlastbetrieb bereitstellen können.⁴⁶

Durch den **Ersatz und die Modernisierung bestehender Anlagen** sollen die Potenziale der Wasserkraft in Deutschland künftig besser genutzt werden. Eine im Auftrag des Bundesumweltministeriums erstellte Studie kommt zu dem Ergebnis, dass die Stromerzeugung aus Wasserkraft langfristig um 3,5 Terawattstunden gesteigert werden kann. Durch die Einspeisevergütung für Hydrostrom aus neugebauten oder modernisierten Anlagen mit einer Leistung bis einschließlich fünf Megawatt setzt das Erneuerbare-Energien-Gesetz Anreize für eine effiziente Nutzung der Wasserkraft auf dem Stand der Technik. Wichtige Voraussetzung für die Förderfähigkeit ist allerdings, dass Umweltauflagen berücksichtigt werden; die Leistungssteigerung der Wasserkraftanlagen muss mit einer Verbesserung der gewässerökologischen Situation einhergehen.

Marktsegment Umweltschonende Nutzung fossiler Brennstoffe

Trotz der rasanten Fortschritte beim Ausbau der erneuerbaren Energien werden **Kohle, Erdgas und Erdöl** in den nächsten Jahrzehnten im globalen Energiemix eine wichtige, wenn auch abnehmende Rolle spielen. Nach den Prognosen der Internationalen

Energie-Agentur (IEA) werden diese fossilen Energieträger im Jahr 2035 einen Anteil von 75 Prozent am weltweiten Primärenergieverbrauch haben.⁴⁷ Deshalb sind mittel- und langfristig **Technologien unverzichtbar, die den Ressourcenverbrauch und**

42 Vgl. ebenda.

43 Vgl. ebenda, S. 9.

44 International Energy Agency (2011c), S. 19.

45 Vgl. Energiewende Aktuell – Ausgabe 2/2012.

46 Siehe dazu detailliert im Marktsegment Speichertechnologien.

47 Vgl. International Energy Agency (2011a), S. 4.

den Schadstoffausstoß bei der Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern minimieren. Diese Technologien sind nicht nur für fossile Brennstoffe relevant, da sie im zukünftigen Energiesystem auch mit Biomasse, Biogas und Wasserstoff oder Methan aus erneuerbaren Energien betrieben werden können.

Das Marktsegment Umweltschonende Nutzung fossiler Brennstoffe spielt daher eine entscheidende Rolle im Kampf gegen die globale Erwärmung. Innerhalb dieses Marktsegments leisten insbesondere die Effizienzsteigerung bei Großkraftwerken und Kraft-Wärme-Kopplung einen wesentlichen Beitrag zur besseren Klimaverträglichkeit fossiler Brennstoffe. Außerdem zählt zu diesem Marktsegment die – derzeit noch im Anfangsstadium steckende – Technologie der CO₂-Abscheidung und -speicherung. Wenn CCS genutzt wird, um CO₂-Emissionen aus Biomasse abzuscheiden, werden der Atmosphäre netto CO₂ entzogen.

Effizienzsteigerung bei Großkraftwerken

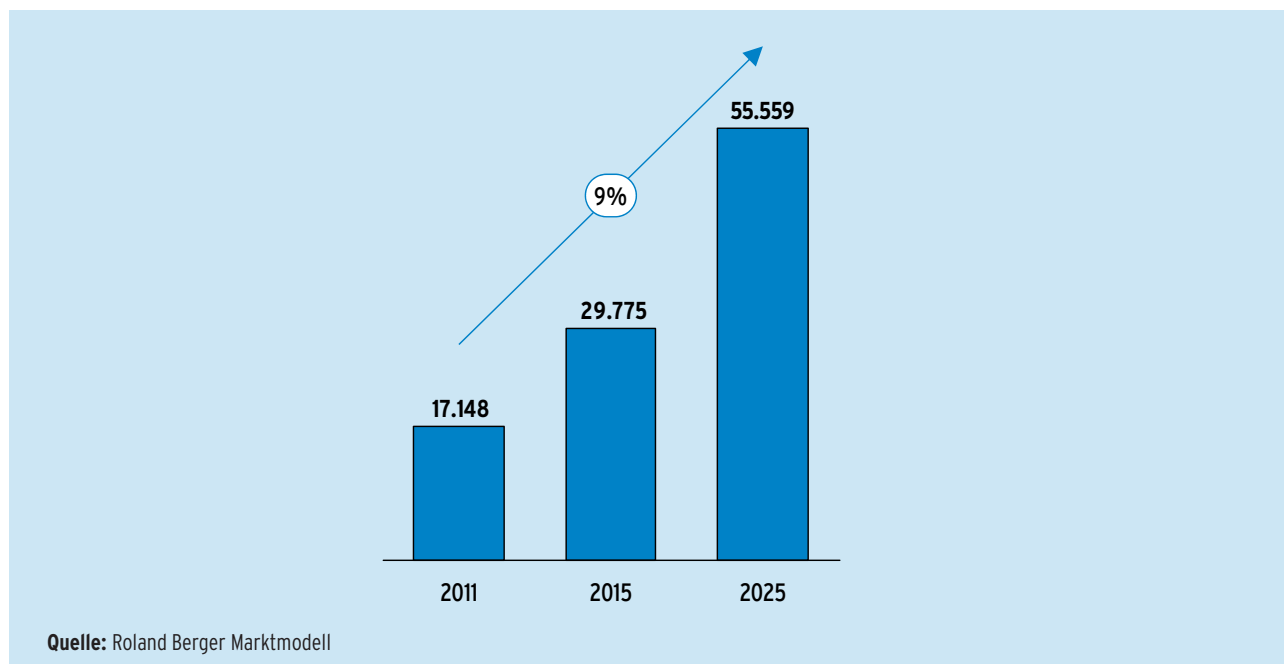
Kohlekraftwerke

Insbesondere die Stromerzeugung aus Kohle ist unter Aspekten des Klimaschutzes ein wichtiges Handlungs-

feld, denn bei der Verbrennung dieses Energieträgers werden durchschnittlich ungefähr 1000 g/kWh CO₂ freigesetzt. Insgesamt haben Kohlekraftwerke 2008 12,6 Milliarden Tonnen CO₂ emittiert.⁴⁹ Die IEA geht davon aus, dass Kohle bis 2035 weltweit der Hauptbrennstoff für die Stromerzeugung bleiben wird, obwohl ihr Anteil von 41 Prozent (2008) auf 32 Prozent schrumpft.⁵⁰ Viele Schwellenländer werden ihren zunehmenden Energiebedarf zunächst vorrangig mit Kohle-Strom decken. Um die fatalen Folgen dieser Entwicklung für den Klimaschutz zu vermeiden oder zumindest den Schaden zu begrenzen, besteht dringender Bedarf an Technologien, die CO₂-Emissionen von Kohlekraftwerken reduzieren. In Deutschland nimmt die Bedeutung der Kohle schneller ab, da die erneuerbaren Energien nach dem Energiekonzept der Bundesregierung schon 2020 mindestens 35 Prozent zum Stromverbrauch beitragen werden und 2030 mindestens 50 Prozent.

Im Durchschnitt liegt der Wirkungsgrad von Kohlekraftwerken weltweit bei rund 30 Prozent, wobei in Deutschland Wirkungsgrade von 40 bis 50 Prozent erreicht werden.⁵¹ Vor allem in Schwellenländern ist das Verbesserungspotenzial in puncto Effizienz erheblich. So liegt beispielsweise in China der durchschnittliche Wirkungsgrad bei 23 Prozent.

Abbildung 36: Marktprognose Umweltschonende Nutzung fossiler Brennstoffe 2011, 2015 und 2025 in Deutschland (in Millionen Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)



48 Vgl. co₂-emissionen-vergleichen.de (2011).

49 Vgl. International Energy Agency (2010b), S. 47.

50 Vgl. International Energy Agency (2010a), S. 9.

51 Vgl. Bockhorst, M. (2011a).

WAIGAOQIAO III – SPITZENWERT BEIM WIRKUNGSGRAD

China deckt etwa 70 Prozent seines Primärenergiebedarfs mit Kohle, auch künftig wird dieser fossile Brennstoff eine Hauptrolle im Energiemix der Volksrepublik spielen. Aus den Schloten der Kohlekraftwerke stammen fast die Hälfte des Kohlendioxid- und knapp drei Viertel des Schwefeldioxydausstoßes des Landes. Um ihre Emissionen zu senken, muss die Volksrepublik bei der Verstromung von Kohle den Einsatz sauberer Technologien forcieren. Ein Beispiel dafür ist das Kohlekraftwerk Waigaoqiao III in Shanghai.

Die beiden 1.000-Megawatt-Kraftwerksblöcke von Siemens erreichen einen Wirkungsgrad von 46 Prozent – der durchschnittliche Wirkungs-

grad von Kohlekraftwerken liegt weltweit bei rund 30 Prozent. Der Spitzen-Wirkungsgrad in Waigaoqiao III kommt durch eine optimierte Energieausnutzung dank ultra-superkritischer Technologie zustande: Steinkohle erhitzt Wasser zu 600 Grad Celsius heißem Dampf, der mit extrem hohem Druck (bis zu 270 Bar) in die Turbinen gepresst wird. Nach Angaben von Siemens Energy senkt diese Technologie den Kohleverbrauch des Waigaoqiao-Komplexes pro Jahr um rund 1,1 Millionen Tonnen und reduziert die CO₂-Emissionen um circa 2,8 Millionen Tonnen.

Quelle: Siemens (2010b), S. 22

Um den **Betrieb von Kohlekraftwerken umweltverträglicher zu gestalten**, haben Siemens und E.ON eine Pilotanlage am Kohlekraftwerk Staudinger bei Hanau in Betrieb genommen, bei der mithilfe des CO₂-Waschprozesses von Siemens bis zu 90 Prozent des CO₂ im Rauchgas des Kohlekraftwerks abgetrennt werden können, ohne gravierende Beeinträchtigung des Wirkungsgrads.⁵² Die Trennung von CO₂ erfolgt durch einen Absorber, in dem sich Siebe aus Metall und eine Waschlösung mit Aminosäuresalzen befinden. Auf diese Weise wird das CO₂ gebunden und vom Rauchgas entfernt. Das enthaltene Salz wird später im Prozess durch ein chemisches Verfahren gelöst. Es lässt sich danach vollständig wiederverwenden.⁵³

Um Kohlekraftwerke künftig effizienter und damit umweltfreundlicher zu gestalten, gibt es grundsätzlich zwei Optionen: die Erhöhung des Drucks und der Temperatur auf Dampfturbinen sowie die Optimierung der Braunkohlentrocknung. Größere Einspar-effekte versprechen allerdings **Integrated-Gasification-Combined-Cycle-Kraftwerke (IGCC)**. Diese Gas- und Dampfturbinenkraftwerke mit integrierter Kohlevergasung befinden sich noch im Entwicklungsstadium. Forschungsergebnisse zeigen, dass mit dieser Technologie nicht nur Wirkungsgrade von über 55 Prozent erreicht werden können, sondern zugleich der CO₂-Ausstoß auf 800 g/kWh sinkt.⁵⁴ Aufgrund der Komplexität solcher Anlagen sind jedoch die erforderlichen Investitionen sehr hoch. Deshalb wird intensiv an neuen Verfahrenskonzepten geforscht, um die be-

reits erreichten Stromgestehungskosten von unter 40 Euro/Megawattstunde zu unterbieten. 2014 will RWE Power AG ein CO₂-freies IGCC-Kraftwerk in Deutschland errichten lassen.

Gas- und Dampfkraftwerke (Kombikraftwerk)

Gaskraftwerke gelten als klimafreundlicher als Kohlekraftwerke, denn bei der Verbrennung von Kohle wird mehr als doppelt so viel CO₂ emittiert wie in einem Gaskraftwerk.⁵⁵ Außerdem haben mit Erdgas betriebene Kraftwerke einen **höheren Wirkungsgrad**; der lässt sich noch steigern, wenn Gas- und Dampfturbinentechnik kombiniert werden.

In Gas- und Dampfkraftwerken ist der Hauptantrieb für die Energieerzeugung die Gasturbine. Um den Wirkungsgrad des sogenannten Kombikraftwerks zu erhöhen, wird mit der von der Gasturbine abgegebenen Wärme Dampf erzeugt. Der treibt dann eine Dampfturbine an, mit der zusätzlich Strom produziert wird. Mit Wirkungsgraden von bis zu 60 Prozent gehören solche Gas- und Dampfkraftwerke zu den effizientesten Großkraftwerken.⁵⁶ Zum Vergleich: Ein Kohlekraftwerk der neuesten Technik-Generation (siehe Textbox) bringt es auf einen Wirkungsgrad von 46 Prozent.

52 Vgl. Siemens AG (2011a).

53 Vgl. Siemens AG (2011b).

54 Vgl. BINE Informationsdienst (2006).

55 Vgl. Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND) (2011).

56 Vgl. BINE Informationsdienst (2010).

Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung

Ein großer Teil des Stroms wird in Deutschland in sogenannten Kondensationskraftwerken erzeugt: Thermische Energie wird über eine Dampfturbine in elektrische Energie umgewandelt. Der heiße Dampf, der die Turbine verlässt, wird abgekühlt und kondensiert. Die Abwärme dieses Prozesses wird in reinen Wärmekraftwerken nicht genutzt, sondern über Flüsse oder Kühltürme entsorgt. Der Wirkungsgrad bei der Umwandlung von thermischer in elektrische Energie beläuft sich deshalb bei diesem Verfahren lediglich auf 40 bis 60 Prozent. Weitaus weniger verschwendet geht das **Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)** mit Primärenergie um. Hier wird der aus der Turbine austretende Dampf für die Bereitstellung von Heizwärme verwendet; die Abwärme wird in das Nah- oder Fernwärmenetz eingespeist.

Kraft-Wärme-Kopplung ist nicht auf die fossilen Energieträger wie Erdgas, Heizöl oder Kohle beschränkt. Dieses Verfahren kann auch in Anlagen angewendet werden, die mit Biomasse, Geothermie oder Solarenergie betrieben werden. **KWK-Anlagen** gibt es in **verschiedenen Größenklassen**; ihr Spektrum reicht von Kraftwerken mit einer Leistung von mehreren hundert Megawatt bis zu wenigen Kilowatt.⁵⁷ Der Anteil der mit KWK-Anlagen erzeugten elektrischen

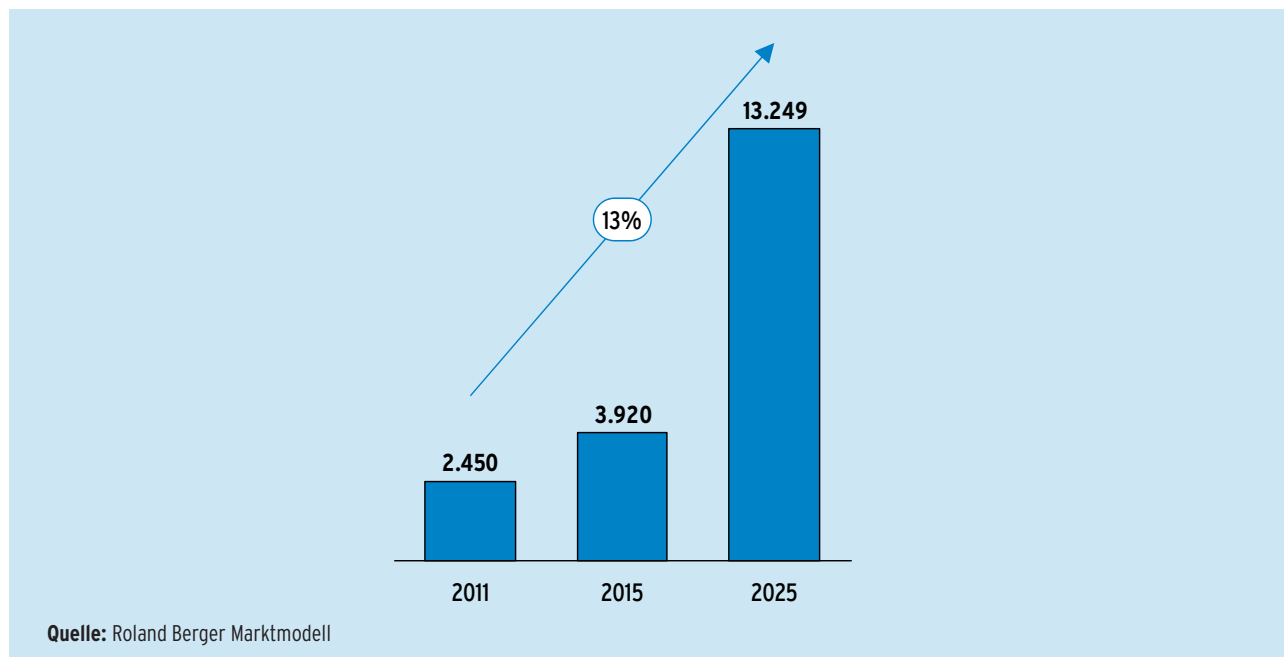
Energie am Stromverbrauch soll sich von 2011 bis 2020 auf 25 Prozent erhöhen, so die Zielsetzung des Kraft-Wärme-Kopplungsgesetzes,⁵⁸ das den Neubau und die Modernisierung hocheffizienter KWK-Anlagen fördern soll.⁵⁹

CO₂-Abscheidung und -speicherung (Carbondioxide Capture and Storage – CCS)

Bei der Verbrennung von fossilen Brennstoffen entstandenes CO₂ wird von den Abgasen abgeschieden, verdichtet („capture“) und per Pipeline oder Schiff zu einer geeigneten Langzeit-Lagerstätte transportiert, in die es über eine Bohrung injiziert wird („storage“). Auf diese Weise sollen weniger CO₂-Emissionen in die Atmosphäre freigesetzt werden. Als potenzielle Lagerstätten kommen saline Aquifere (Salzwasser führende, durchlässige Gesteinsformationen), ausgeförderte Öl- oder Gasfelder sowie nicht gewinnbare Kohleflöze infrage. In Demonstrationsprojekten wird die CCS-Technologie in Norwegen seit 1996, in Kanada seit 2000 und in Algerien seit 2004 erprobt.⁶⁰

Der Energiekonzern Vattenfall hat im September 2008 im Industriepark Schwarze Pumpe in der Nähe von Cottbus die erste **CCS-Pilotanlage in Deutschland** eingeweiht. Der für mindestens fünf Jahre geplante

Abbildung 37: Marktprognose Speichertechnologien 2011, 2015 und 2025 in Deutschland (in Millionen Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)



57 Die kleinen KWK-Anlagen werden als Blockheizkraftwerke (BHKW) bezeichnet. Da sie vor allem in der dezentralen Energieversorgung zum Einsatz kommen, werden sie detailliert im Kapitel *Dezentrale Energieversorgung* beschrieben.

58 Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung.

59 Vgl. Umweltbundesamt (2011a).

60 Vgl. CO₂ GeoNet Europäisches Exzellenznetzwerk (2009), S. 5.

Betrieb der Anlage soll als „Brückenschlag zwischen Labor und Praxis“⁶¹ den Weg zur großtechnischen Umsetzung ebnen. Im sogenannten Oxyfuel-Verfahren wird Braunkohle mit fast reinem Sauerstoff verbrannt. Anschließend werden aus dem Abgas Schwefeloxide, Feinstaub und andere Schadstoffe abgeschieden; das im Abgas enthaltene Wasser wird auskondensiert und das CO₂ abgetrennt.

Experten der IEA und anderer Institutionen vertreten die Meinung, dass das Ziel einer globalen CO₂-Reduktion ohne den Einsatz von CCS schwer zu erreichen sei, denn ein großer Teil des weltweit steigenden Primärenergiebedarfs wird in den nächsten Jahrzehnten durch Kohle gedeckt. Die **Europäische Kommission** hat 2009 eine **Richtlinie zur geologischen CO₂-Speicherung** verabschiedet; darin wird CCS als „Brückentechnologie“ bezeichnet, „die zur Abschwächung des Klimawandels beiträgt“.⁶² Nach Schätzungen der EU könnten bis zum Jahr 2030 160 Millionen Tonnen CO₂ gespeichert werden; die dadurch vermiedenen CO₂-Emissionen entsprächen etwa 15 Prozent der für das Erreichen der EU-Klimaziele erforderlichen Minderung des CO₂-Ausstoßes.

Allerdings ist fraglich, ob diese Prognosen im avisierten Zeitrahmen Wirklichkeit werden: In Deutschland und anderen EU-Ländern besteht ein **Akzeptanzproblem gegenüber der CCS-Technologie**. Ein weiteres Hemmnis für die Marktdurchdringung ist die Wirtschaftlichkeit: Die Ausbeziehungsweise Nachrüstung von Kraftwerken mit CCS erhöht die Kosten im Vergleich zu konventionellen Kraftwerken um 40 bis 75 Prozent. Hinzu kommt, dass erhebliche Mittel nötig sind, um die CCS-Technologie bis zur Marktreife zu entwickeln. Diese Investitionen lohnen sich nur dann, wenn der Preis für CO₂-Emissionen steigt. Die Schwelle, ab der ökonomische Anreize für den Einsatz der CCS-Technologie winken, liegt nach Expertenschätzungen bei einem Preis von 35 bis 50 Euro/t CO₂.⁶³ Im Dezember 2011 lag der Carbon Index („Carbix“), der Referenzpreis für Emissionsberechtigungen an der Leipziger Energiebörse European Energy Exchange, bei 7,75 Euro/t CO₂. Derzeit sind die Emissionsrechte für knapp 13 Euro/t CO₂ zu haben.⁶⁴ Und in den USA und der Volksrepublik China, die für über 40 Prozent des globalen CO₂-Ausstoßes verantwortlich sind, wird das Instrument des CO₂-Emissionshandels bislang nicht angewendet.⁶⁵

Marktsegment Speichertechnologien

Bei der „Energiewende“ in Deutschland kommt den **Speichertechnologien eine Schlüsselrolle zu**: Wenn der Anteil von Öko-Strom deutlich steigt, zieht das erhebliche Konsequenzen für die Stromversorgung nach sich: Die Stromproduktion der Energieträger Sonne und Wind, die den Großteil des regenerativ erzeugten Stroms liefern sollen, unterliegt witterungs- und tageszeitabhängigen Schwankungen. Aufgrund fluktuierender Einspeisung entstehen eine potenzielle Lücke zwischen Stromangebot und Stromnachfrage oder ein überschüssiges Stromangebot. Um diese Diskrepanzen zu glätten und damit eine stabile Stromversorgung sicherzustellen, bedarf es eines Ausbaus der Stromnetze, des Lastmanagements (Stichwort Smart Grid und Smart Meter), hochflexibler Gaskraftwerke und der Speicherkapazität in Deutschland und seinen Nachbarländern. Aktuell beträgt die Gesamtspeicherleistung in Deutschland sieben Gigawatt. Dies lässt ein sehr hohes Wachstum im Marktsegment Speichertechnologien erwarten (jahresdurchschnittliches Wachstum 2011 bis 2025 13 Prozent).

Speicher müssen in der Lage sein, in Phasen eines Stromüberschusses elektrische Energie zwischenzulagern und sie bei hoher Nachfrage wieder ins Netz einzuspeisen. Dabei geht es um erhebliche Speicherkapazitäten, die nicht nur technisch machbar, sondern auch zu ökonomisch vertretbaren Preisen zu realisieren sein müssen. **Neben der Wirtschaftlichkeit ist eine Minderung der Energieverluste ein wichtiges Kriterium für Speichertechnologien:** Je nach Technologie liegt der Gesamtwirkungsgrad bei der Energiewandlung zwischen rund 20 und 95 Prozent (siehe Abbildung 38). Die Erhöhung des Wirkungsgrads ist ein zentraler Aspekt bei der Forschung und Entwicklung von Speichertechnologien. Die Speichertechnologien lassen sich nach den Energieformen klassifizieren, in denen die elektrische Energie gespeichert wird (siehe Abbildung 39; die blau hinterlegten Technologien werden im Folgenden vorgestellt). Zu unterscheiden sind **die mechanische, die elektrochemische und die elektrische Speicherung von Energie.**

61 Vattenfall Europe AG (2011b).

62 Richtlinie 2009/31/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009.

63 Vgl. Deutsche Bank Research (2011), S. 3.

64 Stand am 27. Dezember 2011.

65 Vgl. International Energy Agency (2010b), S. 46.

Abbildung 38: Wirkungsgrade bei der Energiewandlung (in Prozent)

	Speicherung	Entladung	Gesamt
Pumpspeicher- kraftwerk	84-88	86-91	72-80
Druckluftspeicherung (adiabat)	77-81	81-86	62-70
Batterien aus Blei	80-88	81-90	65-79
Li-Ion-Batteries			90-95
Redox-flow-Batteries	84-90	83-89	70-80
Wasserstoff, Elektrolyse, Brennstoffzelle	59-66	35-65	21-43

Quelle: German Trade & Invest (2010c), S. 18

Abbildung 39: Einteilung der Speichertechnologien

Klassifizierung der Speichertechnologien		
Mechanisch	Elektrochemisch	Elektrisch
Pumpspeicherkraftwerk	Akkumulatoren Blei/NiCd/NiMH/Li-Ion	Doppelschichtkondensatoren
Druckluftspeicherkraftwerk	HT-Akkumulatoren NaS/NaNiCl	Supraleitende Spulen (SMES)
Hubspeicherkraftwerk	Flow- & Gas-Batterien Redox- u. Hybridflow	
Schwungrad	Wasserstoff/Reg. Brennstoffzelle	

Quelle: German Trade & Invest (2010c), S. 18

Mechanische Speicherung

Pumpspeicherkraftwerke

Wasser kann neben der Stromproduktion auch als **Energiespeicher** eingesetzt werden, zum Ausgleich von Schwankungen im Stromnetz sowie als „eiserne Reserve“ für Kraftwerksausfälle: Pumpspeicherkraftwerke beherrschen nämlich den „Schwarzstart“ – sie können binnen 15 Sekunden ohne externe Energiezufuhr hochgefahren werden.

Pumpspeicherkraftwerke bestehen grundsätzlich aus zwei Wasserreservoirien, zwischen denen ein deutlicher Höhenunterschied besteht. Hierzu wird Wasser bei Überproduktion von Strom – etwa bei kräftigem Wind, bei hoher Einspeisung von Photovoltaik-Strom oder bei geringer Nachfrage in den Nachtstunden – aus dem unteren Speicherbecken in den höher gelegenen Wassertank gepumpt. Wird Strom benötigt, stürzt das Wasser aus dem Oberbecken auf die Turbinen im Tal, die einen Generator antreiben. Die Wirkungsgrade liegen im Schnitt **zwischen 70 und 80 Prozent** (siehe Abbildung 38).

Pumpspeicherkraftwerke werden bereits seit Ende der 1920er Jahre gebaut; das erste Kraftwerk dieses Typs ging 1931 in Schluchsee im Hochschwarzwald ans Netz. In Deutschland sind 33 Pumpspeicherkraftwerke in Betrieb, die es auf eine Speicherleistung von 6,6 Gigawatt bringen. Das entspricht etwa 95 Prozent der Kapazität großer netzgekoppelter Elektroenergiespeicher in Deutschland.⁶⁶ Mittelfristig sind Pumpspeicherkraftwerke die einzigen verfügbaren Großspeicher für Elektrizität. Allerdings ist dieses technische Erfolgsmodell nur beschränkt ausbaufähig: Ein dicht

besiedeltes Land wie Deutschland bietet kaum Platz für weitere Speicherseen; und an den wenigen möglichen Standorten besteht nicht selten ein Interessenskonflikt mit den Belangen des Natur- und Landschaftsschutzes.

Druckluftspeicherung

Das Grundprinzip von Druckluftspeichern besteht darin, dass während des Ladevorgangs elektrische Energie für die Kompression von Luft eingesetzt wird; das heißt, elektrische Energie wird in kinetische Energie der Luftmoleküle umgewandelt. Die komprimierte Luft wird in unterirdischen Kavernen gespeichert. Beim Entladevorgang wird die komprimierte Luft zusammen mit Erdgas in der Brennkammer einer Gasturbine verbrannt. Durch die Expansion der heißen Rauchgase in der Gasturbine wird ein Generator angetrieben, der elektrische Energie erzeugt.⁶⁷ Das 1978 in Betrieb genommene Kraftwerk Huntorf (Niedersachsen) ist eines von nur zwei Luftspeicher-Gasturbinenkraftwerken weltweit. Das zweite steht in McIntosh im US-Bundesstaat Alabama. Im Spitzenlastkraftwerk Huntorf – Betreiber ist der Energiekonzern E.ON – erfolgt die Produktion von Druckluft und Strom zeitversetzt: In Schwachlastzeiten, wenn die Stromnachfrage im Netz gering ist, wird in Huntorf mit dem Strom aus Grundlastkraftwerken Luft in zwei Salzkavernen gepumpt. In einer Tiefe von 600 und 850 Metern gelegen, fassen diese beiden Höhlen 300.000 Kubikmeter. Steigt der Strombedarf im Netz, wird Luft aus den unterirdischen Kesseln abgelassen und zusammen mit Erdgas verbrannt. Die Verbrennungsluft treibt eine Gasturbine, die mit 3.000 Umdrehungen pro Minute Strom erzeugt und eine Leistung von 312 Megawatt erreicht.⁶⁸

GOLDISTHAL – STROM FÜR 350.000 HAUSHALTE

Bei Goldisthal (Thüringen) versorgt das Pumpspeicherkraftwerk über 350.000 Haushalte mit Strom. Mit einer Gesamtleistung von 1.060 Megawatt gehört das vom Vattenfall-Konzern 2003 in Betrieb genommene Kraftwerk zu den größten Pumpspeicherkraftwerken in Europa. Für das Oberbecken wurde ein Berggipfel abgetragen; das Wasserreservoir hat eine Fläche von 55 Hektar und fasst zwölf Kubikkilometer Wasser. 800 Meter lange Rohrleitungen verbinden das Oberbecken über ein Gefälle von 302 Metern mit dem unterirdischen Kraftwerk, in

dem vier Turbinen arbeiten. Mit dem Stromüberschuss aus Braunkohlekraftwerken erzeugen sie Strom und pumpen Wasser vom Unter- in das Oberbecken. Steigt die Stromnachfrage in Spitzenlastzeiten an, stürzt das Wasser aus dem Speichersee durch die Rohrleitungen zurück ins unterirdische Kraftwerk. Dort treibt es die vier Turbinen an, die Strom erzeugen.

Quelle: Vattenfall Europe AG, (2011a)

⁶⁶ Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (2009), S. 13.

⁶⁷ Oertel, D. (2008), S. 31.

⁶⁸ Vgl. E.ON Kraftwerke GmbH (2012).

„GRÜNES“ GAS AUS WINDENERGIE

RH2-WKA - Diese Abkürzung steht für das Demonstrationsprojekt RH2-Werder/Kessin/Altentreptow: In dieser Testanlage arbeitet die WIND-projekt GmbH an der Integration eines CO₂-freien Wasserstoffspeichers in einen Windpark. Der besteht aus 28 Windenergieanlagen mit einer installierten Gesamtleistung von 140 Megawatt und kann etwa 100.000 Haushalte mit Strom versorgen.

Das Projekt - Gesamtbudget 9,4 Millionen Euro, Laufzeit 2009 bis 2014 - wird im Rahmen des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellen (NIP) mit 4,5 Millionen Euro unterstützt. Der Meilenstein für die erste Projektphase ist, dass die Wasserstoffanlage den Windpark mit Eigenstrom versorgt. Die Wasserstoffanlage hat eine Elektrolyseleistung von einem Megawatt.

Quelle: WIND-projekt (2011)

Das Problem bei der **Druckluftspeicherung von Strom** ist der (noch) **geringe Wirkungsgrad**: In Hüntorf liegt er bei 40 Prozent, in McIntosh bei 54 Prozent. Hier soll „ADELE“ Abhilfe schaffen. Im Rahmen dieses Projekts befassen sich RWE Power, General Electric, Züblin und das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) mit der Weiterentwicklung herkömmlicher Druckluftspeicher. Der Adiabate (adiabat bedeutet wärmedicht) Druckspeicher nutzt die bei der Verdichtung der Luft entstehende Wärme, indem er sie zunächst zwischenspeichert. Bei der Entladung in die Turbine wird die Druckluft mit der deponierten Wärme auf eine hohe Temperatur erhitzt – was den Wirkungsgrad auf bis zu 70 Prozent steigern kann. Dass dieses Konzept in der Praxis funktioniert, wollen die DLR-Forscher mit einer Demonstrationsanlage beweisen, die voraussichtlich 2013 in Betrieb gehen wird. Das Pilotprojekt bringt es auf eine Speicherkapazität von einer Gigawattstunde und hat eine elektrische Leistung von 200 Megawatt.⁶⁹

Chemische Speicherung

Wasserstoff und „Öko-Gas“

Auch **Wasserstoff** kann als **Speichermedium** verwendet werden (elektrochemischer Speicher): Strom aus Wind- oder Solaranlagen lässt sich nicht immer in das Netz integrieren, weil die Erzeugung – etwa bei Starkwind – und die Nachfrage zeitlich auseinander

fallen. Der „Stromüberschuss“ lässt sich zur Herstellung von Wasserstoff nutzen: Durch Elektrolyse wird Wasser in Sauerstoff und Wasserstoff gespalten. Als „grüner“ Wasserstoff kann der regenerativ erzeugte Strom langfristig gespeichert werden, beispielsweise im Erdgasnetz. Das Gas wird dann je nach Bedarf rückverstromt oder für Heizzwecke verwendet. Außerdem kann Wasserstoff als Kraftstoff für Brennstoffzellenfahrzeuge genutzt werden. Die Rückverwandlung von Wasserstoff in Strom geschieht mittels konventioneller Gasturbinen, Gas- und Dampfkraftwerke oder KWK-Anlagen. Allerdings ist der Wirkungsgrad mit 35 bis 40 Prozent relativ gering. Einen höheren Wirkungsgrad (50 Prozent) erzielt die Verstromung von Wasserstoff in der Brennstoffzelle. Wird bei diesem Verfahren die Reaktionswärme genutzt, ist sogar ein Wirkungsgrad von bis zu 90 Prozent möglich.⁷⁰ Der „grüne“ Wasserstoff kann auch in der Industrie genutzt werden, wo er als Prozessgas eingesetzt wird. Dort ersetzt er aus Erdgas hergestellten Wasserstoff.

Bei dem Speicherkonzept **Erdgas aus Ökostrom (Methan)** wird mit überschüssigem Strom aus Windenergie oder Photovoltaik Wasser durch Elektrolyse in Wasserstoff (H₂) und Sauerstoff gespalten. Durch die chemische Reaktion des Wasserstoffs mit Kohlendioxid entsteht Methan, sozusagen synthetisch hergestelltes Erdgas. Es kann in bereits vorhandenen Gasometern und Gasleitungen gespeichert werden und steht bei Bedarf für den Antrieb von Erdgasautos, den Betrieb von Erdgasheizungen und zur Stromerzeugung zur Verfügung. Der große Pluspunkt des Konzepts „**Erdgas aus Ökostrom**“ sind die bereits vorhandenen Speicherkapazitäten: Das 400.000 Kilometer lange Erdgasnetz in Deutschland hat mit 200 Terawattstunden eine wesentlich größere Speicherkapazität als das Stromnetz (0,4 Terawattstunden).

In einer Pilotanlage in Stuttgart wird diese Speichertechnik, die vom Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZWS), dem österreichischen Unternehmen Solar Fuel Technology und dem Fraunhofer IWES entwickelt wurde, derzeit dem Praxistest unterzogen. 2012 soll eine zweite, deutlich größere Demonstrationsanlage mit zehn Megawatt Leistung in Betrieb gehen.⁷¹

Batterien

Der Ur-Ahn aller Batterien war die 1800 präsentierte Voltasche Säule, eine Erfindung des italienischen Physikers Alessandro Volta. Eine **Batterie** fungiert als **Energiespeicher und Energiewandler**: Bei der Entladung wird gespeicherte chemische Energie durch Reduktions-Oxidations-Reaktion (Redoxre-

69 Vgl. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (2010).

70 Vgl. German Trade & Invest (2010c), S. 14.

71 Vgl. Zentrum für Sonnenenergie und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZWS) (2010).

aktion) in elektrische Energie umgewandelt, die an einen angeschlossenen Verbraucher abgegeben wird. Es gibt Primärzellen, die nach einer einmaligen Entladung entsorgt werden müssen. Dagegen sind Sekundärzellen, sogenannte Akkumulatoren, wieder-aufladbar. Batterien sind schon seit Jahrzehnten ein alltäglicher Gebrauchsgegenstand, etwa für Radios, Taschenlampen oder andere Elektrogeräte, die fernab der Steckdose funktionieren sollen. Nun steht die Batterietechnologie vor Herausforderungen in einer völlig anderen Leistungsdimension. Gefordert sind bezahlbare technische Lösungen, die bei einer fluktuierenden Einspeisung erneuerbarer Energien durch das Speichern von Elektrizität den Ausgleich zwischen Energienachfrage und -angebot bewerkstelligen.

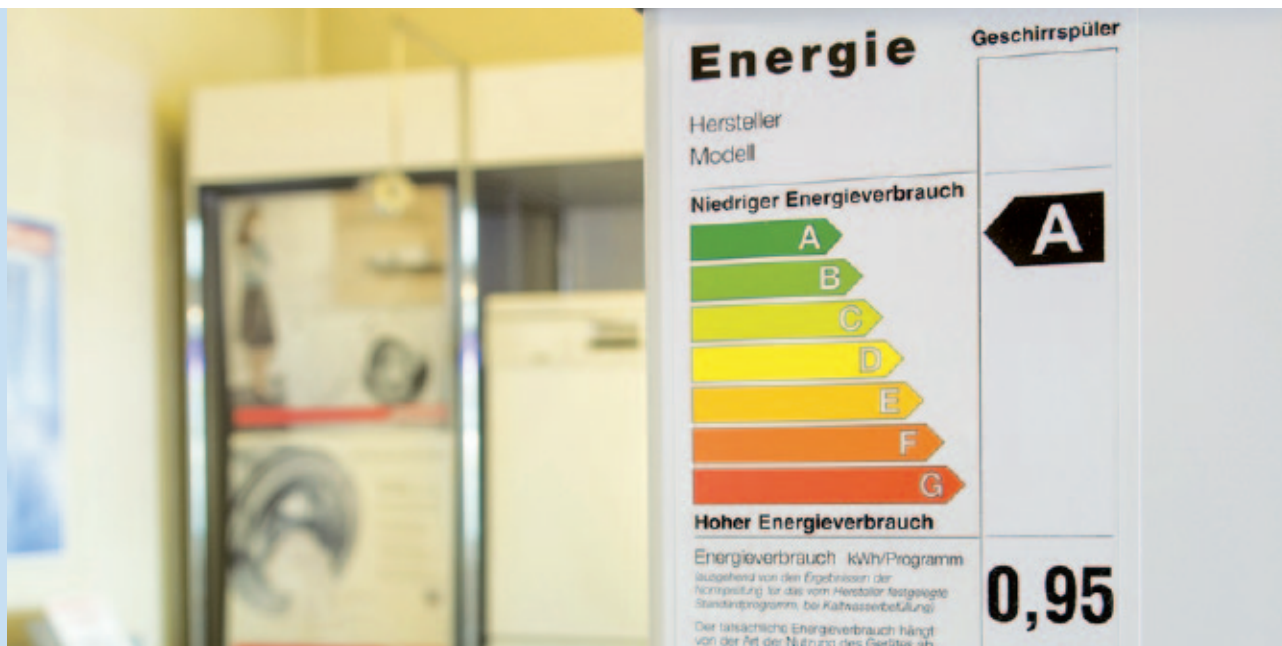
Die meisten der heute verfügbaren Batterietypen kommen für den Einsatz als großer stationärer Speicher nicht infrage.⁷² Jedoch arbeitet ein Konsortium aus drei Fraunhofer-Instituten an der Entwicklung von Redox-Flow-Speichern. Bei **Redox-Flow-Zellen** steckt die Energie in zwei Flüssigkeiten (Elektrolyten), die in großen Tanks gespeichert sind. Je größer die Tanks, desto mehr Energie können Redox-Flow-Batterien aufnehmen – sie lassen sich also relativ einfach für verschiedene Speichergrößen „maßschneidern“. Die beiden Tanks sind durch getrennte Leitungssysteme und Pumpen mit jeweils einer Hälfte einer galvanischen Zelle verbunden. Diese beiden Hälften sind durch eine dünne Membran getrennt, an deren Oberfläche chemische Reaktionen ablaufen: Beim „Beladen“ mit überschüssigem Strom verändern sich die gelösten Salze in den Elektrolyten und nehmen dadurch Energie auf. Beim „Entladen“ läuft die umgekehrte chemische Reaktion ab, wobei die gespeicherte Energie wieder frei wird.

Bei einer Vorführung auf der Hannover-Messe 2011 haben die Forscher der beteiligten Fraunhofer-Institute gezeigt, dass ihr **Redox-Flow-Speicher** funktioniert – allerdings hatte die Demonstrationsanlage nur eine Leistung von zwei Kilowatt. Die Wissenschaftler wollen aus den **Vanadium-Flüssigbatterien** eine Batterieanlage von der Größe eines Handballfeldes konstruieren, die mit einer Kapazität von 20 Megawattstunden rund 2.000 Haushalte versorgen kann, wenn nachts die Stromerzeugung der Photovoltaik-Anlage Pause macht. Bis dahin ist es allerdings noch ein weiter Weg: 2012 soll im Fraunhofer-Redox-Flow-Labor eine Anlage mit 20 Kilowatt den Betrieb aufnehmen. Die Megawatt-Grenze, so die Hoffnung des Forschungsteams, soll in etwa fünf Jahren erreicht werden.⁷³

72 Auf Batterietechnologien, die bei der dezentralen Energieversorgung zum Einsatz kommen, wird detailliert im gleichnamigen Kapitel eingegangen.

73 Vgl. Fraunhofer-Gesellschaft (2011).

Energieeffizienz



In den nächsten Jahrzehnten wird der globale Energiebedarf wachsen. Die **zunehmende Nachfrage nach den (endlichen) fossilen Brennstoffen Erdöl und Erdgas** treibt die Energiepreise nach oben. Gleichzeitig müssen die CO₂-Emissionen sinken, um die globale Erwärmung unterhalb der kritischen Zwei-Grad-Schwelle zu halten. Diese Entwicklungslinien geben die **Anforderungen für die Energieversorgung der Zukunft vor: Nachhaltigkeit, Klimaverträglichkeit und Sicherheit**. Um diese Herausforderung zu meistern, muss die Energiepolitik vor allem zwei Ansätze verfolgen: den **Anteil der erneuerbaren Energien im Energiemix erhöhen** und die **Energieeffizienz steigern**.

Eine Erhöhung der Energieeffizienz bedeutet bei abnehmender Energieintensität (siehe Abbildung 40), dass der Energieverbrauch zurückgeht. Da über 80 Prozent der gesamten Treibhausgasemissionen in Deutschland energiebedingt sind, ist jede eingesparte Kilowattstunde ein Beitrag zum Klimaschutz.¹ Nur durch eine Steigerung der Energieeffizienz wird Deutschland das ambitionierte Klimaziel erreichen, die CO₂-Emissionen bis 2020 um 40 Prozent (gegenüber 1990) zu mindern.

Wie Abbildung 41 zeigt, ist die Energieproduktivität² in den letzten zwei Dekaden kontinuierlich gestiegen. Zwischen 1990 und 2010 hat sich die Energieproduktivität um 38,6 Prozent erhöht.³ Allerdings spiegelt sich diese Effizienzsteigerung kaum in der Entwicklung des Primärenergieverbrauchs wider, der im selben Zeitraum lediglich um 5,7 Prozent zurückgegangen ist.

Angesichts dieses Trends hat die weitere Verbesserung der Energieeffizienz für die Bundesregierung und die Europäische Union einen hohen politischen Stellenwert: Im **Energiekonzept der Bundesregierung ist vorgesehen, die Energieproduktivität bis 2050 um durchschnittlich 2,1 Prozent pro Jahr zu steigern**; der Primärenergieverbrauch soll bis 2020 um ein Fünftel beziehungsweise bis 2050 um die Hälfte gegenüber dem derzeitigen Niveau reduziert werden. Würden in allen Verbrauchssektoren sämtliche Maßnahmen auf dem Stand der Technik zur Verbesserung der Energieeffizienz ausgeschöpft, so ließe sich durch die Einsparung von Endenergie ein CO₂-Ausstoß in Höhe von 110 bis 113 Millionen Tonnen vermeiden.⁴

1 Vgl. Umweltbundesamt (2011f).

2 Energieproduktivität wird definiert als preisbereinigtes Bruttoinlandsprodukt je Einheit Primärenergieverbrauch.

3 Vgl. Statistisches Bundesamt (2011a), S. 4.

4 Vgl. Bundesumweltministerium/Umweltbundesamt (2012), S. 127.

Abbildung 40: Energieintensität in den EU-15-Ländern 1998 und 2008 (in kgoe/1.000 EUR)

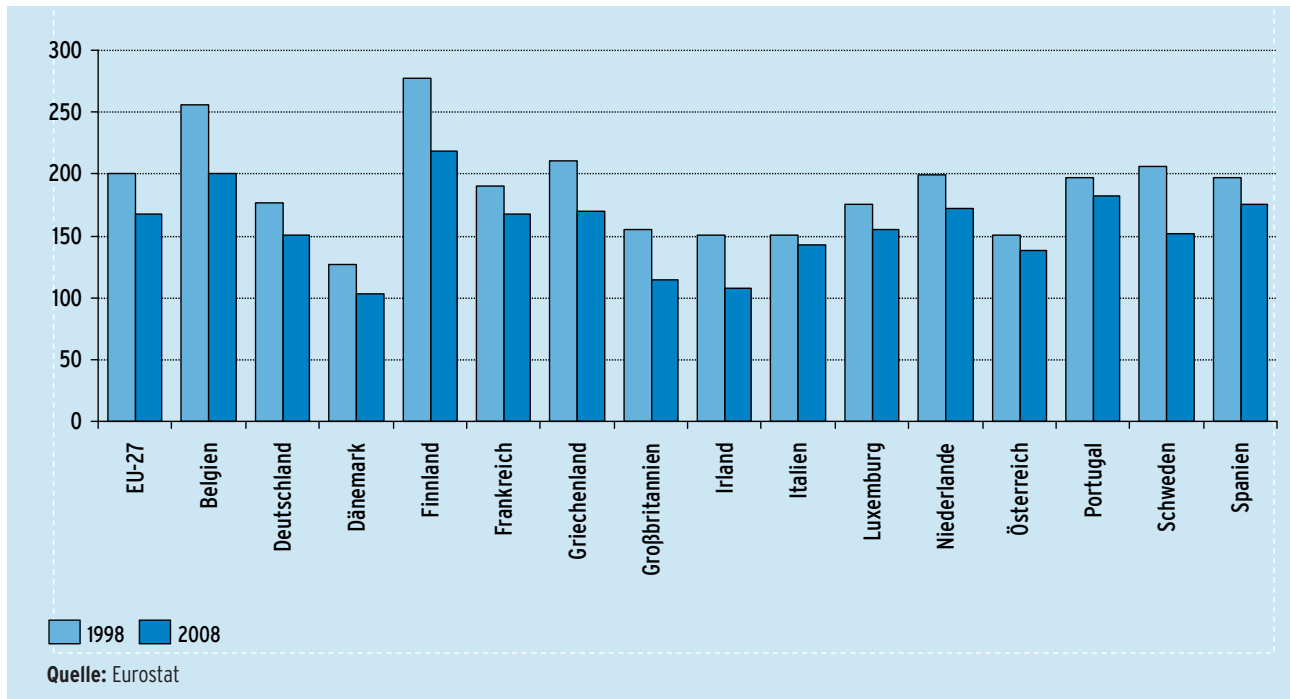
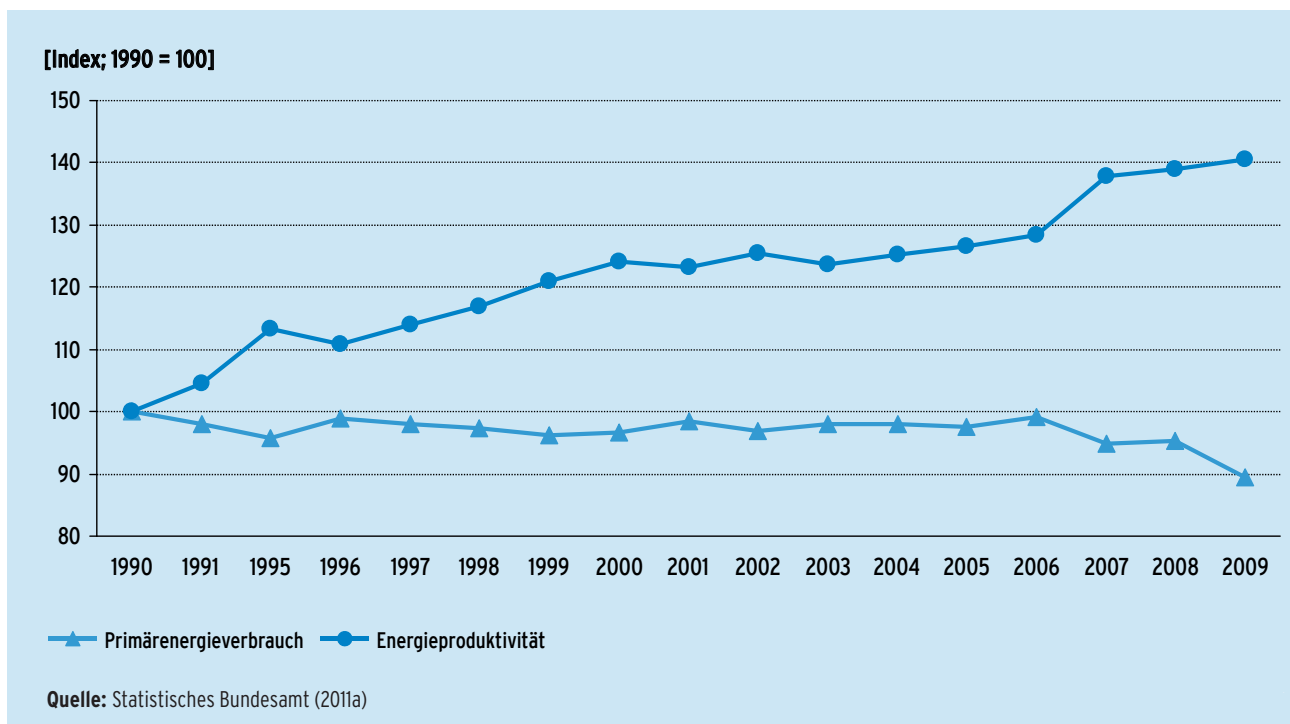


Abbildung 41: Energieproduktivität und Primärenergieverbrauch in Deutschland 1990 bis 2009



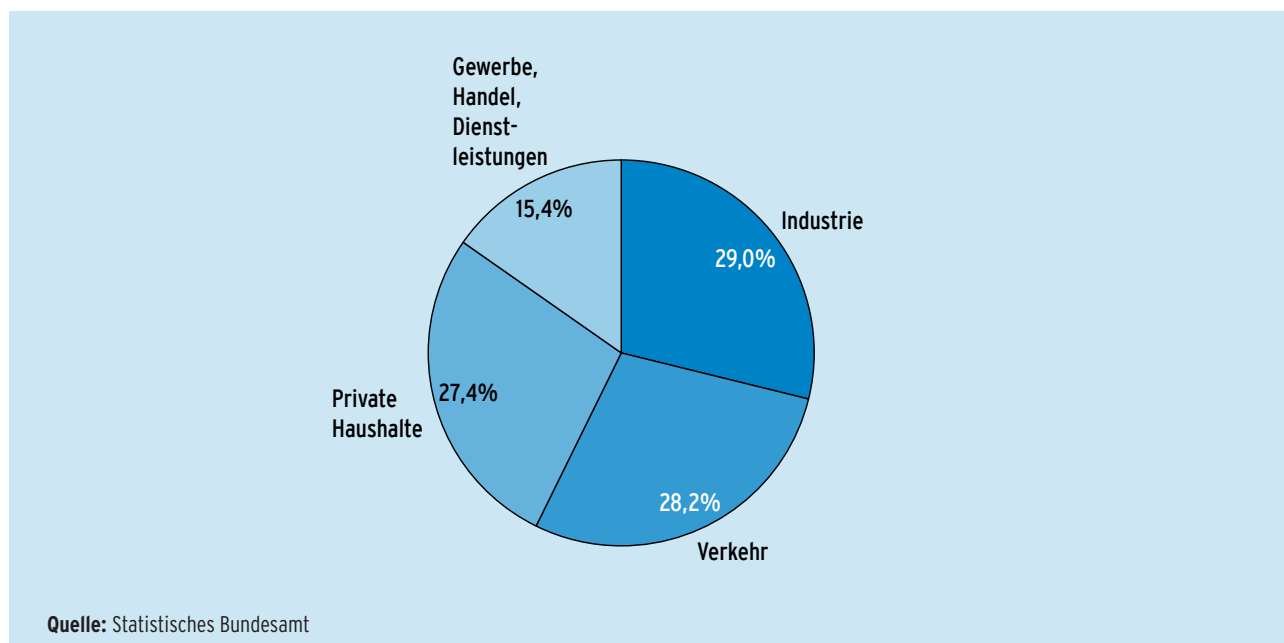
Energie zu sparen liegt nicht nur im Interesse der Umwelt, sondern kommt auch der Volkswirtschaft und ihren Akteuren aus der Wirtschaft sowie den Konsumenten zugute: Bei hohen und aller Wahrscheinlichkeit nach weiterhin steigenden Energiepreisen ist die **Verbesserung der Energieeffizienz notwendig, um die Kosten auf einem wettbewerbsfähigen Niveau zu halten**. Die billigste Energie ist nach wie vor die, die gar nicht erst verbraucht wird. In diesem Leitmarkt werden die Hebel beschrieben, die für eine Steigerung der Energieeffizienz betätigt werden müssen. Die Einteilung der Marktsegmente erfolgt dabei auf der Basis der größten Energie-Verbrauchergruppen in Deutschland (siehe Abbildung 42): Industrie, Verkehr, Private Haushalte sowie Gewerbe, Handel, Dienstleistungen.

Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz im Verkehr werden ausführlich im Leitmarkt Nachhaltige Mobilität dargestellt. Die beiden Verbrauchergruppen ‚Industrie‘ und ‚Gewerbe, Handel, Dienstleistungen‘ rekrutieren sich jeweils aus Unternehmen; auf dieser Grundlage wird für den Leitmarkt Energieeffizienz eine Systematik aus vier Marktsegmenten entwickelt: Die Marktsegmente **Energieeffiziente Produktionsverfahren** und **Querschnittstechnologien für Industrie und Gewerbe** beschreiben ausschließlich Energiesparansätze für die Wirtschaft; das Marktsegment **Energieeffiziente Gebäude** umfasst sowohl die Verbrauchergruppen Unternehmen und private Haushalte. Auch das Marktsegment **Energieeffiziente Geräte** bildet eine Schnittmenge ab, weil hier sowohl Anwendungen für Konsumenten als auch für die betriebliche Nutzung betrachtet werden. Im Marktsegment **Energieeffiziente Produktionsverfahren** liegt der Fokus auf den Kernprozessen

„klassischer“ **Industrien**. Im Mittelpunkt steht die Frage, welche Hebel können Unternehmen bewegen, um durch optimierte Prozesse der Steigerung ihrer Energiekosten entgegenzuwirken. Hier werden schwerpunktmäßig energieeffiziente Produktionsverfahren in stromintensiven Wirtschaftszweigen dargestellt, aber auch Energiespar-Ansätze für Dienstleistungen werden beschrieben.

Wenn Unternehmen einen entschlossenen Energiesparkurs einschlagen, leisten sie nicht nur einen wichtigen Beitrag zum Umwelt- und Klimaschutz, sondern verbessern auch ihre Bilanz. Eine Senkung des Energieverbrauchs entlastet die Kostenseite und dämpft die Auswirkungen der Preissteigerungen für fossile Energieträger. Im Marktsegment Energieeffiziente Produktionsverfahren wird dargestellt, welche Energiesparmaßnahmen die Unternehmen in ihren jeweiligen Kernprozessen der Leistungserstellung ergreifen können. Im Marktsegment **Querschnittstechnologien für Industrie und Gewerbe** wird untersucht, welche **Sparpotenziale in den sogenannten unterstützenden Prozessen** liegen. Dazu gehören jene branchenübergreifenden Querschnittstechnologien wie elektrische Antriebe, Druckluft, Pumpen, Wärme, Kältebereitstellung etc., die zur Erstellung eines Endprodukts benötigt werden – und somit den eigentlichen Kernprozess eines Unternehmens erst ermöglichen. Diese unterstützenden Prozesse, auch als Subsysteme der Produktion bezeichnet, spielen eine Schlüsselrolle bei der Erhöhung der Energieeffizienz: Auf Querschnittstechnologien zur Bereitstellung von Strom und Wärme entfallen 65 Prozent des gesamten Endenergieverbrauchs der Industrie in Deutschland. Nach einer Untersuchung des Fraunhofer ISI lassen

Abbildung 42: Endenergieverbrauch nach Verbrauchergruppen



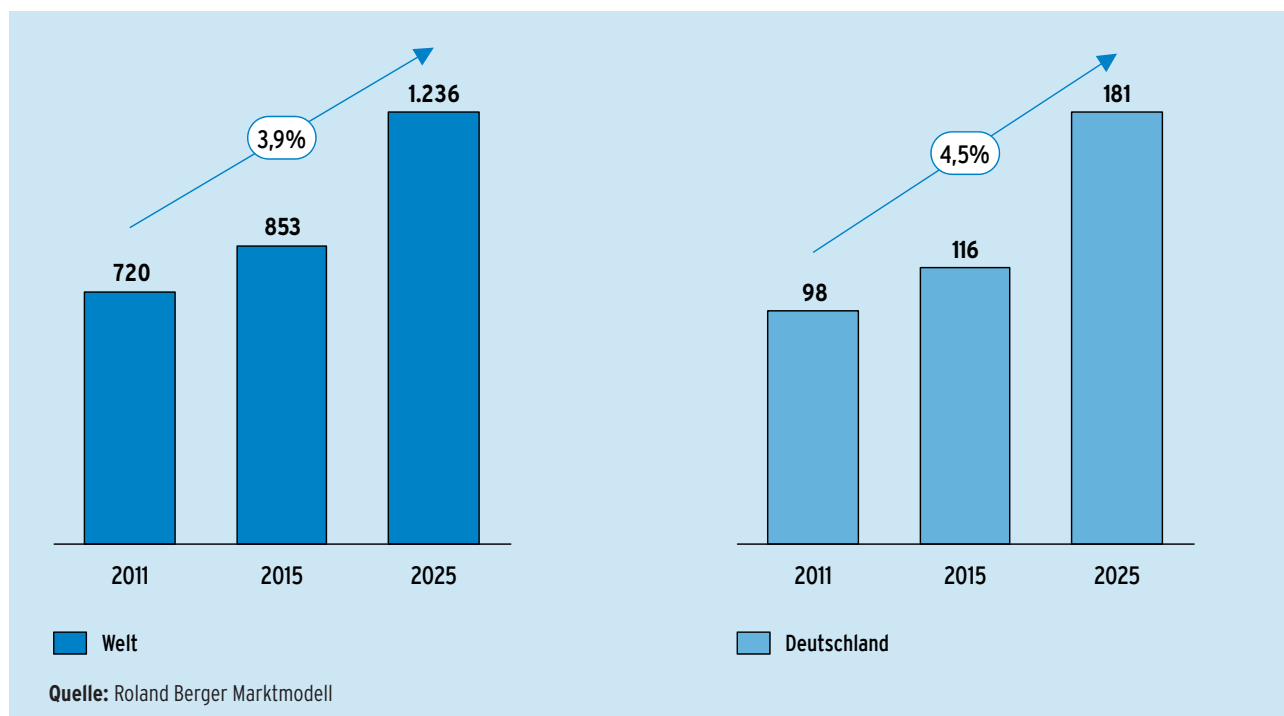
sich durch Effizienzmaßnahmen in diesen Querschnittstechnologien bis 2020 Stromersparungen in Höhe von rund 150 PJ erzielen.⁵

Die Darstellung des Marktsegments **Energieeffizienz von Gebäuden** räumt mit dem Missverständnis auf, dass es beim Stichwort ‚Energieeffizienz‘ in erster Linie um das Stromsparen geht: In Deutschland hat die Heizwärme einen Anteil von 38 Prozent am Endenergieverbrauch. Heizung und Warmwasserbereitung machen über 80 Prozent des Energieverbrauchs der privaten Haushalte aus. Gebäude beziehungsweise deren Nutzung verbrauchen rund 40 Prozent der gesamten Endenergie und zeichnen für ein Drittel des CO₂-Ausstoßes in Deutschland verantwortlich. Diese Relationen unterstreichen den **Stellenwert von Energieeinsparungen im Gebäudesektor** als Hebel zur Verwirklichung der Energiewende: Die Energiebilanz von Gebäuden, insbesondere von Bestandsimmobilien, muss sich deutlich verbessern, wenn Deutschland seine gesetzten Ziele zur Minderung der CO₂-Emissionen und Steigerung der Energieeffizienz erreichen will.

Im Marktsegment **Energieeffizienz von Geräten** werden die **Energiesparmöglichkeiten für Unternehmen und Konsumenten bei der Nutzung von elektrischen Geräten aufgezeigt**. Während der Bereich **Informations- und Kommunikationstechnik** („Green IT“) beide Verbrauchergruppen betrifft, spricht das Thema **Haushaltsgeräte** vor allem Effizienztechnik für die private Nutzung an. Nach Studien der EU kann der Durchschnittshaushalt jedes Jahr zwischen 200 und 1.000 Euro sparen, wenn in den eigenen vier Wänden sämtliche Register energieeffizienter Maßnahmen gezogen werden.

Vor dem Hintergrund des global wachsenden Energiebedarfs und der sich abzeichnenden Preissteigerungen im Energiesektor wird der Leitmarkt Energieeffizienz bis 2025 in Deutschland jahresdurchschnittlich um 4,5 Prozent zulegen, weltweit wird das durchschnittliche jährliche Wachstum bei 3,9 Prozent liegen (siehe Abbildung 43).

Abbildung 43: Marktprognose Energieeffizienz 2011, 2015 und 2025 (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)



5 Vgl. Pehnt, M. et al. (2009), S. 13.

Marktsegment Energieeffiziente Produktionsverfahren

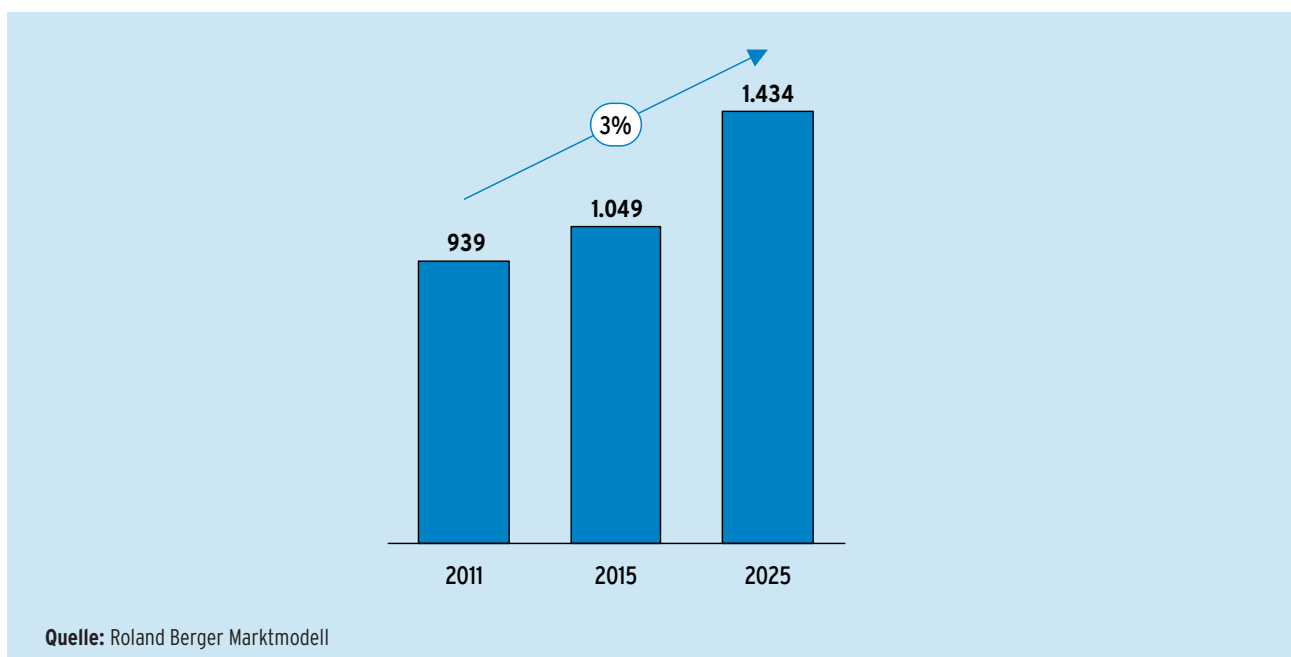
Dieses Marktsegment befasst sich mit der Energieeffizienz in den Kernprozessen der Güterproduktion und bei der Erstellung von Dienstleistungen. Dabei wird der Schwerpunkt auf energiesparende Fertigungsverfahren in vier stromintensiven Industrien gelegt: Papier- und Pappeherstellung, Metallherzeugung, Verarbeitung von Erden und Steinen sowie Grundstoffchemie. Die Stromkosten in diesen Branchen beliefen sich 2010 zusammengenommen auf 5,8 Milliarden Euro.⁶ Die Energiegesamtkosten haben in diesen Industrien jeweils einen erheblichen Anteil am Bruttoproduktionswert (Grundstoffchemie: drei Prozent; Papier- und Pappeherstellung 5,7 Prozent; Metallherzeugende Industrie: 5,5 Prozent; Verarbeitung von Erden und Steinen: sechs Prozent). Vor dem Hintergrund, dass der Automatisierungsgrad in diesen Industriezweigen tendenziell zunehmen wird, ist ein weiterer Anstieg des Stromverbrauchs zu erwarten. Hinzu kommt, dass in den nächsten Jahren mit steigenden Strompreisen zu rechnen ist.

Um den negativen Auswirkungen steigender Energiekosten gegenzusteuern, sind die Unternehmen dieser vier stromintensiven Industrien gezwungen, die Energieeffizienz in ihren Kernprozessen mit Nachdruck voranzutreiben.

Die hohe Energieintensität des Herstellungsprozesses von Papier und Pappe deutet auf große Spielräume für eine energetische Optimierung hin. Das Energieeinsparpotenzial liegt hier insbesondere bei effizienten Verfahren zur Rohstoffverarbeitung, optimierten Prozessen bei der Stoffaufbereitung (zum Beispiel Kochen und Entfärben) oder auch bei verbesserten Systemsteuerungen. Das erste Glied in der Produktionskette von Papier ist die Verarbeitung des Rohstoffs Holz. So wird im Zuge der Halbstoffherzeugung das Holz erst entrindet und zerkleinert. Speziell die Zerkleinerung benötigt große Mengen elektrischer Energie. Die Substitution der Holzstoffherzeugung durch die Verwendung von Altpapier trägt allerdings zur Reduzierung des Energiebedarfs bei. Durch eine Verbesserung des Mahlprozesses bei der Stoffaufbereitung ist eine Stromeinsparung von zehn Prozent möglich.⁷

Bei der sogenannten Trockenpartie, dem letzten Schritt der Papierproduktion, wird die meiste Energie verbraucht. Hier wird durch Wärmezufuhr das Wasser verdampft, das sich im Papier befindet. Wie effektiv dieser Prozess ist, zeigt die Verdampfungsziffer; sie gibt die Differenz der Papierfeuchte vor und nach der Trocknung an. Während das Papier bei Eintritt

Abbildung 44: Marktprognose Energieeffiziente Produktionsverfahren 2011, 2015 und 2025 in Deutschland (in Millionen Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)



⁶ Vgl. Roland Berger Strategy Consultants (2011).

⁷ Vgl. Oberschmidt, J. et al. (2007), S. 145.

etwa 40 bis 50 Prozent Feuchtigkeit enthält, liegen die Werte nach der Trocknung bei etwa zwei bis acht Prozent. Diese enorme Differenz kann durch eine Veränderung in dem der Trockenpartie vorgelagerten Prozessschritt reduziert werden: In der sogenannten Pressenpartie können neue Aggregate, beispielsweise Schuhpressen, eingesetzt werden. Diese Art von Presse arbeitet mit höherem Druck und breiteren Pressnips (Walzenspalt). Gelingt es, den Trockengehalt in der Pressenpartie um ein Prozent zu erhöhen, lässt sich der Energieverbrauch während der Trockenpartie um bis zu fünf Prozent senken.⁸ Insgesamt liegt das Effizienzsteigerungspotenzial bei der Papier- und Pappeherstellung bis 2020 bei 16 Prozent. Bis 2030 erhöht sich diese Zahl auf 31 Prozent. Derzeit liegt in dieser Branche der Durchdringungsgrad mit modernen Effizienztechnologien bei circa 52 Prozent.⁹

Bei der **metallerzeugenden Industrie** kann mithilfe effizienter Gießmaschinen sowie Erwärmungs- und Warmhaltenanlagen bis 2050 eine Effizienzsteigerung von bis zu 37 Prozent erzielt werden. Ähnlich wie bei der Papier- und Pappeherstellung liegt auch hier der Durchdringungsgrad mit aktuellen Effizienztechnologien bei rund 50 Prozent.¹⁰

Beim **Warmwalzen von Metallen** entsteht auf deren Oberfläche eine Zunderschicht, die anschließend abgebeizt werden muss. Auf dieser Bearbeitungsstufe entstehen erhebliche Belastungen für das Abwasser. Inzwischen gibt es eine Anlage im großtechnischen Maßstab, die die vier Schritte Warmwalzen, Entzundern, Richten und Beizen innerhalb eines integrierten Prozesses ermöglicht. Dadurch wird die Zunderbildung um bis zu 90 Prozent verringert, was sowohl die Dauer des Abbeizvorgangs als auch die Menge der dafür erforderlichen Beize reduziert.¹¹

Weniger Energieverbrauch und damit weniger Emissionen ist der Vorteil des Corex-/Finex-Verfahrens, das Siemens zur **Roheisenherstellung** entwickelt hat: Während bei der konventionellen Hochofenroute Koks und Eisensinter benötigt werden, erzeugt das Corex-Verfahren flüssiges Roheisen direkt aus Kohle, Stückerz oder Pellets. Auf diese Weise entfallen mit der Kokerei und der Sinteranlage zwei energieintensive Prozessschritte.¹²

Weniger die Verfahrens- sondern eher die Konstruktionsoptimierung bei eingesetzten Maschinen ist bei der **Grundstoffchemie** verantwortlich für ein Effi-

izienzsteigerungspotenzial von 37 Prozent bis 2050. So versprechen beispielweise optimierte Extraktionsanlagen ein Potenzial von rund zehn Prozent in den nächsten zehn Jahren. Im Vergleich zu anderen Industrien ist der Einsatz aktueller Effizienztechnologien mit 70 Prozent vergleichsweise hoch.¹³

Weiterhin können mittlerweile auch **neue Verfahrenstechniken** den CO₂-Ausstoß in der Grundstoffchemie reduzieren. 70 Prozent aller Chemieprodukte weltweit werden mit Chlor oder Natronlauge produziert. Die Produktion dieser Substanzen erfolgt durch Elektrolyse aus Natriumchlorid, wofür hohe Mengen an elektrischer Energie benötigt werden. Zukünftig sollen diese Stoffe mithilfe einer neuen Verfahrenstechnik – der Membranelektrolyse – jedoch energieeffizienter und somit emissionsärmer produziert werden. Der Energiebedarf kann dabei um rund ein Drittel gesenkt werden.¹⁴

Wie eingangs angekündigt, befasst sich dieses Marktsegment Energieeffiziente Produktionsverfahren nicht ausschließlich mit der Verbesserung der Energieeffizienz in den Kernprozessen der Güterherstellung; auch **Möglichkeiten zur Energieeinsparung bei der Leistungserstellung im Dienstleistungssektor** werden hier skizziert. Immerhin entfällt auf „Gewerbe, Handel, Dienstleistungen“ ein Anteil von rund 15 Prozent am gesamten Endenergieverbrauch in Deutschland. Deshalb dürfen die Potenziale zur Energieeinsparung in dieser Verbrauchergruppe keinesfalls vernachlässigt werden. Im Folgenden werden exemplarisch **zwei**, miteinander eng verzahnte, **Branchen herausgegriffen: Logistik und Handel**.

Die Logistik hält einen Anteil von 14 Prozent am weltweiten CO₂-Ausstoß. Hinzu kommen weitere Umweltbelastungen, die mit der Verteilung von Gütern verbunden sind, etwa Feinstaubemissionen, Lärm oder Flächenverbrauch. Die Logistik lässt sich in die vier Bereiche Transport, Intralogistik, Logistikimmobilien sowie Planung und Strategie unterteilen. Davon entfällt ein Großteil (75 Prozent) des Energieverbrauchs – und damit auch der Treibhausgasemissionen – auf den Transport. In diesem Sektor liegen demnach entscheidende Stellschrauben, um die Logistikketten umweltschonender zu gestalten. Dazu gehören Routenoptimierung, energieeffiziente Fahrzeugflotten, Umstieg auf umweltfreundliche Verkehrsträger sowie Fahrerschulungen. Nur wenn diese Maßnahmen ausgeschöpft werden, kann es gelingen, das absehba-

8 Vgl. Arbeitsgemeinschaft Branchenenergiekonzept Papier (2009), S. 49.

9 Vgl. Roland Berger Strategy Consultants (2011).

10 Vgl. ebenda.

11 Vgl. EnergieAgentur.NRW (2009)

12 Vgl. o.V. (2010a).

13 Vgl. Roland Berger Strategy Consultants (2011).

14 Vgl. Institut der deutschen Wirtschaft Köln e.V. (2011).

re Wachstum des Güterverkehrsaufkommens und die Zunahme der CO₂-Emissionen zu entkoppeln. Während in den letzten zwei Jahrzehnten in Deutschland der Treibhausgasausstoß in anderen Sektoren zurückgegangen ist, sind die CO₂-Emissionen im Güterverkehrssektor auf 44 Millionen Tonnen angestiegen. Da das Güterverkehrsaufkommen bis 2025 voraussichtlich um 28 Prozent (gegenüber 2004) zunehmen wird, würde ein Business-as-usual-Szenario mit einem deutlichen Anstieg der durch Logistik bedingten CO₂-Emissionen einhergehen.¹⁵

Um dieser Entwicklung gegenzusteuern, haben bereits einige Unternehmen in Deutschland ihre Logistikketten unter den Aspekten Energieverbrauch und CO₂-Emissionen auf den Prüfstand gestellt und entsprechende Maßnahmen in die Wege geleitet. Ein Beispiel dafür liefert die Deutsche Post DHL, deren CO₂-Ausstoß sich 2009 auf 24,1 Millionen Tonnen belief.¹⁶ Der Logistikkonzern hat sich das Ziel gesetzt, seine CO₂-Emissionen im Zeitraum 2007 bis 2012 um zehn Prozent zu senken. Bis 2030 wird eine Reduktion um 30 Prozent angestrebt. Bei der Verkleinerung ihres CO₂-Fußabdrucks setzt die Deutsche Post DHL vor allem auf die Handlungsfelder Netzwerke, Flotten und Gebäude.

Die hohe Komplexität der DHL Netzwerke bietet ein großes Potenzial, um den Kraftstoffverbrauch zu senken. So sollen intelligente Routenplanungen, intermodale Transportkonzepte sowie Modelle zur effizienteren Kapazitätsauslastung doppelte Wege verhindern und bestehende Routen besser ausnutzen.

Die von DHL entwickelten „SmartTrucks“ erzielten bereits einen enormen Erfolg: Mithilfe eines innovativen Kommunikations- und Informationssystems wurden bei Abholung und Zustellung von Expresssendungen in Berlin 15 Prozent der Strecke reduziert.

Auch die Flotten der Deutschen Post DLH sind ein wichtiger Hebel zur Verbesserung der CO₂-Bilanz. So wurde nicht nur in neue Flotten investiert, es werden auch immer mehr Fahrzeuge mit alternativen Antrieben beziehungsweise alternativen Kraftstoffen eingesetzt. Allein zwischen 2008 und 2010 ist die Anzahl der Fahrzeuge mit alternativen Antrieben von 544 auf 1.121 gestiegen. Zudem wurden Fahrertrainings durchgeführt, um das Umweltbewusstsein der Mitarbeiter zu schärfen; so wurden im Jahr 2010 4,8 Millionen Liter Diesel weniger verbraucht als 2008.

Mehr als 35 Millionen Transporte ausgehend von über 20 Lagerstätten stellen auch beim Handelsunternehmen REWE die energieeffiziente Logistik in den Mittelpunkt. Ebenso wie die Deutsche Post DHL setzt REWE auf Wegeoptimierung. **Computergestützte Routenplanung** stellt sicher, dass Lkws zwischen den Lagern und den Supermärkten mindestens zu 90 Prozent beladen sind. Eine Steuerung der Warenströme zwischen Herstellern und Handel soll die Anzahl der Leerfahrten verringern und auf diese Weise unnötige CO₂-Emissionen vermeiden. Außerdem sollen die **Erneuerung und Modernisierung der Fahrzeugflotte** in Kombination mit Schulungen zum spritarmen Fahren den Kraftstoffverbrauch senken.¹⁷

Marktsegment Querschnittstechnologien für Industrie und Gewerbe

Im Marktsegment **Querschnittstechnologien für Industrie und Gewerbe** zeigt sich besonders deutlich, dass energieeffiziente Technologien und Verfahren in jedem Wirtschaftszweig gefragt sind. Damit betont die Energieeffizienz den Querschnittscharakter der Umwelttechnik. Für das Verständnis dieses Marktsegments ist es entscheidend, den engen Rahmen eines produktorientierten Verständnisses zu erweitern: Eine Steigerung der Energieeffizienz lässt sich nicht nur durch **Produktinnovationen** erreichen; auch die **Veränderung von Produktionsprozessen beziehungsweise deren Einzelkomponenten**, etwa auf Basis eines Energie-Checks, haben oft erhebliche Spareffekte. Die Summe aus den Modulen Beratung,

Verbesserung von Komponenten und Prozessen führt zu einer Optimierung des Gesamtsystems in der Produktion.

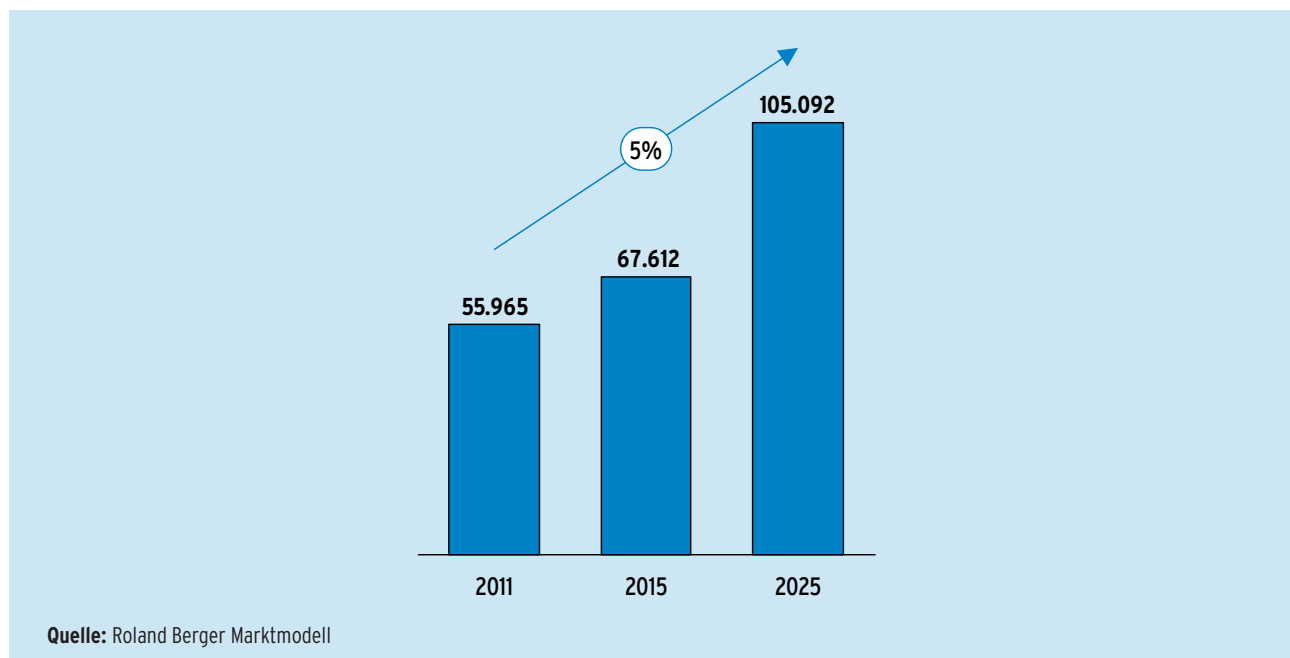
Elektrische Antriebe, Druckluft- und Pumpensysteme, Prozesswärme sowie Heizung, Kälte und Klimatisierung werden in vielen verschiedenen Branchen von Industrie und Gewerbe eingesetzt. Diese **unterstützenden Prozesse für die Güterproduktion** bergen **erhebliches Potenzial zur Steigerung der Energieeffizienz**. Ein Beispiel: Allein die elektrischen Antriebe, etwa für Maschinen, Kompressoren oder Pumpen, schlucken mehr als zwei Drittel des Strombedarfs der deutschen Industrie. Der konsequente Einsatz von

15 Vgl. Initiative „2° - Deutsche Unternehmer für Klimaschutz“ (Hrsg.) (2011), S. 8.

16 Dieser Wert bezieht sich auf die Geschäftsaktivitäten der Deutschen Post DHL und enthält die CO₂-Emissionen der Subunternehmer.

17 Vgl. Rewe Group (2011).

Abbildung 45: Marktprognose Querschnittstechnologien für Industrie und Gewerbe 2011, 2015 und 2025 in Deutschland (in Millionen Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)



Drehzahlregelungen würde den Verbrauch um 15 Prozent beziehungsweise 4.000 Megawatt reduzieren; das entspräche der Leistung von drei bis vier Großkraftwerken.

Als technologischer Enabler im Leitmarkt Energieeffizienz spielt die Mess-, Steuer- und Regeltechnik (MSR) eine Schlüsselrolle. Nach der Devise „You can't manage what you can't measure“ schafft sie durch die Erfassung relevanter physikalischer Größen wie Temperatur, Druck, elektrische Spannung etc. die Voraussetzung für Energiespar-Maßnahmen: MSR ermöglicht durch die Entwicklung und die Herstellung verschiedener Geräte und Systeme das Messen, Steuern und Regeln verschiedener Größen und Prozesse. Zu den Erzeugnissen der MSR gehören thermische, optische, mechanische oder biochemische Sensoren, deren exakte Messungen das Fundament für viele Anwendungen der Umweltechnik legen. Eng verknüpft mit der Mess-, Steuer- und Regeltechnik ist die **Prozessleittechnik**. Als übergeordnete Steuerungsautomatik kontrolliert sie die Prozessschritte in der Fertigung mit Sensoren und steuert die Fertigung. Die Prozessleittechnik verhält sich zur MSR wie die Software zu Hardware.

Die Geräte und Systeme der MSR sorgen dafür, dass Produktionsanlagen unterschiedlicher Branchen, beispielsweise Chemieindustrie, Pharmazie oder auch Kraftwerksanlagen, effizienter arbeiten. Würde in Deutschland MSR auf dem Stand der Technik konsequent eingesetzt, könnte dadurch ein Energieeinsparpotenzial von bis zu 25 Prozent realisiert werden. So kann eine optimierte Automatisierungstechnik vor

allem im produzierenden Gewerbe den CO₂-Ausstoß erheblich reduzieren.

Die positiven Effekte des MSR-Einsatzes auf dem Stand der Technik würden beispielsweise bei der energie- und emissionsintensiven Zementherstellung eine erhebliche CO₂-Reduktion ermöglichen: Die getrockneten und zermahlene Rohstoffe der **Zementherstellung** (Kalkstein, Ton, Sand und Eisenerz) werden in Drehrohröfen bei 1.450 Grad Celsius zu Klinker gebrannt. Um diesen Prozessschritt so effizient wie möglich zu gestalten (modellbasierte Online-Optimierung), sind exakte Messungen des Sauerstoffs, Kohlenmonoxids, Kohlendioxids, Stickstoffmonoxids und Schwefeldioxids erforderlich. Auf Basis einer kontinuierlichen Analyse des Gehalts dieser Elemente werden Sollwerte für den Drehrohröfen ermittelt, um bei Sicherstellung einer hohen Produktqualität die chemischen Reaktionen mit minimalem Energieeinsatz ablaufen zu lassen. Bereits über 200 Drehrohröfen weltweit arbeiten mit diesem Verfahren, was zu einer CO₂-Minderung in Höhe von 20 Millionen Tonnen pro Jahr geführt hat.

Ein weiterer Bereich für den Einsatz der Mess-, Steuer- und Regeltechnik als Querschnittstechnologie ist das **Aufspüren von Leckagen in Leitungssystemen**: So können hochsensible thermische Durchflusssensoren (Messbereichsdynamik bis 1 : 1.000) dabei helfen, Leckagen frühzeitig zu identifizieren. Auch akustische Sensoren sind in der Lage, Leckagen in Ventilen, Pumpen und Kompressoren zu identifizieren, indem die „hellhörigen“ Messinstrumente die Geräusche von ausströmenden Gasen oder Flüssigkeiten analysieren.

Elektrische Antriebe

Im Bereich Industrie und Gewerbe sind elektrische Antriebe für rund 70 Prozent des Stromverbrauchs verantwortlich. Mehr als **90 Prozent der Gesamtkosten eines Elektromotors entfallen auf den Stromverbrauch**. Laut Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (ZVEI) könnten in Deutschland generell rund 5,5 Milliarden Euro durch effizientere Elektromotoren eingespart werden. Laut Umweltbundesamt führt die Umrüstung auf effizientere elektrische Antriebe zu einer Reduzierung des Stromverbrauchs um rund 27 Milliarden Kilowattstunden, was einer CO₂-Reduktion von circa 16 Millionen Tonnen entspricht.

Drehzahlregelungen könnten hierzu einen erheblichen Beitrag leisten. Wenn nur 35 Prozent der in Deutschland eingesetzten Elektromotoren mit einer Drehzahlsteuerung ausgestattet wären, ließen sich Einsparungen in Höhe von 1,2 Milliarden Euro erzielen.¹⁸

Um den **Wirkungsgrad von Elektromotoren** – definiert als Verhältnis der mechanischen Ausgangsleistung zu elektrischer Eingangsleistung – zu erhöhen, gibt es verschiedene Ansatzpunkte. Dazu gehören die Minimierung der Verluste in den Wicklungen (vergrößerter Leiterquerschnitt; verbesserte Wickeltechnik), Optimierung der Luftführung, Verwendung von Dynamoblech mit verbesserten magnetischen Eigenschaften sowie verringerte Fertigungstoleranzen.¹⁹

Weitere Ansätze zielen auf die Einrichtung von Frequenzumrichtern für Synchron- und Asynchronmaschinen und eine genaue Abstimmung der Komponenten untereinander. Letzteres fördert neben der Qualität sogar die optimale Auslastung einer Maschine.

Oft geht Energie verloren, weil die Dimensionierung nicht der tatsächlichen Notwendigkeit entspricht. Antriebe sind nicht an den eigentlichen Leistungsbedarf angepasst. Häufig wird auch vergessen, dass Antriebsmotoren bei geringer Produktionsauslastung mit einer niedrigeren Leistung betrieben werden können. Falls der Bedarf schwankt, helfen **intelligente Steuerungssysteme**, diesen Prozess zu optimieren, um keine Energie zu verschwenden.

Generell werden elektrische Antriebe in Effizienzklassen je nach Wirkungsgrad und Stromverbrauch unterteilt. Die standardisierten, weltweit angewandten IE-Codes, die 2010 die EFF-Klassifizierungen

abgelöst haben, umfassen fast alle Drehstrommotoren mit einer Leistung von 0,75 bis 375 Kilowatt. Es wird dabei unterschieden zwischen IE1 (Wirkungsgrad „Standard“) aufsteigend bis IE4 (Wirkungsgrad „Super Premium“). Während effiziente elektrische Antriebe der Klasse IE3 – auch genannt Hocheffizienzmotoren – bereits 16 Prozent des US-amerikanischen Marktes ausmachen, hinken Deutschland und Europa mit einem Marktanteil von gerade einmal einem knappen Prozent noch stark hinterher.²⁰

Vom Einsatz von hocheffizienten Elektromotoren profitiert nicht nur die Umwelt, sondern auch die Bilanz der Unternehmen: Die Anschaffung würde sich bei einer jährlichen Betriebszeit von 3.000 Stunden bereits nach zwei Jahren rechnen.

Druckluftsysteme

In Deutschland sind nach Angaben der Deutschen Energie-Agentur (dena) in Industrie- und Gewerbebetrieben rund 62.000 Druckluft-Anlagen in Betrieb; sie verbrauchen pro Jahr rund 14 Milliarden Kilowattstunden Strom.²¹ **Druckluft gilt als einer der teuersten Energieträger:** Luft muss durch Verdichter (Kompressoren) auf einen höheren Druck gebracht werden; dieser Prozess erfordert einen hohen Energieaufwand, nicht zuletzt deshalb, weil die dabei entstehende Wärmeenergie ungenutzt verloren geht. Druckluft ist für viele Unternehmen ein unverzichtbarer Helfer im Produktionsprozess; sie brauchen Pressluft als Transportmedium, für pneumatische Anwendungen oder als Prozessluft.

Aufgrund des hohen Energieaufwands bei der Herstellung ist der **Drucklufteinsatz** ein Feld, das Unternehmen **große Potenziale zur Energieeinsparung** bietet. Durch eine Verbesserung des Gesamtwirkungsgrades von Druckluftanlagen lassen sich die Energiekosten im Idealfall halbieren. Allerdings wird dieses Potenzial nur selten ausgeschöpft: Häufig werden nur Wirkungsgrade von etwa fünf Prozent erzielt, obwohl theoretisch schon 50 Prozent machbar sind.²²

Die größten Erfolge bei der Realisierung des Energieeinsparpotenzials lassen sich allerdings nur durch eine **Optimierung des Gesamtdruckluftsystems** erzielen – von der Erzeugung über die Aufbereitung und Verteilung bis zur Anwendung. Zu einer solchen Optimierung gehört unter anderem der Einbau von Hochwirkungsgrad-Motoren, die Behebung von Leckagen (zum Beispiel durch Ultraschall-Messgeräte), die Verbesserung der Luftbehandlung (etwa durch unterschiedliche Trocknungsmethoden, die nach der

18 Vgl. Bundesumweltministerium (2009a), S. 8.

19 Vgl. Deutsche Energie-Agentur (Hrsg.) (2010a).

20 Vgl. ebenda.

21 Vgl. Deutsche Energie-Agentur (2011a).

22 Vgl. Koll, S. (2011).

Kompression durchgeführt werden sollten) und eine verbesserte Luftführung zur Reibungsminimierung. Ebenso schlummern ungenutzte Optimierungspotenziale in der Dimensionierung des Kompressors. Nicht nur Kompressoren mit Elektromotoren mit hohen Wirkungsgraden können helfen, die Effizienz von Druckluftanlagen zu steigern, sondern auch Systeme, die die Übertragungsverluste durch eine verbesserte Synchronisierung der Drehzahl von Antriebsmotor und Kompressorblock vermindern. Ein weiterer, wesentlicher Ansatzpunkt, um die Effizienz von Druckluftanlagen zu erhöhen, ist die computerbasierte Steuerung durch Druckluftleittechnik.

Ein Beispiel für die mittels Druckluftoptimierung erzielbaren Energieeinsparungen ist das Hamburger Werk der Greif Germany GmbH. Dieser Standort des international agierenden Anbieters von Industrieverpackungen produziert Stahlfässer und ist dabei auf Druckluft angewiesen. Um diese effizienter bereitzustellen, tauschte Greif zwei Komponenten der Anlage durch einen drehzahlgeregelten Schraubenkompressor und einen hocheffizienten Kältetrockner aus. Ein Grundlastkompressor mit 55 Kilowatt ersetzt nun den Grundlastkompressor mit 75 Kilowatt. Der „Neue“ kann durch einen Wärmetauscher die Abwärme für die Heizung und die Bereitung von Brauchwasser nutzen. In Summe belaufen sich die Energieeinsparungen durch diese Maßnahmen auf 126.000 Kilowattstunden Strom pro Jahr; der Heizölverbrauch ist um 8.400 Liter zurückgegangen.²³

Pumpensysteme

Im Rahmen ihres Projekts „Leuchttürme energieeffizienter Pumpensysteme in Industrie und Gewerbe“ hat die dena gezeigt, welche Sparschätze Unternehmen durch die **Optimierung ihrer Pumpensysteme** heben können: Einsparungen in einer Spanne zwischen 18 und 90 Prozent haben sich als machbar erwiesen.²⁴ So wurde beim Stahlhersteller ArcelorMittal in Bremen der Stromverbrauch pro Jahr durch die Verbesserung eines einzelnen Pumpensystems um 2,5 Millionen Kilowattstunden gesenkt. Bei der Neuen Torgauer Brauhaus GmbH, ebenfalls Teilnehmer des Leuchtturm-Projekts, ging der jährliche Stromverbrauch der Pumpensysteme um 73 Prozent (55.400 Kilowattstunden) zurück.

Für die energetische Optimierung von Pumpensystemen sind vier Ansatzpunkte wichtig: Grundsätzlich muss das Gesamtsystem aus Pumpe und Anlage(n) betrachtet werden, nicht nur die Pumpe und ihre Komponenten. Analysiert werden müssen die Rohrlei-

tungen, deren Länge und Form den Stromverbrauch beeinflussen. Entscheidend ist, dass der richtige Pumpentyp und die angemessene Dimensionierung gewählt werden. Kommen überdimensionierte Pumpen zum Einsatz, sind erhebliche Einbußen beim Gesamtwirkungsgrad die Folge. Ein wichtiger Bestandteil eines sparsamen Pumpensystems sind energieeffiziente Motoren. Eine wesentliche Rolle spielen auch Regelung und Steuerung von Pumpen: In vielen Fällen schwanken die Mengen, die eine Pumpe fördern muss. Läuft sie aber stets auf vollen Touren, wird Strom verschwendet. Eine Drehzahlregelung vermeidet diesen Effekt und sorgt dafür, dass die Leistung der Pumpe dem jeweiligen Bedarf angepasst wird. So kann der Stromverbrauch von Pumpensystemen nach Angaben der dena im Durchschnitt um 30 Prozent gesenkt werden.

Beleuchtung

Die Beleuchtung nimmt in Industrie und Gewerbe einen Anteil von etwa fünf Prozent an der Stromrechnung ein. Ein Großteil der Beleuchtungskosten – in manchen Fällen bis zu 75 Prozent – kann eingespart werden, wenn alte Lampensysteme ausgemustert und durch **zeitgemäße Beleuchtungskonzepte** ersetzt werden. Dazu gehören zum Beispiel tageslichtgesteuerte Leuchten. Bewegungsmelder und Zeitschaltuhren sorgen dafür, dass in wenig genutzten Gebäudeteilen das Licht wirklich nur bei Bedarf brennt.

Ein wichtiger Hebel zur Senkung des Energieverbrauchs sind **effiziente Leuchtmittel**. Energiesparlampen verbrauchen bis zu 90 Prozent weniger Strom als herkömmliche Glühbirnen. Eine Art dieser innovativen Leuchtmittel sind beispielsweise T5-Leuchtstoffröhren in Kombination mit elektronischen Vorschaltgeräten. Diese neue Generation der Leuchtstofflampentechnologie kommt mit wesentlich weniger Energie aus als die T8- oder T12-Leuchtstofflampen mit konventionellen Vorschaltgeräten. Die T5-Leuchtstoffröhren verbrauchen je nach Lampenleistung bis zu 40 Prozent weniger Strom.²⁵

Diese Möglichkeit zur Energieeinsparung nutzt beispielsweise das Stahl-Unternehmen ArcelorMittal. Durch die Substitution konventioneller Metalldampflampen, die sehr energie- und wartungsintensiv sind, können zukünftig rund 40 Prozent der Beleuchtungsenergie eingespart werden – und das ohne Abstriche bei den Lichtwerten von 350 Lux. Außerdem wird eine Minderung der CO₂-Emissionen in Höhe von 1.500 Tonnen CO₂ pro Jahr erwartet. Im Vergleich zu den herkömmlichen Metalldampflampen halten T5-

23 Vgl. Freie und Hansestadt Hamburg (Hrsg.) (2008).

24 Vgl. Deutsche Energie-Agentur (2011f).

25 Vgl. Dienstleistungsgesellschaft der Norddeutschen Wirtschaft mbH (Hrsg.) (2010), S. 45.

Lampen mit einer Lebensdauer von drei Jahren relativ lange. In den T5-Leuchten können kleine, optimierte Reflektoren verwendet werden, deren Wirkungsgrad bei über 90 Prozent liegt.²⁶ Mit dem Einsatz dieser Beleuchtungstechnik ist ArcelorMittal ein Paradebeispiel, denn bisher kamen solche T5-Leuchtstoffröhren aufgrund der Deckenhöhe in Industriehallen von circa 30 Metern nicht zum Zuge.²⁷

Kältetechnik

Auf Kälte- und Klimaanlage entfallen circa 14 Prozent des deutschen Energieverbrauchs. Der Forschungsrat Kältetechnik veranschlagt das Einsparpotenzial in der Klima- und Kältetechnik auf 32.000 Gigawattstunden pro Jahr in Deutschland.²⁸

Kältetechnik kommt in verschiedenen Anwendungen zum Einsatz: Sie sorgt für die Klimatisierung von Büros, Fabriken und Lagern und kühlt Lebensmittel (Gewerbekälte). Zahlreiche Unternehmen sind in der Fertigung auf Prozesskälte angewiesen und brauchen Kühlung, damit EDV-Anlagen und Maschinen funktionieren. Sogenannte Großkälteanlagen (100 Kilowatt bis 1,5 Megawatt) kommen in der Industrie und in der Logistik zum Einsatz.

Die **Erzeugung und Bereitstellung von Kälte ist ein „Energiefresser“**; Unternehmen sind deshalb gut beraten, Kältemaschinen und Kühlsysteme zu überprüfen und gegebenenfalls zu optimieren. Hier gibt es einige Ansatzpunkte, die unter anderem auch die EU-Kommission gesehen und daher ein umfangreiches Referenzprojekt mit Best-Practice-Beispielen für den Einzelhandel erarbeitet hat (EU-Kommission, Entwurf Juni 2011). Generell gilt, dass die **Kälteanlage dem tatsächlichen Bedarf angepasst** sein muss. Nicht selten treibt überdimensionierte Leistung den Energieverbrauch unnötig nach oben. Bei der Kaltlagerung in Kühlhäusern, Kühlräumen oder Kühlzellen zählt die Wärmedämmung von Wänden, Türen und Leitungen zu den wichtigsten Energie-Sparmaßnahmen.

Ein großes Potenzial zur Senkung des Energieverbrauchs steckt in der **Optimierung der Anlagen zur Kälteerzeugung**. Ihre wichtigsten Bestandteile sind ein Verdichter mit Antrieb zur Temperatur- und Druckerhöhung, ein Verflüssiger zur Wärmeabgabe, ein Drosselorgan zur Temperatur- und Druckabsenkung und Verdampfern zur Wärmeaufnahme.²⁹ In den einzelnen Komponenten und ihrer Abstimmung liegt einer der wichtigsten Schlüssel, um die Effizienz der Kälteanlage zu erhöhen. Eine wesentliche Rolle spielt dabei die Fähigkeit, die Leistung der Anlage

dem jeweiligen Bedarf anzupassen. Diesen Vorteil bringen flexibel schaltbare Verbundanlagen mit, deren Verdichterleistung sich gut regeln lässt. Eine wesentliche Stellschraube für die Erhöhung der Energieeffizienz von Kälteanlagen ist auch die Einstellung der Kondensations- und Verdampfungstemperatur. Eine wichtige Rolle spielt außerdem die Regelung der Kühlwasserpumpen in einem Kühlsystem: Ist deren Leistung exakt am Kühlbedarf und an die daraus resultierende Kühlwassermenge ausgerichtet, verbrauchen die Pumpen nicht mehr Energie als nötig.

Ein weiterer Ansatz, die Energieeffizienz von Kälteanlagen deutlich zu erhöhen, ist die **Nutzung der Abwärme**. Hintergrund dafür ist ein Gesetz der Thermodynamik: Wo Kälte entstehen soll, muss Wärme abgeführt werden. Durch Wärmerückgewinnung, bei der ein Wärmetauscher die thermische Energie auf einen anderen Prozess überträgt, lässt sich Wärme als „Abfallprodukt“ der Kälteproduktion sinnvoll weiterverwenden.

Interessante Perspektiven eröffnet zukünftig die Verwendung erneuerbarer Energien zur Kälteerzeugung: Bei der „solaren Kühlung“ werden Sorptionskälteanlagen mit Sonnenenergie aus Sonnenkollektoren betrieben. Gebäude und Räume werden gekühlt, indem der warmen Raumluft durch Adsorption Wasser entzogen wird. Die dabei entstehende Verdunstungskälte sorgt für kühle Temperaturen. Angebot und Nachfrage sind bei der „solaren Kühlung“ perfekt synchronisiert: Die solarthermische Klimaanlage arbeitet dann auf Hochtouren, wenn die Sonneneinstrahlung am intensivsten ist.

Abwärmenutzung und Abwärmerückgewinnung Prozesswärme wird in vielen technischen Prozessen und Verfahren in der Industrie benötigt und stellt einen erheblichen Posten beim Energieverbrauch – und damit auch in der CO₂-Bilanz – von Unternehmen dar. Die Energiekosten und Treibhausgasemissionen lassen sich in vielen Fällen durch die energetische Optimierung des Wärmeversorgungssystems senken. Insgesamt liegt der Endenergieverbrauch für thermische Prozesse in Industrie und Gewerbe in Deutschland nach Angaben der dena bei rund 400 Terawattstunden. Pro Jahr lassen sich davon etwa 30 Terawattstunden einsparen. Eine Schlüsselrolle spielt dabei die **Abwärmerückgewinnung**.

Die sogenannten **OCR (Organic Rankine Cycle)-Systeme** sind Spezialisten auf diesem Gebiet, denn sie setzen die bei der Nutzung von Maschinen und

26 Vgl. ABH Elektromontage GmbH (2011a).

27 Vgl. ABH Elektromontage GmbH (2011b).

28 Vgl. Freie und Hansestadt Hamburg (Hrsg.) (2010).

29 Definition nach Deutsche Energie-Agentur (Hrsg.) (2010b), S. 12.

Anlagen entstehende Abwärme zur Stromerzeugung ein und erhöhen so nicht nur die Wirtschaftlichkeit solcher Anlagen, sondern reduzieren zudem den CO₂-Ausstoß. Der Kernpunkt bei dieser Technologie ist, dass durch einen bestimmten thermodynamischen Prozess, bei dem eine organische Flüssigkeit als Arbeitsmedium dient, mit niedrigen Temperaturen und Drücken effizient Strom erzeugt werden kann. Häufig kommt diese Technologie auch in Biogasanlagen und Geothermie-Kraftwerken zum Einsatz.

Ein Beispiel für die **Abwärmerückgewinnung in der Fertigung** liefert die Viessmann Group, Hersteller von Heiztechnik-Systemen, mit der energetischen Optimierung ihres Werks am Standort Allendorf (Hessen). Im Rahmen seiner Initiative „Effizienz plus“ spielte die Zentrale Wärmerückgewinnung eine Schlüsselrolle: Zunächst werden die Abwärmeströme aus der Druckluftherzeugung, dem Rechenzentrum, den Prüfständen in der Produktion und der Forschungs- und Entwicklung gesammelt. In der Wärmerückgewinnungszentrale werden sie mithilfe einer Elektro-Wärmepumpe zur Wärmebereitstellung am Standort genutzt. Durch die Zentrale Wärmerückgewinnung spart Viessmann pro Jahr rund 8,5 Megawattstunden Strom; das entspricht einer Senkung der CO₂-Emissionen um 3.000 Tonnen.³⁰

Wärmerückgewinnung ist auch in **Kombination mit Abluftreinigung** möglich, wie das Beispiel einer regenerativen Oxidationsanlage der Dürr-Gruppe zeigt, die beim Misch- und Röstprozess von Kaffee- und Kakaobohnen eingesetzt wird. Die Anlage kann die dabei entstehenden starken Gerüche sowie die Emissionen von Lösungsmitteln und anderen gasförmigen Substanzen auffangen. Dabei trennt ein eingebauter Elektrofilter Partikel und Aerosole ab. Die in der Abluft enthaltenen Fette werden auf diese Weise zurückgewonnen; das Kondensat kann über die Kläranlage entsorgt werden.³¹

Vor allem in energieintensiven Branchen wie der Stahlindustrie, Baustoffindustrie oder chemischen Industrie, bei denen mit hohen Temperaturen gearbeitet wird, lohnt sich der **Einsatz von Wärmetauschern**. Der Wirkungsgrad der zugeführten Primärenergie kann auf bis zu 90 Prozent erhöht werden. Besonders für diejenigen Komponenten, die unmittelbar für die Verwendung von Abwärme nötig sind (Wärmetauscher und Wärmepumpen), besteht in Deutschland großes Marktpotenzial.

Marktsegment Energieeffiziente Gebäude

Beim Begriff ‚Energieeffizienz‘ ist Stromsparen häufig die erste – und manchmal auch die einzige – Assoziation. Dabei entfällt nur rund ein Fünftel des Endenergiebrauchs in Deutschland auf Elektrizität, während der Anteil der Wärmebereitstellung bei knapp 50 Prozent liegt.³² Aus der Konsumenten-Perspektive fallen Heizung und Warmwasserbereitung noch stärker ins Gewicht: Räume und Wasser auf Wohlfühltemperatur zu bringen, fordert einen Anteil von 83 Prozent am Energieverbrauch der privaten Haushalte. Der **durchschnittliche Heizwärmebedarf in Deutschland liegt bei Wohngebäuden bei 160 kWh/m²a**, das heißt, für jeden Quadratmeter Wohnfläche werden im Durchschnitt pro Jahr 160 Kilowattstunden Energie aus Strom, Gas, Öl zum Heizen gebraucht.

Das Energiekonzept der Bundesregierung hat das Ziel ausgegeben, den **Gebäudebestand bis 2050 nahezu klimaneutral** zu machen. Das bedeutet, den Energieverbrauch von Gebäuden drastisch zu senken – angestrebt ist eine Reduzierung des Primärenergiebedarfs

um 80 Prozent – und den verbleibenden Bedarf aus regenerativen Energien zu decken.³³

Um die **Energieeffizienz von Gebäuden zu steigern**, sind grundsätzlich **vier Hebel** zu betätigen: Es gilt erstens zu verhindern, dass über die **Gebäudehülle** mehr Energie als nötig nach draußen entweicht. Instrumente dafür sind eine Dämmung der Wände sowie Hightech-Fenster, die keine Wärmebrücke bilden. Zweitens muss die **Technische Gebäudeausstattung (TGA)** auf dem Stand der Technik sein: Moderne Heizungs-, Klima- und Lüftungsanlagen sind wesentlich effizienter als ihre Vorgänger-Generationen. Drittens ist die **Betriebsphase** entscheidend: Selbst die ausgefeiltste Technik in der Heizungsanlage nützt nichts, wenn das Fenster über dem Heizkörper gekippt ist. Neben der Verbraucheraufklärung kommt hier der **Gebäudeautomation** eine wichtige Rolle zu. Und viertens hat die **Beleuchtung von Gebäuden** einen hohen Stellenwert im Mix der Energiesparkkonzepte im Immobiliensektor.

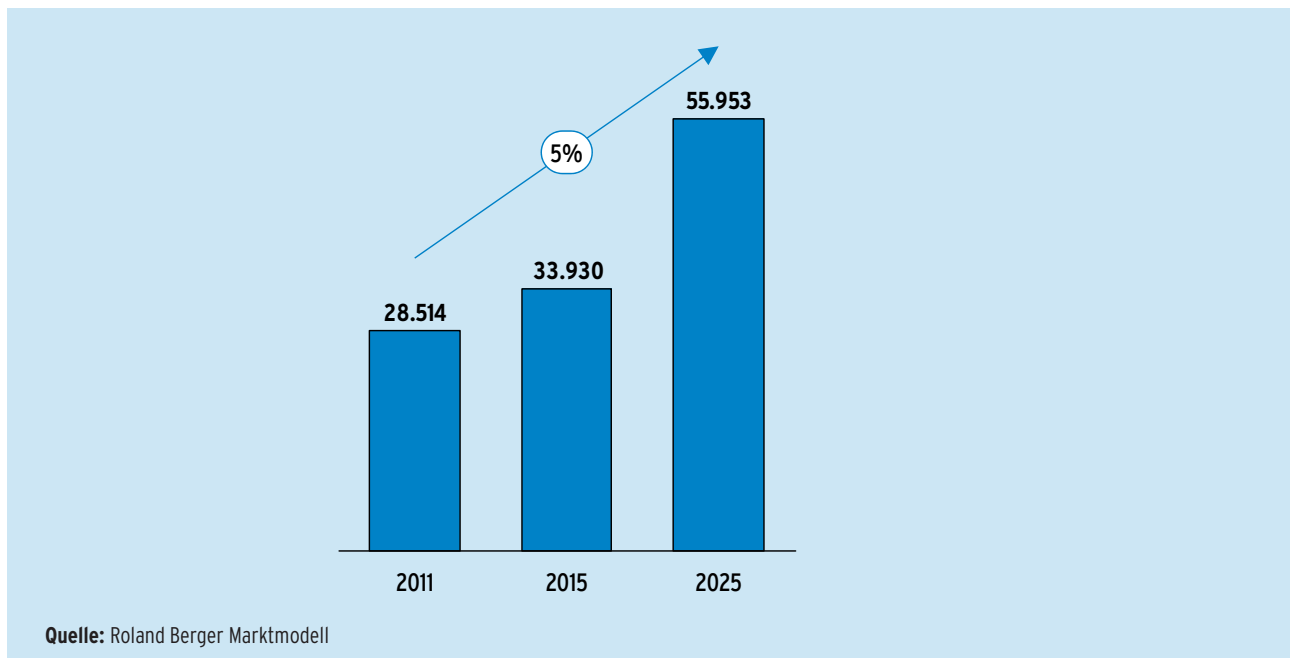
30 Vgl. Viessmann (2011).

31 Vgl. Dürr AG (2011).

32 Vgl. Umweltbundesamt (2011f).

33 Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie/Bundesumweltministerium (2010), S. 22.

Abbildung 46: Marktprognose Energieeffiziente Gebäude 2011, 2015 und 2025 in Deutschland (in Millionen Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)



Dämmung und Fenster

Im Durchschnitt verliert ein Haus 70 Prozent seiner Wärme aufgrund schlechter Dämmung der Außenwände und des Daches. Deshalb gilt die Devise: je dichter die Verpackung, desto besser. Die Außenwände von Passivhäusern haben zum Beispiel Dämmstärken zwischen 25 und 40 Zentimetern.

Bisher wurden meistens mineralische (zum Beispiel Blähton, Mineralwolle oder Schaumglas) sowie kunststoffbasierte Materialien wie Styropor verwendet. Mittlerweile wird dieser Markt zunehmend auch von **nachwachsenden Rohstoffen** wie beispielsweise Zellulose, Schafwolle, Holzfaserdämmstoffe oder Flachs erobert. Letzterer gehört mit einer Wärmeleitfähigkeit von $0,04 \text{ W/m}^2\text{K}$ ³⁴ zu den ökologischen Dämmmaterialien mit der besten Wärmeeigenschaft. Dünnere Materialstärken mit noch geringerer Wärmedurchlässigkeit stehen zukünftig im Vordergrund bei Forschung und Entwicklung. Innovative Systeme wie die Vakuumisolierpaneele stellen dabei relevante Lösungen dar. Zwar ist diese Technologie schon auf dem Markt, im Vergleich zu anderen Dämmstoffen ist sie allerdings noch relativ teuer.

Wirksame Dämmstoffe allein reichen aber nicht aus, auch Wärmebrücken nach draußen müssen abgebrochen werden. Dabei kommt es auf **energieeffiziente Rahmen und Fenstergläser** an. Je nach verwendeten Schichten, Scheibenzwischenräumen und Gasfüllun-

gen können bei Dreifach-Wärmeschutzverglasungen U-Werte im Bereich von $0,4$ bis $0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ erreicht werden. Wie gut diese Fenster isolieren, zeigt ein Vergleichswert aus den Siebzigern: Seinerzeit wiesen Fenster einen U-Wert von $5,8$ auf. Allerdings sind die mehrfach verglasten Fenster ziemlich schwer; künftig sollen die Drei- und Vierfachfensterscheiben leichter werden.

Das volle Potenzial der Verglasung kann allerdings nur mit einem geeigneten Fensterrahmen ausgeschöpft werden. Die derzeit gängigen gedämmten Fensterrahmen weisen mit Wirkungsgraden von $0,6$ bis $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ durchaus noch viel Spielraum für Verbesserungen auf.

Heizung, Klima, Lüftung (Technische Gebäudeausstattung)

Fast ein Viertel der 18 Millionen Wärmeerzeugungsanlagen in Deutschland hinkt dem Stand der Technik hinterher.³⁵ Bis Ende dieses Jahrzehnts sind zehn Millionen Heizkessel modernisierungsbedürftig. Würden sie durch effizientere Technologie ersetzt, führte dies zu einer Reduzierung des CO_2 -Ausstoßes um 70 Millionen Tonnen. **Für die energieeffiziente und klimafreundliche Heizung von Gebäuden gibt es unterschiedliche Varianten:** Die Palette reicht von Öl- und Gas-Brennwertkesseln, Blockheizkraftwerken, Holzpelletkesseln, Solarthermiekollektoren und Wärmepumpen. Bei den Wärmeerzeugungsanlagen

³⁴ Besonders gute Dämmstoffe haben eine geringe Wärmeleitfähigkeit (λ , Lambda-Wert) von maximal $0,035 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

³⁵ Stand 2010; vgl. o.V. (2010b).

zeichnet sich die **Tendenz** ab, **verschiedene Heizsysteme zu kombinieren**: So kann beispielsweise Solarthermie eine Gas- oder Ölheizung unterstützen. Auch der Mix aus Wärmepumpe und fossilen Heizungen ist machbar; ebenso kann Solarthermie in einem Wärmepumpensystem den Stromverbrauch senken.

Wird die Heizanlage mit fossilen Energieträgern betrieben, sind Öl- und Gas-Brennwertkessel die Spitzenreiter in puncto Effizienz. **Brennwertkessel** nutzen die Energie, die in dem bei der Verbrennung entstandenen Abgas enthalten ist. Diese Energie wird wieder in den Heizkreislauf zurückgeführt. Auf diese Weise liegt die Energieausbeute der Brennwertkessel um rund zehn Prozent höher als die der Niedertemperaturkessel. Einen wichtigen Part bei den effizienten Heiztechnologien spielen auch **Blockheizkraftwerke**, die nach dem **Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung** die bei der Stromerzeugung anfallende thermische Energie zur Bereitstellung von Heizwärme und Warmwasser verwerten.³⁶

Auch Holz, Sonne und Erdwärme können dazu genutzt werden, Gebäude auf angenehme Temperaturen zu bringen. Der **Einsatz von erneuerbaren Energien bei der Wärmebereitstellung** senkt nicht nur die CO₂-Emissionen, sondern schont auch das Budget von Immobilieneigentümern und -mietern: Regenerativ erzeugte Wärme schirmt sie gegen die steigenden Preise von Heizöl und Erdgas ab.

Heizen mit Holz ist nahezu klimaneutral; bei der Verbrennung wird nur so viel CO₂ freigesetzt, wie der Baum aufgenommen hat. Bei Holzpelletanlagen gelangen die Pellets automatisch in die Brennkammer.

Die Heizung per Sonnenstrahl wird durch **Solarthermiekollektoren** möglich, die den Warmwasserbedarf komplett decken können.³⁷ Auf sich allein gestellt, wären sie mit der Beheizung eines Hauses bei deutschen Wintertemperaturen allerdings überfordert. Jedoch unterstützen sie eine Heizungsanlage und reduzieren den Bedarf an anderen Brennstoffen um knapp ein Drittel.

Salopp könnte man eine **Wärmepumpe** als Kühlschrankschrank mit umgekehrten Vorzeichen beschreiben. Ein Kühlschrankschrank entzieht einem Gegenstand Wärme und gibt diese wieder ab. Nach demselben Prinzip funktioniert die Wärmepumpe, die sich aus der Außenluft, der Abluft, aus der Erde oder dem Grundwasser thermische Energie für die Heizung holt. Um diese Wärme auf das erforderliche Temperaturniveau

zu bringen, ist in der Wärmepumpe ein Kompressor eingebaut, der mit Strom oder Erdgas betrieben werden kann. Die Wärmepumpe ist ein **Multitasking-Talent**: Sie kann nicht nur zum Heizen, sondern auch zur Kühlung, zur Klimatisierung und Entfeuchtung eingesetzt werden.

Die Kühlung von Räumen durch Klimaanlageanlagen ist eigentlich wie Heizen, nur dass der Wärmestrom umgekehrt fließt. So kann die Wärmepumpe im Sommer zur Klimaanlage mutieren, indem sie der Raumluft thermische Energie entzieht. In den letzten Jahren hat in Deutschland die **Nachfrage nach Klimaanlageanlagen deutlich angezogen**. Diese Tendenz wird wohl anhalten, zumal Hitzeperioden im Zuge des Klimawandels auch in unseren Breitengraden häufiger vorkommen dürften. Hinzu kommt ein Nebeneffekt der verbesserten Wärmedämmung: Gut gedämmte Gebäude geben nachts weniger Wärme ab, sodass sie selbst durch die kälteren Nachttemperaturen kaum abkühlen. Dies kann dazu führen, dass manche Gebäude bereits ab einer Außentemperatur von 26 Grad Celsius maschinell gekühlt werden müssen.³⁸ Angesichts des sich abzeichnenden wachsenden Bedarfs gewinnt der **klimaschonende und energieeffiziente Betrieb von Klimaanlageanlagen** an Bedeutung. Grundsätzlich hat sich die Energieeffizienz von Klimaanlageanlagen in den letzten Jahren bereits deutlich verbessert. Ein ressourcenschonendes Konzept stellt die Nutzung der Außenluft dar. Hier wird die kühle Nachtluft mithilfe eines Tag-Nacht-Speichers als Kältequelle verwendet. In Boden und Decke verlegte Kühlleitungen geben die nachts gespeicherte Kälte tagsüber ab.

Die Lüftung steht in einem engen Zusammenhang mit der Kühlung von Räumen. Lüften bedeutet, den Austausch von Raumluft durch Außenluft, um die Luftqualität im Innern aufrechtzuerhalten. Die traditionelle und einfachste Variante ist die natürliche Lüftung über das offene Fenster. Allerdings entweichen dabei bei kühlen Außentemperaturen zwangsläufig erhebliche Wärmemengen in den Vorgarten oder auf die Straße. Eine Alternative dazu sind **Zu- und Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnungssystemen**, die frische Außenluft ins Hausinnere leiten. Dieser Luftstrom trifft auf einen Wärmetauscher, der die Wärme der Abluft an die kältere, hereinkommende Frischluft abgibt. Während bei einer gewöhnlichen Fensterlüftung der Wärmeverlust bei etwa 50 kWh/(m²a) liegt, sinkt der Wert bei einer Abluft-Wärmerückgewinnungsanlage auf unter fünf kWh/(m²a).³⁹

36 Siehe dazu ausführlich im Kapitel *Dezentrale Energieversorgung*.

37 Vgl. dazu ausführlich Leitmarkt Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung.

38 Vgl. Bauer, M./Möslle, P. (2010), S. 117.

39 Vgl. Deutsche Energie-Agentur (2011b).

Ein Ansatz, der eine hohe Energieeffizienz verspricht, sind sogenannte **hybride Lüftungskonzepte**. Dabei werden maschinelle und natürliche Lüftung kombiniert. Bei extremen Winter- oder Sommertemperaturen ist die maschinelle Lüftung am Zug, während bei gemäßigttem Klima in der Übergangszeit auf natürliche Lüftung gesetzt wird.

Gebäudeautomation

Knapp ein Drittel des Energiebedarfs bei der Gebäudenutzung lässt sich durch **innovative Gebäudeautomation** einsparen.⁴⁰ So steuert eine zentrale Einheit die Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage sowie Licht, Jalousien und andere Systeme. Die Verknüpfung dieser Anlagen erhöht nicht nur den Komfort der Bewohner und Nutzer solcher Immobilien, sondern spart zusätzlich Energie. So schaltet sich beispielsweise tagsüber die Heizung aus, sobald die Sonnenstrahlen stark genug sind, um einen Raum auf eine angenehme Temperatur zu bringen. Falls die Sonneneinstrahlung zu intensiv wird, schirmen automatisch Jalousien das Zimmer vor unerwünschter Wärme ab.

Dank Gebäudeautomation können durch Störungsmeldungen außerdem frühzeitig Leckagen bei Systemen erkannt werden. Das Aufzeichnen der Verbrauchsdaten hilft weiterhin, die Sensibilisierung des Konsumenten für den eigenen Energieverbrauch zu stärken.⁴¹

Beleuchtung

Durch LED- und OLED-Leuchtmittel, die neuere Schwestertechnologie von LED, kann auch der Bereich Beleuchtung durch geringeren Energieverbrauch und CO₂-Ausstoß sowie durch eine längere Lebensdauer zu

mehr Nachhaltigkeit im Gebäudesektor beitragen. Wegen der kontinuierlichen **Verbesserung der Farbkonstanz und Lichtausbeute** hat sich die LED-Lampe (light emitting diode; lichtemittierende Diode) in den letzten Jahren längst zu einer Technologie entwickelt, die sich auch für Großprojekte durchgesetzt hat. So wird diese Beleuchtungsmethode beispielsweise bei der Sanierung des Eingangsbereichs der S- und U-Bahn Station und der „Stachus Passagen“ am Münchner Karlsplatz verwendet, wo insgesamt 65.000 LED für angenehmes Licht sorgen.

Bei der **Optimierung der LED-Leuchtmittel** gibt es noch Spielraum nach oben: Erst kürzlich wurde eine LED-Lampe vorgestellt, die ohne Einschränkung mit einer gewöhnlichen 75 Watt Glühlampe mithalten kann. Sie verzeichnet nicht nur eine Energieersparnis von mehr als 80 Prozent, sondern hat zudem eine Lebenszeit von 30 Jahren. Durch einen Abstrahlwinkel von 340 Grad sorgt sie zusätzlich für ein besonderes Design. So ist diese Technologie zukünftig auch in Bereichen außerhalb von dimmbarem und gerichtetem Licht ohne UV- und Wärmestrahlung attraktiv.⁴²

Ein ebenso zukunftsweisendes energiesparendes Leuchtmittel stellt die **OLED-Technologie (organic light emitting diode)** dar, die aus organischen halbleitenden Materialien besteht. Während LED das Licht punktförmig abgeben, erzeugen OLED-Panels eine leuchtende Fläche. Die leuchtende Schicht der OLED bringt es mit einer „Dicke“ von 400 Nanometern auf etwa ein Hundertstel des Durchmessers eines menschlichen Haares. Durch diese extrem dünne Beschaffenheit schafft dieses Leuchtmittel beispielsweise völlig neuartige Möglichkeiten für Raumbeleuchtung,

PASSIV-HOCHHAUS IN FREIBURG

Im Rahmen der Sanierung des Freiburger Stadtquartiers Weingarten West sollte am Beispiel eines 16-stöckigen Hochhauses gezeigt werden, dass der Passivhaus-Standard auch bei der Sanierung einer Bestandsimmobilie aus den Sechziger Jahren machbar ist. Bei diesem „Low-Ex-Demonstrationsgebäude“ kam eine Reihe innovativer Technologien zum Einsatz. Dazu gehörten die Verwendung neuer Wärmedämmmaterialien auf Basis von Aerogel mit einer minimalen Wärmeleitfähigkeit ($\lambda = 0,013 \text{ W/m}^2\text{K}$), die Absenkung der

Systemtemperaturen der Heizung sowie ein ausgefeiltes Lüftungssystem. Dessen Bestandteile sind ein Lüftungszentralgerät mit Wärmerückgewinnung, hocheffiziente Ventilatoren und eine zweistufige Regelung der Lüftungsanlage mit thermischem Stellantrieb. Durch diese Maßnahmen wurde der Wärmebedarf des Hochhauses auf 35,7 kWh/(m²a) gesenkt.

Quelle: BINE Informationsdienst (2011)

40 Vgl. Siemens AG (2011c).

41 Vgl. dazu detailliert Kapitel *Dezentrale Energieversorgung*.

42 Vgl. Sonepar Deutschland GmbH (2011).

43 Vgl. Osram (2011a).

beispielsweise leuchtende Tapeten.⁴³ Als einziges Unternehmen mit OLED- und LED-Produktionsstätten in Europa hat Osram bei Tests von OLED-Prototypen schon Rekordwerte von 87 lm/W erreicht⁴⁴ – das entspricht beinahe der Leistung von Leuchtstofflampen.⁴⁵ Mittlerweile ist in Regensburg die erste Pilotproduktionsanlage für diese Technologie in Deutschland in Betrieb genommen worden.⁴⁶

Neue Dimensionen der Energieeffizienz

In den vorangehenden Abschnitten wurden die unterschiedlichen Hebel dargestellt, mit denen die Energieeffizienz von Gebäuden maßgeblich gesteigert werden kann. Im Zusammenspiel führen diese Maßnahmen dazu, dass heute Häuser in Effizienzkategorien gebaut werden, die noch vor einigen Jahren als Wunschdenken gegolten hätten. Im Folgenden wird die **Umsetzung der energetischen Standards in der Praxis** beschrieben und weiterer Verbesserungsbedarf aufgezeigt. Während die ordnungspolitischen Instrumente der Energieeinsparverordnung und des Erneuerbare-Energie-Wärmegesetzes (EEWärmeG) in Neubauten der Energieverschwendung einen Riegel vorschieben, besteht in puncto Energieeffizienz akuter Handlungsbedarf im Gebäudebestand. Bei bestehenden Immobilien ist der Energiebedarf nach Angaben der Deutschen Energie-Agentur (dena) dreimal so hoch wie bei Neubauten. Abhilfe schafft hier **energetische Sanierung**, mit der sich der Wärme- und Kälteverbrauch von Gebäuden um bis zu 80 Prozent senken lässt.

Die energetischen Mindeststandards für Neubauten definiert die Energieeinsparverordnung (EnEV): Die zuletzt im Herbst 2009 novellierte EnEV legt als Messgröße für die Energieeffizienz von Gebäuden den für Heizung, Lüftung und Warmwasserbereitung anfallenden Jahresprimärenergiebedarf zugrunde, der pro Quadratmeter angegeben wird. Die für 2012 vorgesehene Verschärfung der Energieeinsparverordnung soll die Anforderungen an die Energieeffizienz im Gebäudebereich um weitere 30 Prozent erhöhen.

Sogenannte **Effizienzhäuser** lassen sich – je nach Energieverbrauch – in unterschiedliche Kategorien einteilen: **Niedrigenergiehaus, Passivhaus, Null-Energiehaus und Plus-Energie-Haus.**

Niedrigenergiehäuser⁴⁷ sind alle Gebäude, die den EnEV-Neubaustandards entsprechen. Der **Heizwär-**

mebedarf darf den Wert von 70 kWh/m²a nicht überschreiten. Für ein Niedrigemissionshaus ist deshalb eine exzellente Dämmung entscheidend, damit über Fenster, Wände, Bodenplatten oder das Dach keine Wärme nach draußen entweicht. Auf diese Weise wird der Bedarf an Heizwärme gesenkt, sodass Niedrigenergiehäuser den durchschnittlichen Energiebedarf des deutschen Zuhauses um 55 Prozent unterbieten. Für die Wärme im Niedrigenergiehaus sorgen besonders effektive Heizanlagen, die häufig mit Biomasse (Holzpellets), Geothermie oder Solarthermie betrieben werden.

Beim Konzept des **Passivhauses** wird der Wärmeverlust über die Gebäudehülle derart drastisch reduziert, dass der **Heizwärmebedarf mit 15 kWh/(m²a)** auf ein Viertel des KfW Effizienzhauses 100 gedrückt wird. Der Primärenergiebedarf eines Passivhauses liegt einschließlich Warmwasser und Haushaltsstrom unter 120 kWh/(m²a). Seinen Namen trägt das Passivhaus deshalb, weil für die Beheizung passive Wärmequellen benutzt werden, beispielsweise Sonnenenergie und Wärmerückgewinnung. Lediglich für klirrend kalte Wintertage braucht das Passivhaus eine zusätzliche Heizung. Der extrem niedrige Energiebedarf des Passivhauses wird durch eine Reihe von Maßnahmen erreicht. Dazu gehören eine exzellente Außendämmung (Wärmedurchgangskoeffizient weniger als 0,15 W/(m²K)), spezielle Verglasung (in der Regel dreifach) mit einem Wärmedurchgangskoeffizienten unter 0,80 W/(m²K) sowie eine Lüftung mit Wärmerückgewinnung. Das Beispiel aus Freiburg zeigt, dass sich der Passivhaus-Standard auch außerhalb von Einfamilienhaus-Siedlungen und durch Sanierung von Bestandsgebäuden erreichen lässt (siehe Textbox).

Die Sparsamkeit des Passivhauses wird vom **Nullenergiehaus** noch überboten. Dessen Name ist Programm – der Energiebedarf solcher Gebäude geht gegen null. Das heißt, **in der jährlichen Energiebilanz dieses Haustyps taucht keine extern zugeführte Energie** auf. Seinen gesamten Energiebedarf deckt das Nullenergiehaus aus eigener Produktion, zum Beispiel durch Solarenergie. Die für den Bau eines Nullenergiehauses benötigte Energie wird „amortisiert“ – die eingesparte Energie gleicht nach einigen Jahren den Energieaufwand bei der Errichtung des Gebäudes aus, sodass die Energiebilanz über die gesamte Lebensdauer betrachtet positiv ausfällt. Einen Schritt weiter als das Nullenergiehaus geht das **Konzept des Plus-Energie-Hauses.** Es ist in der Lage, über den eigenen Bedarf hinaus Energie zu erzeugen – meistens mit Solarenergie – und in das öffentliche Netz einzuspeisen.

44 Der Wirkungsgrad einer Lichtquelle wird in Lumen pro Watt (lm/W) angegeben.

45 Vgl. Osram (2011b).

46 Vgl. Osram (2011c).

47 KfW Effizienzhaus 100.

NULLENERGIESTADT AUF EHEMALIGEM MILITÄRGELÄNDE

Im oberbayerischen Bad Aibling entsteht auf dem ehemaligen Gelände der US-Armee eine Nullenergiestadt: Bei dem Projekt, das im Rahmen der Forschungsinitiative EnEff:Stadt gefördert wird, werden die ehemaligen Wohnungen, Freizeit- und Sozialgebäude, Werkstätten und der Schul- und Klinikkomplex der Army - insgesamt 72.000 Quadratmeter Nutzfläche in 52 Gebäudeanlagen - umgestaltet, sodass ein nachhaltiges Quartier mit einer CO₂-freien, dezentralen Energieversorgung entstehen soll. Die B&O Gruppe, die das leer stehende Gelände nach dem Abzug der US-Armee erworben hat, setzt

beim Energiekonzept auf eine Mischung aus Biomasse, Solarthermie und Photovoltaik sowie auf eine Verbesserung der Energieeffizienz. Zu den Neubauprojekten auf dem 134 Hektar großen Areal im Ortsteil Mietraching gehören Niedrigenergiehäuser aus Holz: Im Sommer 2011 wurde der Grundstein für ein achtgeschossiges Holzhaus gelegt, das nach seiner Fertigstellung zu den höchsten Holzbauten in Europa gehören wird.

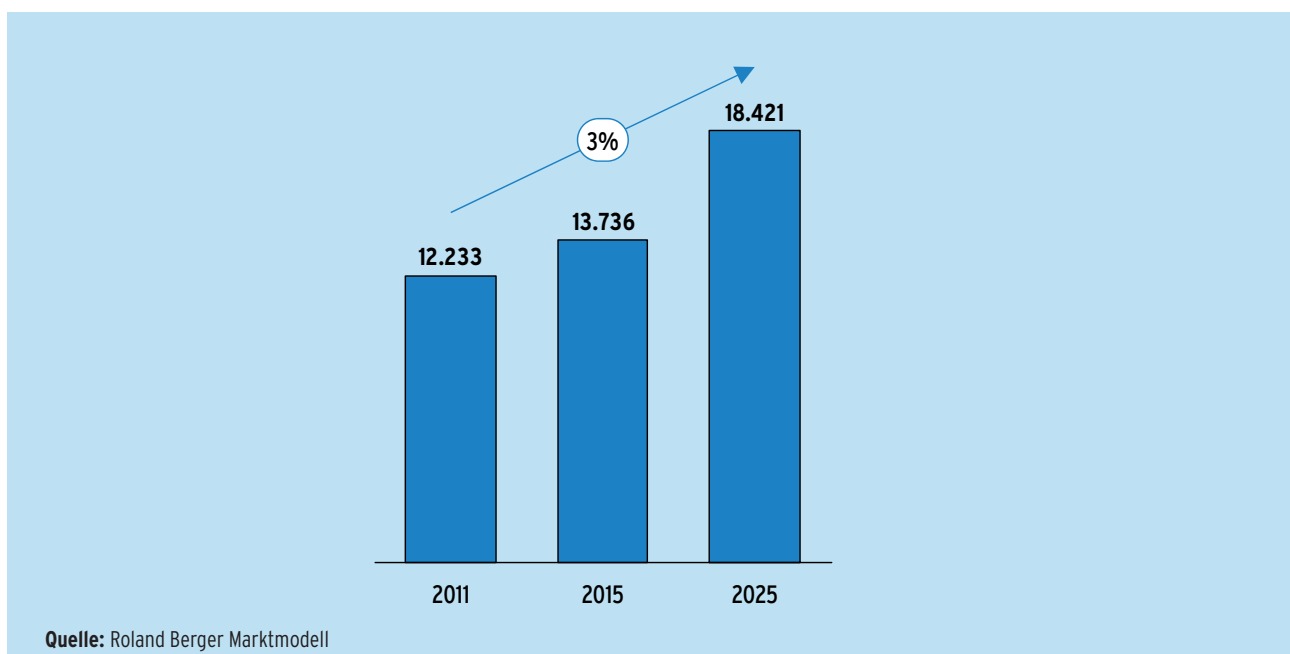
Quelle: B&O Stammhaus GmbH & Co. KG (2011)

Marktsegment Energieeffiziente Geräte

Ebenso wie das Marktsegment Energieeffizienz von Gebäuden umfasst das Marktsegment **Energieeffiziente Geräte** zwei wesentliche Verbrauchergruppen: die Unternehmen und die privaten Haushalte. Für die Akteure aus der Wirtschaft ist die **Informations- und Kommunikationstechnik (IKT)** ein unverzichtbarer Teil des Geschäftsalltags geworden. Aber auch im privaten Bereich haben sich PC, Laptop und Smartphone fest etabliert. Allerdings hat die Allgegenwart von Geräten der IKT auch eine Kehrseite, nämlich den ste-

tig steigenden Energiebedarf. Diesem Trend Einhalt zu gebieten, ist eine wesentliche Aufgabe im Kontext Energieeffizienz, deshalb wird das Thema **Green IT** ausführlich dargestellt. Den zweiten thematischen Abschnitt dieses Marktsegments bilden die **Haushaltsgeräte**. Die **Energieeffizienz der Weißen Ware und der Unterhaltungselektronik in den privaten Haushalten** bietet in Summe ein erhebliches Sparpotenzial und kann deshalb einen wichtigen Beitrag zur Reduzierung des Energieverbrauchs leisten.

Abbildung 47: Marktprognose Energieeffiziente Geräte 2011, 2015 und 2025 in Deutschland (in Millionen Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)



Green IT

Die Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) hat sich längst zu einem Rückgrat moderner Wirtschaftssysteme entwickelt. Sie hat die Voraussetzung für neue Geschäftsmodelle sowie innovative Produkte und Verfahren geschaffen; aus dem Alltag der Unternehmen und der meisten Privathaushalte sind Computer nicht mehr wegzudenken.

Die IKT spielt im Bereich der Energieeffizienz einen entscheidenden Part, sowohl als Enabler („Green durch IT“) als auch bei der Anwendung („Green in der IT“). Als Querschnittstechnologie trägt IKT erheblich zur Senkung des Energieverbrauchs – und damit der CO₂-Emissionen – bei. IKT-Lösungen reduzieren den Energiebedarf beispielsweise durch **Dematerialisierung**, das heißt den Ersatz physischer durch digitale Güter, **intelligente Steuerung von Stromnetzen und Stromversorgung** („Smart Grid“) oder bei der **Gebäudeautomatisierung**.⁴⁸ Als „Green in der IT“ oder kurz „Green IT“ werden die energie- und materialeffiziente Herstellung und Nutzung von IKT-Geräten wie PCs, Notebooks, Smartphones etc. und der Betrieb der Infrastrukturen wie Mobilfunknetze, Server und Rechenzentren bezeichnet. Im Kern geht es beim Thema Green IT darum, wie durch den Einsatz moderner Hard- und Software der Energieaufwand bei steigenden Anforderungen gleichbleiben oder sogar sinken kann. Und diese Frage gewinnt zunehmend an Brisanz, wenn man den Trend des vergangenen Jahrzehnts betrachtet.

Die zunehmende Durchdringung aller Arbeits- und Lebenswelten durch die IKT hat in den letzten Jahren zu einem rasanten **Anstieg des Energiebedarfs**

geführt. Der Betrieb von IKT-Geräten und Infrastrukturen „frisst“ mit rund 55 Terawattstunden rund ein Zehntel des gesamten deutschen Stromverbrauchs, das entspricht einer Steigerung von 55 Prozent seit Beginn des Jahrtausends. Nach einer Studie des Bundesumweltministeriums haben davon allein Server und Rechenzentren 10,1 Terawattstunden Strom verbraucht, das entspricht in etwa einer Verdoppelung ihres Energiebedarfs seit dem Jahr 2000.⁴⁹ Diese Entwicklung ist vor allem darauf zurückzuführen, dass die zunehmende Nutzung des Internets, von Telekommunikationsdienstleistungen und IT-Anwendungen die Zahl der Server und deren Energiebedarf in die Höhe getrieben hat. Hält dieser Trend an, würden Server und Rechenzentren in Deutschland im Jahr 2013 fast 15 Terawattstunden Strom verbrauchen.

Es gibt jedoch eine Alternative zu diesem Business-as-usual-Szenario: Könnte sich die Mehrheit der Unternehmen zum Einsatz energieeffizienter IKT-Lösungen durchringen, ließen sich bis 2013 in Deutschland 25,8 Terawattstunden Strom einsparen. Das entspräche einer CO₂-Minderung in Höhe von 15,3 Millionen Tonnen. Diese Einsparung kommt nicht nur dem Klima, sondern auch der Bilanz der Betriebe zugute: Für die Betreiber von Serversystemen und Rechenzentren sind die **Stromkosten ein enormer Kostentreiber**: Im Jahr 2008 beliefen sie sich auf 1,1 Milliarden Euro.

Vor dem Hintergrund steigender Energiekosten wächst die Motivation der Unternehmen, die **Energieeffizienz ihrer IKT-Geräte und Infrastrukturen** zu verbessern, zumal die Lebenszyklus-Betrachtung zeigt, dass etwa drei Viertel der Kosten auf den Energieverbrauch in der Betriebsphase entfallen. Das

IDEENSCHMIEDE FÜR GRÜNE IT-LÖSUNGEN

1,3 - diesen ambitionierten PUE-Wert will die Deutsche Telekom in ihrem „DataCenter 2020“ erreichen. Diese Kennzahl - Power Usage Effectiveness - bedeutet, dass für jedes Kilowatt Strom für den Serverbetrieb 1,3 Kilowatt in das Rechenzentrum fließen müssen. Im Green-IT-Labor, das von T-Systems, der Großkundensparte der Telekom in Kooperation mit Intel betrieben wird, wurden bereits PUE-Werte von 1,41 erzielt. Damit rückt das Ziel der Telekom näher, in neu errichteten Rechenzentren im Bereich Festnetz einen PUE-Wert von 1,4 und in Bestandsrechenzentren von 1,6 zu erreichen. Aktuell liegt der Durchschnitt in den T-Systems-Rechenzentren bei 1,75.

In „grünen“ Modellrechenzentren werden verschiedene Ansätze erprobt, um die Energieeffizienz zu steigern. So hat sich beispielsweise gezeigt, dass auch eine Temperatur von 27 Grad Celsius Rechenleistung nicht schmälert. Die übliche Kühlung auf 22 Grad Celsius verbraucht also unnötig Energie. Solche im „DataCenter 2020“ gewonnenen Erkenntnisse sollen wegweisend für den Umbau und Neubau von Rechenzentren sein.

Quelle: Deutsche Telekom AG (2011a)

⁴⁸ Das Thema „Green durch IT“ wird in dem Kapitel *Smart Cities* detailliert dargestellt.

⁴⁹ Vgl. Bundesumweltministerium (2009b), S. 4.

Arsenal der Energiesparmaßnahmen lässt sich dabei nach Ansatzpunkten in zwei Kategorien unterteilen: zum einen in Server und Rechenzentren, zum anderen in die IT am Arbeitsplatz.

Die meisten Unternehmen stehen vor dem Problem, dass immer mehr Anwendungen und Serviceangebote ein **starkes Wachstum der Serversysteme** erfordern. Die stark steigende Leistungsfähigkeit der Komponenten treibt den Stromverbrauch nach oben, was wiederum den Klimatisierungsbedarf erhöht. Erfahrungsgemäß wird für jede Kilowattstunde IT-Leistung eine halbe Kilowattstunde für die Kühlung benötigt. Diese Formel macht auf Anhieb nachvollziehbar, weshalb die Optimierung der Heizungs-, Klima- und Lüftungstechnik ein wesentliches Handlungsfeld für die Steigerung der Energieeffizienz in Rechenzentren darstellt.

Eine **Kenngroße für die Energieeffizienz von Rechenzentren** ist der sogenannte **DCIE-Wert (Data Center Infrastructure Efficiency)**. Laut EU Code of Conduct for Data Centers ist diese Kennzahl definiert als Quotient aus Energieverbrauch der IT und Gesamtenergieverbrauch des Rechenzentrums multipliziert mit 100 Prozent. Aus dieser Formel ergibt sich der Ideal-DCIE-Wert von 100 Prozent. Als erreichbare Top-Werte gelten bei großen Rechenzentren heute 75 Prozent.⁵⁰ Um solche Spitzenwerte zu erzielen, müssen alle Register der modernen Kühltechnologie gezogen werden. Dazu gehören **verlustfreie Luftführung, getrennte Kalt- und Warmgänge sowie effiziente Kältemaschinen**. Beim „Going Green“ des Rechenzentrums ist die Kälteproduktion ein besonders wichtiger Ansatzpunkt: Grundsätzlich kommt es der Energiebilanz zugute, wenn der Anteil der Freikühlung erhöht wird. Statt der weitverbreiteten Kompressorkälte kommen zur Kälteerzeugung auch alternative Verfahren infrage. Dazu gehören die Geothermie, die Absorptionskältemaschine oder die solare Kühlung.

Hinzu kommt eine **intelligente Architektur**, die für niedrige Temperaturen im Innern des Gebäudes sorgt, in dem das Rechenzentrum untergebracht ist – etwa durch Beschattung der Fassade. Eine weitere Option für die Verbesserung der Energiebilanz ist die **Nutzung der Abwärme aus dem Rechenzentrum**. Der Logistik-Dienstleister Dachser deckt beispielsweise 50 Prozent des Heizbedarfes seines 2010 bezogenen Hauptgebäudes (300 Arbeitsplätze) mit der Abwärme des Rechenzentrums.

Ein vielversprechender Ansatz zur Verringerung des Energieverbrauchs von Servern und Rechenzentren ist die **Virtualisierung beziehungsweise Konsolidierung**. Ziel ist es dabei, durch die Zusammenführung auf leistungsstarke Systeme den Hardware-Einsatz und Stromverbrauch zu reduzieren. Vereinfacht ausgedrückt, gilt dabei die Devise „Software ersetzt Hardware“. Die IT-Ressourcen werden besser genutzt, indem die Auslastung der Server in einem Rechenzentrum gesteigert wird. Ein Beispiel für den Spar-Effekt einer Servervirtualisierung ist die Modernisierung der Informations- und Kommunikationstechnik des Klinikums Kulmbach. Im Rahmen dieses Projekts in der oberfränkischen Stadt wurden 25 physische zu vier virtuellen Servern logisch zusammengefasst. Die freigegebenen Server-Kapazitäten konnten zusätzliche Aufgaben übernehmen. Die Virtualisierung, die durch die Klimaschutzinitiative der Bundesregierung gefördert wurde, senkt den Stromverbrauch um 76.000 Kilowattstunden pro Jahr und erspart der Atmosphäre 45,3 Tonnen CO₂-Emissionen.⁵¹

Außerdem leistet der **Einsatz energieeffizienter Geräte und Bauteile** einen wichtigen Beitrag zur Senkung des Energieverbrauchs im Rechenzentrum. Server, Prozessoren, Netzteile und Lüfter auf dem Stand der Technik sind bei gleicher oder verbesserter Leistung wesentlich sparsamer im Energieverbrauch als ihre Vorgänger. Auch die **Standby-Optimierung für Server** erhöht die Energieeffizienz: Zum Beispiel lassen sich zeitweise ungenutzte Server, etwa Storage oder Printserver, von einer Software für Energiemanagement gesteuert in den Standby-Modus schicken; in „Bereitschaft“ liegt der Energieverbrauch viel niedriger als im Betriebsmodus.

Ein wesentlicher Baustein jeder Green-IT-Strategie ist die **Energieeffizienz am Arbeitsplatz der Anwender**. In deutschen Unternehmen, Behörden und Bildungseinrichtungen sind rund 26,5 Millionen Arbeitsplatzcomputer im Einsatz; sie verbrauchen pro Jahr etwa vier Terawattstunden Strom.⁵² Neben der Nutzung energieeffizienter Endgeräte und Bauteile sowie einer Stand-by-Optimierung birgt hier der Einsatz von **Thin Clients** enormes Sparpotenzial. Als „Clients“ werden die Endgeräte als physische Layer von Computing bezeichnet.⁵³ Beim Konzept der „Thin Clients“ werden rechnerintensive Anwendungen über ein Netzwerk von einem zentralen Rechner („Fast Client“) ausgeführt, während die PC-Arbeitsplätze der Nutzer hauptsächlich zur Ein- und Ausgabe von Daten dienen. Die Energiebilanz der „abgespeckten“

50 Eine andere Darstellungsweise des DCIE-Werts ist der PUE-Faktor (Power Usage Effectiveness), bei dem der Quotient aus Gesamtenergieverbrauch des Rechenzentrums und Energieverbrauch der IT (Server, Speicher, Netzinfrastruktur) gebildet wird.

51 Vgl. Bundesumweltministerium (2009c).

52 Vgl. BITKOM (2011a).

53 Vgl. Kosch, B./Wagner, H. (2010), S. 210.

Endgeräte fällt um rund 50 Prozent besser aus als die herkömmlicher PCs, außerdem haben „Thin Clients“ eine längere Lebensdauer. Die Weiterentwicklung der „Thin Clients“ ist der „Zero Client“ – dieses Endgerät ist eigentlich „nur“ noch ein intelligenter Front-End-Bildschirm mit Stromversorgung und Netzwerkzugang. Da Lüfter und Kühlung überflüssig werden, ist die Energieeinsparung noch höher als beim „Thin Client“.⁵⁴

Ein Begriff, der im Kontext Green IT nicht fehlen darf, ist **Cloud Computing**. Beim Cloud Computing werden IT-Leistungen (Software, Plattformen für Entwicklung und Betrieb von Anwendungen, Basis-Infrastruktur) flexibel über das Internet bereitgestellt.⁵⁵ Anwender – private Nutzer ebenso wie Unternehmen – können über das Internet auf Rechenkapazität und Software in Cloud-Rechenzentren zugreifen. Anwendern bietet Cloud Computing den Vorteil, dass aus Investitionen variable Kosten werden, deren Höhe sich nach dem tatsächlichen Bedarf richtet. Unter dem Aspekt der Energieeinsparung hat Cloud Computing den Vorzug, dass Arbeitsplatzrechner als „Thin Clients“ laufen können. In Rechenzentren lässt sich durch Virtualisierung/Cloud Computing der Energieverbrauch ebenfalls reduzieren, weil die Anzahl der physischen Server verringert werden kann. Dies würde in Deutschland zu einer Minderung der Treibhausgasemissionen in Höhe von 2,7 Megatonnen CO₂eq führen.⁵⁶

Haushaltsgeräte

Die Energieeffizienz von Haushaltsgeräten ist in den letzten Jahren immer stärker in den Fokus gerückt. Grund dafür ist der hohe Energieverbrauch. Nach der Heizung und der Warmwasserbereitung liegen die **Haushaltsgeräte** (inklusive Kommunikation) in deutschen Häusern und Wohnungen mit einem Anteil von knapp zehn Prozent **beim Energieverbrauch der privaten Haushalte auf Platz drei**. Auf Kochen, Trocknen, Bügeln sowie Beleuchtung entfallen jeweils noch ungefähr fünf Prozent beziehungsweise zwei Prozent.⁵⁷ Insgesamt belief sich 2009 der Energieverbrauch der privaten Haushalte für Wohnen auf 656 Milliarden Kilowattstunden, das bedeutet einen Rückgang gegenüber 2005 um 6,7 Prozent.

Betrachtet man die Entwicklung jedoch differenziert nach einzelnen Gruppen zeigt sich, dass die Kategorien ‚Haushaltsgeräte‘ sowie ‚Kochen, Trocknen, Bügeln‘ die Ausreißer dieses aggregierten Abwärtstrends sind: Bei Haushaltsgeräten hat der Energieverbrauch

in diesem Zeitraum um 5,3 Prozent zugelegt, Bügeln & Co. verzehrten 2009 2,9 Prozent mehr Strom als 2005. Diese Entwicklung beim Energieverbrauch ist der **Zunahme der Geräteausstattung sowie einer gestiegenen Zahl von Haushalten** geschuldet. Diese beiden Phänomene machen – unterm Strich – zunichte, dass die Energieeffizienz der einzelnen Geräte in den letzten Jahren gestiegen ist. Um diesem **Rebound-Effekt** gegenzusteuern, sind weitere Maßnahmen notwendig, um die Energieeffizienz von Elektrogeräten zu verbessern. Ansatzpunkte sind die Öko-Designrichtlinie (siehe Infobox auf S. 84) sowie die **Information und Sensibilisierung der Verbraucher durch Energieverbrauchskennzeichnungen und Umweltgütesiegel** wie den „Blauen Engel“. Auf diese Weise kann jeder Konsument sofort erkennen, wie energieeffizient beziehungsweise -ineffizient das gewünschte Gerät ist.

Wie technologisch fortgeschritten die jüngste Generation der Haushaltsgeräte schon ist, zeigen beispielsweise die Kühl-Gefrier-Kombinationen von Siemens, die drei Viertel weniger Energie benötigen als ein vergleichbares Gerät vor 15 Jahren. Diese Verbesserung der Energieeffizienz wird durch den Einsatz neuer Materialien ermöglicht. So können zum Beispiel **Zeolithe** – weiße Kügelchen des Siedesteins – durch ihre Trocknungseigenschaft Heizstäbe in der Spülmaschine ersetzen. Das Wasser, das sich nach dem Spülen in diesen Kügelchen befindet, kann sogar bei einem neuen Spülgang durch Erhitzung zur Vorspülung benutzt werden.

Bei der **Unterhaltungselektronik** werden zukünftig **organische Leuchtdioden (OLED)** von großer Bedeutung sein. Ihr Vorteil: eine effizientere Vorschaltelctronik, ein höherer Wirkungsgrad bei der Umwandlung von Strom zu Licht als Plasma-Bildschirme sowie generell einen niedrigeren Energieverbrauch – es werden nämlich nur die Pixel mit Licht versorgt, die beleuchtet werden sollen.⁵⁸

Um den in den letzten Jahren erzielten Fortschritten bei der Energieeffizienz Rechnung zu tragen, wurden 2010 die bis dato gängigen **Energieeffizienzklassen revidiert**. Während bisher die Klassen A bis G den Energieverbrauch ausreichend beschrieben haben, sind es nun nur noch die Klassen A bis D, allerdings nach oben hin erweitert um A+, A++ und A+++.⁵⁸ Geräte der Klassen E, F und G wurden vom Markt verbannt. Zur Illustration: Eine normale Waschmaschine der Klasse A benötigt im Schnitt 300 Kilowattstunden

54 Vgl. ebenda.

55 Vgl. BITKOM (2011b).

56 Vgl. SMART 2020 Addendum Deutschland, S. 23.

57 Vgl. Statistisches Bundesamt (2010).

58 Vgl. Bockhorst, M. (2011b).

Strom pro Jahr, wohingegen die neu eingeführte Klasse A+++ mit nur zwei Dritteln dieser Energie auskommt.⁵⁹

Das Optimum in puncto Sparsamkeit lässt sich aus diesen hocheffizienten Geräten herausholen, wenn die Haushaltshelfer über eine Steuereinheit einen intelligenten Dialog mit einem Smart Meter führen können. Dies ist die Voraussetzung, um den Betrieb der Haushaltsgeräte in sogenannte Schwachlastzeiten zu verlagern, in denen Energieversorger günstige Tarife anbieten.⁶⁰

Eine wichtige Rolle bei der verbesserten Energieeffizienz von Haushaltsgeräten spielt die **Mess-, Steuer- und Regeltechnik (MSR)**. Deren Wurzeln und hauptsächlichen Anwendungsfelder liegen zwar in

der Industrie, dennoch leistet diese Querschnittstechnologie auch in privaten Haushalten wertvolle Dienste beim Energiesparen. **Hightech-Sensoren** können beispielsweise dazu beitragen, den Einsatz von Wasser in Geschirrspülern und Waschmaschinen zu optimieren und exakt dem tatsächlichen Bedarf anzupassen.

Für die Anwendung dieses Prinzips bei Bandspülmaschinen in Großküchen ist die Hobart GmbH 2011 mit dem Umwelttechnikpreis ausgezeichnet worden. Durch eine bestimmte Sensortechnik in den XXL-Geschirrspülern ist es gelungen, 30 Prozent der Energie, 50 Prozent des Spülwassers und 80 Prozent des Reinigungsmittels einzusparen.⁶¹ Der Clou bei dieser Technik ist die „Intelligenz“ der Spülmaschine: Sie kann sogar erkennen, welche Art von Geschirr gereinigt wird und welche Art der Spülung notwendig ist.

HINTERGRUND: ÖKODESIGN-RICHTLINIE

Die Weichen für die Umweltverträglichkeit werden ganz am Anfang gestellt: Die Planungs- und Designphase bestimmt die Ökobilanz aller folgenden Etappen auf dem Lebensweg eines Produkts. Ökodesign ist die Bezeichnung eines „systematischen und umfassenden Betrachtungs- und Gestaltungsansatzes“ mit dem Ziel, „die Umweltbelastungen über den gesamten Lebenszyklus durch verbessertes Produktdesign zu mindern“ (Umweltbundesamt, 2011b).

Mit der Ökodesign-Richtlinie hat die Europäische Kommission die Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Produkten erstmals rechtlich verankert. 2005 in Kraft getreten, wurde die Richtlinie in Deutschland 2008 durch das Energiebetriebene-Produkte-Gesetz (EBPG) in deutsches Recht umgesetzt. Diese erste Fassung umfasst energiebetriebene Produkte (außer Verkehrsmittel) sowie Produkte zur Erzeugung, Übertragung und Messung von Energie. Im Oktober 2009 wurde die Ökodesign-Richtlinie der Europäischen Union (2009/125/EG) novelliert; ihr Geltungsbereich wurde dabei von „energiebetriebenen“ auf „energieverbrauchsrelevante Produkte“ erweitert. Inzwischen wurde auch diese Neufassung in nationales Recht umgesetzt: Im November 2011 ist die Novellierung des Energiebetriebene-Produkte-Gesetzes in Kraft getreten; der Gesetzestitel wurde in „Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz“ geändert. Die Ökodesign-Richtlinie soll die Marktdurchdringung energieeffizienter Produkte in der Europäischen Union beschleunigen, indem Mindeststandards festgesetzt werden. Nur Produkte, die diese Kriterien erfüllen, erhalten eine Marktzulassung. Dagegen dürfen Erzeugnisse, die das Energiespar-Klassenziel verfehlen, weder hergestellt noch vertrieben werden.

Die Anforderungen der Ökodesign-Richtlinie können auf zwei Wegen festgelegt werden: entweder durch rechtliche Vorgaben der Europäischen Union - sogenannte „Durchführungsmaßnahmen“ - oder durch Selbstregulierungsinitiativen der Industrie (Umweltbundesamt, 2008). Inzwischen liegen Durchführungsmaßnahmen für mehr als zehn Produktgruppen vor (siehe Übersicht in Tabelle 4), Vorschriften für weitere 20 Produktgruppen sind in Arbeit.

Zu den ersten Maßnahmen der Ökodesign-Richtlinie gehörte 2008 die Festlegung von Obergrenzen für den Stromverbrauch von Elektrogeräten im Leerlauf (Stand-by-Modus, Schein-Aus etc.). Auf diese Weise sollen die Leerlaufverluste gesenkt werden, die sich in der Europäischen Union auf 51 Milliarden Kilowattstunden summieren. Durch die Verordnung (1275/2008/EG) sollen bis 2020 jährlich bis zu 35 Terawattstunden Strom eingespart werden. So werden acht Großkraftwerke überflüssig; die Minderung der CO₂-Emissionen beläuft sich auf 14 Millionen Tonnen.

Bei Konsumenten bekannt, aber nicht unbedingt beliebt, wurde die Ökodesign-Richtlinie vor allem durch das „Aus“ für die traditionelle Glühbirne. Sie soll durch Energiesparlampen („Kompakstofflampen“) ersetzt werden, die nur rund ein Viertel so viel Strom verbrauchen wie herkömmliche Lampen. Nachdem bereits das Ende der 100- und 75-Watt-Birnen besiegelt worden war, wurden im September 2011 auch Herstellung und Vertrieb der 60-Watt-Standardbirne für immer ausgeknipst.

59 Vgl. energie-sparen-aktuell.de (2011).

60 Siehe dazu detailliert im Kapitel *Dezentrale Energieversorgung*.

61 Vgl. Hobart GmbH (2011).

Tabelle 4: Übersicht der bisher in der Ökodesign-Richtlinie erfassten Produktgruppen

Produktgruppe	Durchführungs- maßnahme	Inkrafttreten der Verordnung
Einfache Digitelempfänger (Set-Top-Boxen)	VO (EG) 107/2009	25.02.2009/25.02.2010
Heizkessel und Kombiboiler	nn	nn
Warmwasserbereiter	nn	nn
PCs (Desktop, Laptop), Monitore, digitale Bilderrahmen	nn	nn
Geräte mit Druckfunktion (Scanner, Drucker, Kopierer)	nn	nn
Fernsehgeräte	VO (EG) 642/2009	12.08.2009/07.01.2010
Stand-by- und Schein-Aus-Verluste (Leerlaufverluste)	VO (EG) 1275/2008	07.01.2009/07.01.2010
Externe Netzteile	VO (EG) 278/2009	27.04.2009/27.04.2010
Bürobeleuchtung	VO (EG) 245/2009	13.04.2009/13.04.2010
(Öffentliche) Straßenbeleuchtung	VO (EG) 245/2009	13.04.2009/13.04.2010
Klima- und Lüftungstechnik im Haushalt	nn	nn
Elektromotoren	VO (EG) 640/2009	12.08.2009/16.06.2011
Umwälzpumpen	VO (EG) 641/2009	12.08.2009/16.06.2011
Wasserpumpen	nn	nn
Ventilatoren	nn	nn
Gewerbliche Kühl- und Tiefkühlgeräte	nn	nn
Haushaltskühl- und Gefriergeräte	VO (EG) 643/2009	12.08.2009/01.07.2010
Haushaltswaschmaschinen	VO (EG) 1015/2010	11.11.2010/01.12.2011
Haushaltsgeschirrspülmaschinen	VO (EG) 1016/2010	11.11.2010/01.12.2011
Kleine Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe	nn	nn
Wäschetrockner	nn	nn
Staubsauger	nn	nn
Komplexe Digitelempfänger (Set-Top-Boxen)	nn	nn
19a Haushaltsbeleuchtung/Allgemeinbeleuchtung	VO (EG) 244/2009	13.04.2009/01.09.2009
19b gerichtete Lichtquellen (Reflektorlampen)	nn	nn
Kühlgeräte	nn	nn
Transformatoren	nn	nn
Geräte zur Ton- und Bildverarbeitung	nn	nn
Einzelraumheizgeräte	nn	nn
Warmluftzentralheizung (ohne KWK)	nn	nn
Haushalts- und Gewerbeöfen für Speisen, inkl. Mikrowellengeräte	nn	nn
Haushalts- und Gewerbeherde und -grills	nn	nn
Gewerbliche Geschirrspüler	nn	nn
Gewerbliche Waschmaschinen und Trockner	nn	nn
nicht-gewerbliche Kaffeemaschinen	nn	nn
Verbrauch im vernetzten Bereitschaftsbetrieb (networked stand-by)	nn	nn
Haushaltsnotstromversorgung (domestic UPS)	nn	nn
Feuerungsanlagen und Öfen für Industrie und Labor	nn	nn
Werkzeugmaschinen	nn	nn
Klima- und Lüftungsanlagen	nn	nn
Wasser verbrauchende Geräte	nn	nn
Bildgebende Medizingeräte	nn	nn

Quelle: Umweltbundesamt; Stand: 12/2010

Rohstoff- und Materialeffizienz



Rasant anziehende Nachfrage bei schrumpfendem Angebot – so lässt sich die Tendenz **auf den internationalen Rohstoffmärkten** seit der Jahrtausendwende prägnant zusammenfassen. Die Folge ist ein deutlicher **Anstieg des Preisniveaus**; lediglich die Finanz- und Wirtschaftskrise 2008/2009 hat den Höhenflug der Rohstoffpreise kurz unterbrochen. Inzwischen haben sie wieder zum Steigflug angesetzt, und diese Aufwärtsbewegung wird sich in den nächsten Jahrzehnten fortsetzen, angetrieben vom Zusammenspiel von globalem Bevölkerungswachstum und zunehmendem Rohstoffbedarf der Schwellenländer. Vor diesem Hintergrund zählt die Ressourcenknappheit zu den Megatrends, die die wirtschaftliche Entwicklung mittel- und langfristig prägen werden.

Würde man den heutigen Ressourcenverbrauch in die Zukunft projizieren, wären 2050 fünf Exemplare des Planeten Erde nötig, um den Rohstoffbedarf der

Menschheit zu decken. Eine **Abkopplung des Wirtschaftswachstums vom Ressourcenverbrauch** tut also Not. Diesem Ziel dient das Deutsche Ressourceneffizienzprogramm (ProgRes), das die Bundesregierung im Februar 2012 beschlossen hat. Dieser „Masterplan für nachhaltiges Wachstum“ soll mithilfe der Instrumente Marktanreize, Forschung, Innovation und Beratung die Rohstoffproduktivität der deutschen Wirtschaft erhöhen. Dafür beschreibt ProgRes Handlungsansätze, Maßnahmen und Best-Practice-Beispiele entlang der Wertschöpfungskette.

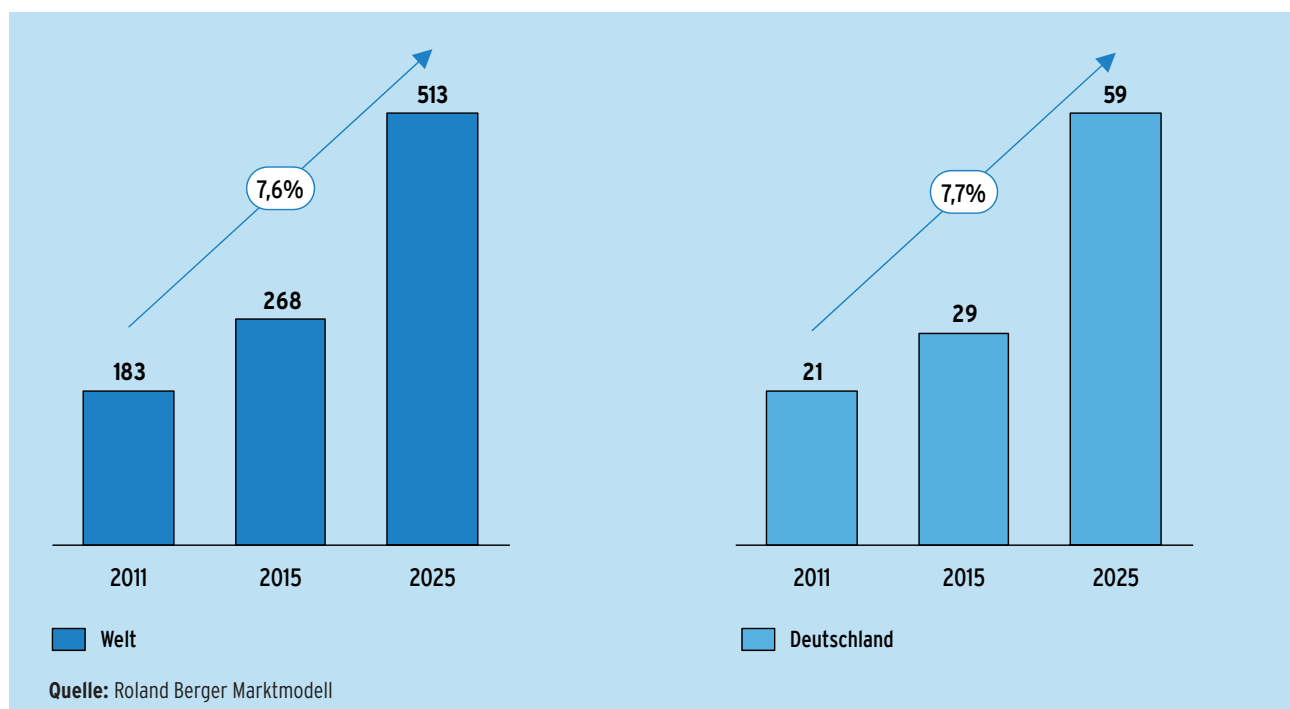
Der Königsweg zum Ziel, Wachstum und Ressourcenverbrauch zu entkoppeln, ist die Steigerung der Ressourceneffizienz; sie kann durch Produkt- und Prozessinnovationen erreicht werden, etwa mithilfe neuer Materialien oder durch den Einsatz der Biotechnologie und Nanotechnik.

Der Leitmarkt Rohstoff- und Materialeffizienz umfasst Technologien und Verfahren, die den Verbrauch von nicht-energetischen Rohstoffen und Werkstoffen reduzieren. Ressourceneffizienz ist der übergeordnete Begriff für die beiden Bereiche Energieeffizienz und Rohstoff- und Materialeffizienz. Die Technologien und Verfahren der Energieeffizienz bilden einen eigenen Leitmarkt und werden ab Seite 64 ausführlich beschrieben. Thema des Leitmarktes Rohstoff- und Materialeffizienz sind **die nicht-energetischen Rohstoffe** (außer Nahrungsmittel und Wasser) wie Metalle, Bodenschätze etc. **Rohstoffeffizienz bedeutet Effizienz bei der Rohstoffgewinnung, Materialeffizienz bezeichnet die Effizienz bei der Rohstoffverarbeitung.** Der Fokus bei der Darstellung dieses Leitmarktes liegt auf der Güterproduktion in Industrie und Gewerbe. Legitimiert wird diese Schwerpunktsetzung durch die große Bedeutung der Rohstoffversorgung für die deutschen Unternehmen. Pro Jahr werden in Deutschland Materialien im Wert von 500 Milliarden Euro verarbeitet. Dieser Betrag macht deutlich, welche Sparpotenziale sich durch effizienzsteigernde Maßnahmen heben lassen: **Eine Erhöhung der Materialeffizienz um 20 Prozent würde eine Ersparnis von 100 Milliarden Euro bedeuten.**¹

Diese Größenordnung macht die Bedeutung der Materialeffizienz für Unternehmen und damit auch für die Volkswirtschaft deutlich. Diese Relevanz spiegelt sich in der Systematisierung der Marktsegmente dieses Beitrags wider.

1 Vgl. Deutsche Materialeffizienzagentur (2011a).

Abbildung 48: Marktprognose Rohstoff- und Materialeffizienz 2011, 2015 und 2025
(in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)



Das Marktsegment **Materialeffiziente Verfahren** beschreibt anhand einiger Beispiele aus „klassischen“ Industriebranchen, wie Betriebe durch Verbesserungen der Produktionsprozesse und den Einsatz neuer Werkstoffe sowohl ihre Kosten senken als auch die Umwelt schützen. Im **zweiten Marktsegment werden die Querschnittstechnologien Biotechnologie und Nanotechnik im Kontext Materialeffizienz beschrieben**. Diese zwei Schlüsseltechnologien werden so prominent dargestellt, weil sie schon heute in zahlreichen Produkten und Anwendungen zeigen, dass sie völlig neue Perspektiven für den sparsamen Umgang

mit Ressourcen eröffnen. Weil der Ersatz (endlicher) fossiler durch nachwachsende Rohstoffe (NaWaRo) zu den wesentlichen Hebeln für den nachhaltigen Umgang mit Ressourcen zählt, bildet dieses Themenfeld das **dritte Marktsegment dieses Leitmarktes**. Unter der Bezeichnung ‚**Nachwachsende Rohstoffe**‘ werden hier diverse Einsatzmöglichkeiten von Industriepflanzen und ihren Bestandteilen vorgestellt. Schon heute decken NaWaRo etwa ein Zehntel des Rohstoffbedarfs der chemischen Industrie in Deutschland, Tendenz steigend.

Marktsegment Materialeffiziente Verfahren

Materialkosten bilden in der Kostenstruktur des produzierenden Gewerbes mit einem Anteil von knapp 43 Prozent den größten Posten, weit vor den Personalausgaben mit einem Anteil von über 20 Prozent (siehe Abbildung 50). Wer die Ausgaben für das Material kappt, entlastet die Kostenseite und verbessert damit seine Wettbewerbsfähigkeit. Allerdings machen Unternehmen noch zu wenig Gebrauch von diesem Hebel: Während die Arbeitsproduktivität gezielt verbessert wurde und sich seit 1960 um den Faktor 3,5 erhöht hat, legte die Materialeffizienz nur um den Faktor zwei zu.

Dabei wäre das Potenzial erheblich größer. Auf Ebene der Unternehmen schätzt die Deutsche Materialeffizienzagentur (demea) das **Sparpotenzial beim Materialverbrauch auf durchschnittlich 218.000 Euro pro Jahr und Betrieb**; das entspricht auf den Umsatz bezogen einer durchschnittlichen Materialeinsparnis von 2,4 Prozent. Im Marktsegment Materialeffiziente Verfahren werden Lösungen aufgezeigt, wie Unternehmen ihre Materialeffizienz durch innovative Verfahren und Werkstoffe erhöhen können.

Möglichkeiten zur Materialeinsparung bieten sich in fast allen „klassischen“ Industrien. **Rund 20 Pro-**

Abbildung 49: Marktprognose Materialeffiziente Verfahren 2011, 2015 und 2025 in Deutschland (in Millionen Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)

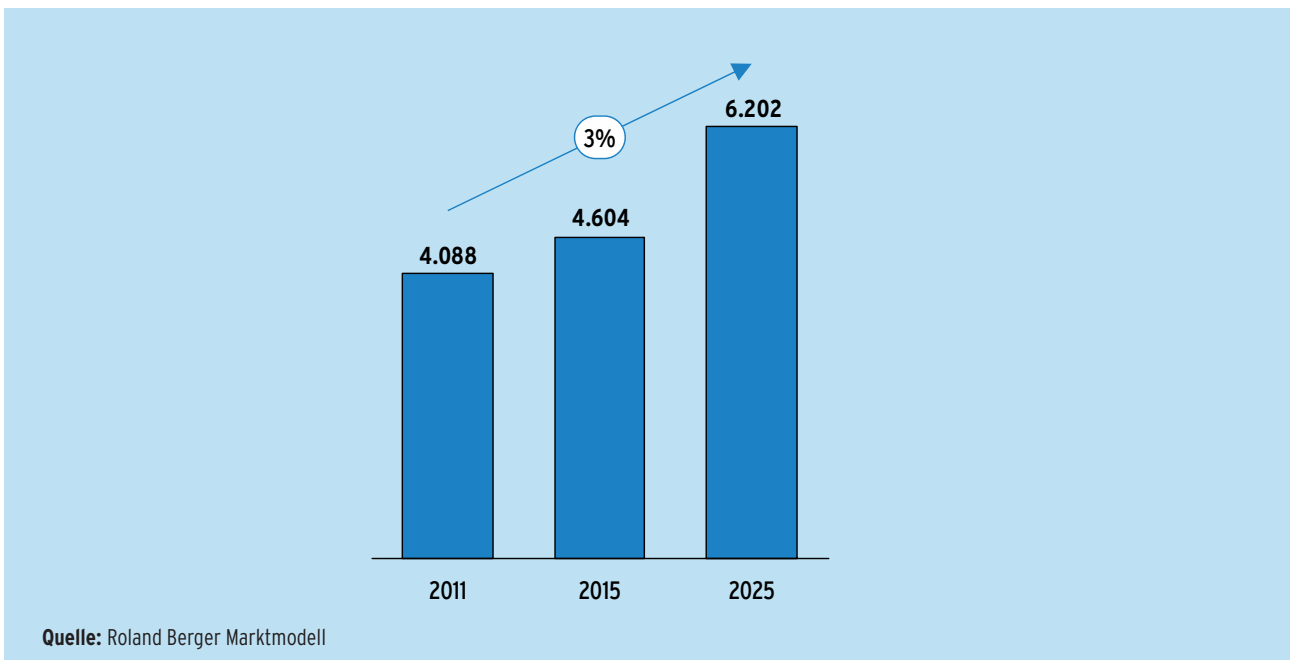
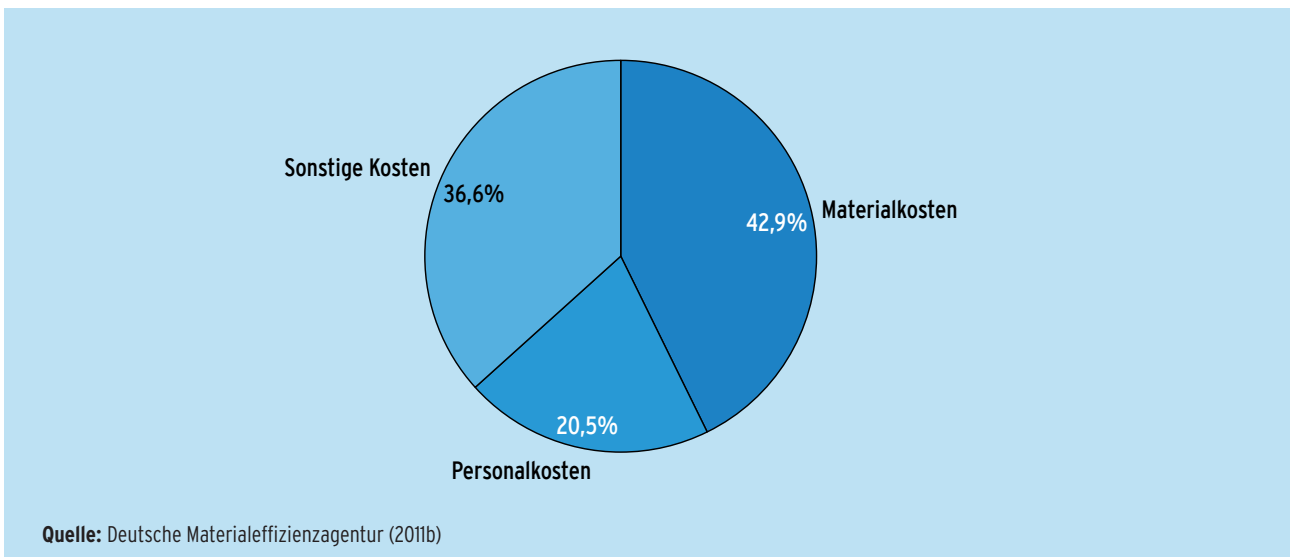


Abbildung 50: Kostenstruktur im produzierenden Gewerbe



zent der derzeit eingesetzten Rohstoffe könnten durch erhöhte Materialeffizienz eingespart werden. Dazu gibt es eine Reihe unterschiedlicher Ansatzpunkte, um Ressourcen optimal zu verwerten. Die Palette der Effizienzmaßnahmen umfasst eine optimale Nutzung der Rohstoffe durch eine höhere Reinheit beziehungsweise Konzentration, den verstärkten Einsatz von regenerativen Rohstoffen für Hilfs- und Betriebsstoffe, die Kreislaufführung von Materialien in der Produktion sowie die Substitution von Materialien. Vor der Notwendigkeit des sparsamen Umgangs mit Ressourcen stehen alle Wirtschaftszweige. Dabei gilt generell: Je ressourcen-

intensiver die Branche ist, desto größer das Einsparpotenzial. Unternehmen aus der Metallindustrie, Baustoffherstellung oder Chemieindustrie haben je nach Branche unterschiedliche Ansätze entwickelt, um die Materialeffizienz zu steigern.

Metall- und Stahlindustrie

Generell gehört die Metall- und Stahlindustrie zu den rohstoffnahen Wirtschaftszweigen mit hohem Energieverbrauch. Es bieten sich einige Ansatzpunkte für die Verbesserung der Materialeffizienz, die sich durch Prozessinnovationen und den Einsatz neuer Werkstoffe steigern lässt.

BESSERE PROZESSPLANUNG, HÖHERE MATERIALEFFIZIENZ

345.000 Euro pro Jahr kann die Schürholz GmbH Co. KG durch eine Verbesserung der Prozessvorbereitung und -planung sowie durch die Wiederverwertung von Stanzabfällen einsparen. Das Unternehmen aus Plettenberg (Niedersachsen) ist auf Blechumformung spezialisiert und fertigt Metallteile und Komponenten für die Automobilindustrie, die Elektroindustrie und die Bahntechnik. Der mittelständische Betrieb wollte durch eine Verringerung der Schnittverluste und Wiederverwertung von Stanzabfällen die Materialkosten bei der Produktion senken. Eine Beratung, die durch das Förderprogramm

VerMat des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie unterstützt wurde, zeigte Schürholz den Weg zu diesem Sparziel: Die Materialanpassung wurde für die Arbeitsbreiten der Maschinen optimiert, außerdem wurde die Prozesskontrolle verbessert. Die Stanzabfälle werden für andere Produkte, unter anderem Ronden und Unterlegscheiben, verwendet.

Quelle: Deutsche Materialeffizienzagentur (2008)

Die **Optimierung bestehender Verfahren** kann erheblich zur Einsparung von Material beitragen. Die Trumpf GmbH + Co. KG hat eine Methode entwickelt, den Verschnitt beim Stanzen auf null zu reduzieren. Für dieses Verfahren wurde das schwäbische Maschinenbau-Unternehmen in der Kategorie „Materialeffizienz“ mit dem zweiten Platz des baden-württembergischen Umwelttechnikpreises 2011 belohnt. Das Zusammenspiel aus Stanzmaschine, Software und intelligenten Werkzeugen ist so fein programmiert, dass nach Beendigung des Stanzens nichts von einer Blechtafel übrigbleibt. Dieses Konzept steigert die Materialeffizienz im Durchschnitt um zehn Prozent. Die Herstellung von Blechtafeln erfordert einen erheblichen Energieeinsatz, der 30- bis 80-mal höher ist als die Betriebsstunde einer Stanzmaschine. Diese Relation macht die Bedeutung der restgitterfreien Bearbeitung für die Ressourceneffizienz deutlich.²

Eine **größere Materialausbeute** ist auch das **Ziel eines neuen Verfahrens zur Wertmetallgewinnung aus Schlacke**. Die meisten Metalle werden durch Schmelzen in einem Hochofen erzeugt. Als Resultat dieses Prozesses fällt außer dem erwünschten Metall Schlacke an. Dieses Nebenprodukt enthält in der Regel noch Wertmetalle. Ein gemeinsames Forschungsprojekt der Aurubis AG, SMS Siemag AG und des Instituts für Metallhüttenkunde und Elektrometallurgie der RWTH Aachen will ein Behandlungsverfahren entwickeln, um Nickel, Kobalt, Molybdän, Zink, Zinn, Antimon, Blei und Kupfer aus der Schlacke besser zu verwerten. Das Ziel lautet, etwa 90 Prozent der Wertmetalle zurückzugewinnen. Umgesetzt werden soll diese Idee mithilfe eines Elektroofens und eines nachgeschalteten Rührreaktors. Durch sein Magnetfeld werden die Wertmetall-Teile aus dem Schlackenbad herausgeholt.³

Den hohen **Stellenwert der Prozessplanung bei der Steigerung der Materialeffizienz** zeigt das Beispiel der VHW Metallpresswerk GmbH. Die Firma aus dem baden-württembergischen Spaichingen ist Spezialist für massivumgeformte Metallteile, der täglich über eine halbe Million Formteile aus Stahl produziert. Auch in diesem Unternehmen sollte die Menge des Materialabfalls in der Fertigung reduziert werden. Umgesetzt wurde dieser Vorsatz durch Veränderungen im Produktionsprozess, dessen gesamter Ablauf auf den Prüfstand gestellt wurde, von den Rüstzeiten über die Werkzeugkonstruktion, die Werkzeugstandzeiten bis hin zur Instandhaltung. In Summe führte dieses Maßnahmenpaket zu einem Einspareffekt von rund zwei Millionen Euro pro Jahr.⁴

Ein wichtiger Schritt auf dem Weg zu mehr **Materialeffizienz** ist die **Reduzierung des Bedarfs an Hilfs- und Betriebsstoffen wie Schmiermitteln, Verschleißteilen oder Zusatzstoffen**. In manchen Fällen können innovative Verfahren den Einsatz von Hilfsstoffen überflüssig machen. Die Diebold Goldring Werkzeugfabrik hat ein Fräsverfahren entwickelt, das ohne Bohröl auskommt: Ein Spindelvorsatz wird auf die Fräsmaschine gesetzt; die Druckluft aus seinen Düsen bläst nicht nur die anfallenden Späne sofort weg, sondern kühlt auch die Arbeitsstelle. Je nach Bedarf, kann Luft, ein Kühlmittel-Luft-Gemisch oder ein Öl-Luft-Gemisch gesprüht werden. Der Einsatz von Schmiermitteln lässt sich nun also fein dosieren, während vorher pro Tag Hunderte Liter Öl zum Fortspülen mit Öl verbraucht wurden. Für die Nachrüstung auf das neue Verfahren hat das Unternehmen aus Jungingen in Baden-Württemberg 30.000 Euro ausgegeben; diese Investition amortisiert sich jedoch in weniger als einem Jahr, wobei sich der Verzicht auf Bohröl, der geringere Aufwand für Reinigung und Wartung der

2 Vgl. Trumpf GmbH + Co. KG (2011).

3 Vgl. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (Hrsg.) (2010), S. 22.

4 Vgl. Csapo, L. (2010).

Fräsmaschine sowie für das Altöl-Recycling bemerkbar machen.⁵ Unternehmen aus Deutschland gelten in der Technik der Trockenbearbeitung als weltweit führend; mithilfe dieses Verfahrens können bis zu 16 Prozent der Produktionskosten eingespart werden.

Eine höhere Materialeffizienz lässt sich in vielen Fällen auch durch den **Einsatz neuer beziehungsweise verbesserter Materialien** erreichen. So reduzieren beispielsweise hoch- und höchstfeste Stähle sowie Tailored Blanks den Materialeinsatz. Tailored Blanks sind Platinen aus Stahlblech, die „maßgeschneidert“ sind („tailored“). Einzelne Stahlbleche mit unterschiedlichen Eigenschaften (Dicke, Festigkeit und Oberflächenbeschichtung) werden durch Laserschweißen verbunden. Diese Kombination ermöglicht, dass die Platine exakt den jeweiligen Anforderungen entspricht.⁶ Sparsamer Umgang mit Wertmetallen ist auch die Devise für Metallschäume, zum Beispiel aus Aluminium. Sie bestehen zu 85 Prozent aus Luft und sind deshalb „Leichtgewichte“.⁷ Dennoch weisen sie eine hohe Festigkeit auf, sodass sie ideal für Bremszylinder und Katalysatoren in der Automobilindustrie geeignet sind.

Dem Leichtbau kommt bei der Materialeffizienz ein besonderer Stellenwert zu: „Leichtbau, das ist die Summe aus innovativen werkstofflichen, verfahrenstechnischen und konstruktiven Konzepten.“ – Diese Definition des VDI spannt den Rahmen, in dem sich durch Leichtbau Materialeinsparungen realisieren lassen. Beim Materialeleichtbau geht es um den gezielten Einsatz alternativer Werkstoffe, die bei mindestens gleichen oder verbesserten Eigenschaften leichter sind als konventionelle Materialien.

Metalle wie Aluminium und Magnesium sind leichter als konventioneller Stahl und werden deshalb immer häufiger verwendet, um Gewicht zu reduzieren.⁸ Ein wichtiges Feld sind dabei **Sandwichkonstruktionen**, die zu den wichtigsten Elementen des Leichtbaus gehören. Solche Konstruktionen bestehen normalerweise aus zwei dünnen Deckschichten, zwischen denen sich ein Kernwerkstoff befindet. Für die U-Bahn in der indischen Metropole Delhi hat die Metawell GmbH aus Neuburg a. d. Donau ein „Aluminium-Sandwich“ für die Fußbodenplatten entwickelt: Die Dicke der Außenbleche beträgt 1,2 Millimeter auf der Seite mit Bodenbelag und einen Millimeter auf der Unterseite; dazwischen liegt der wellenförmige Aluminiumkern

mit einer „Dicke“ von 0,3 Millimetern. Diese Platte verkraftet Flächenlasten von bis zu 650 Kilogramm/Quadratmeter bei großen Stützabständen der Unterkonstruktion. Dabei ist dieses Sandwich um 75 Prozent leichter als eine Konstruktion aus massivem Aluminium.⁹

Baugewerbe

In der Bauindustrie bieten sich **viele Ansatzpunkte, um die Ressourceneffizienz zu erhöhen**. Dies gilt sowohl für die Herstellung von Baugrundstoffen wie Steinen und Erden als auch für den Einsatz neuer Baumaterialien.

Die **Herstellung von Zement** ist ein sehr energieintensiver Prozess, bei dem erhebliche CO₂-Emissionen entstehen: Zementwerke sind für fünf bis sieben Prozent des weltweiten CO₂-Ausstoßes verantwortlich, das entspricht drei Milliarden Tonnen. Celitement® ist ein neues Verfahren der Zementherstellung, das am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) entwickelt wurde und den Energieverbrauch halbieren soll. Außerdem kommt Celitement® mit weniger Rohstoffen aus: Der Bedarf an Kalkstein sinkt um ein Drittel, die Beimengung von Gips als Zumahlstoff ist überflüssig. Das ressourceneffiziente Verfahren wird derzeit von der Celitement GmbH, einer Gründung der Schwenk Baustoff-Gruppe, des Karlsruhe Institut für Technologie KIT und von Wissenschaftlern des KIT, zur Marktreife gebracht. Eine Pilotanlage auf dem KIT-Campus produziert täglich 100 Kilogramm des Bindemittels.¹⁰ Läuft das Projekt nach Plan, soll etwa in fünf Jahren eine Anlage mit einer Jahresproduktion von 30.000 Tonnen in Betrieb gehen. Celitement® ist bereits mehrfach ausgezeichnet worden, unter anderem mit dem demea-Materialeffizienzpreis 2010 und dem Umwelttechnik-Sonderpreis Baden-Württemberg 2011.

Die Cobiax Technologies GmbH erhielt ebenfalls den demea-Materialeffizienzpreis für ein innovatives Verfahren am Bau. Das Unternehmen aus Darmstadt verringerte das Gewicht von Stahlbetondecken um mehr als ein Drittel. Hohlkörper ersetzen den Beton an den Stellen, an denen die Tragfähigkeit nicht unbedingt die Verwendung von Beton erfordert. Dies macht das Tragwerk leichter. Der **Einsatz der Hohlkörper** reduziert die nötige Betonmenge um 35 Prozent; außerdem werden 20 Prozent weniger Bewehrungsstahl gebraucht.¹¹

5 Vgl. Deutsche Materialeffizienzagentur (2010a).

6 Vgl. ThyssenKrupp Tailored Blanks GmbH (2011).

7 Vgl. Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung (2009), S. 21.

8 Vgl. Zum Leichtbau siehe auch Leitmarkt Nachhaltige Mobilität.

9 Vgl. Müller-Wondorf, R. (2010).

10 Vgl. Karlsruher Institut für Technologie (2011).

11 Vgl. Deutsche Materialeffizienzagentur (2010b), S. 4.

Chemische Verfahren

Die Forschung und Entwicklung arbeitet intensiv daran, **regenerative Rohstoffe als Ausgangsmaterialien für chemische Prozesse** einzusetzen. Am Institut für Organische Chemie und für Physikalische Chemie der Universität Regensburg werden chemisch-katalytische Verfahren entwickelt, die gut verfügbare nachwachsende Rohstoffe in Feinchemikalien verwandeln: An einem chemischen Katalysator werden aus regenerativen Rohstoffe wie Saccharose, Fettsäure, Aminosäure gut einsetzbare Synthesekemikalien. Einfach ausgedrückt: Ein natürlicher Rohstoff wird lediglich umfunktioniert, ohne dabei seine Kerneigenschaft beziehungsweise -fähigkeit einzubüßen.¹²

Ein materialeffizientes Verfahren zur **Gewinnung von Chlor in der Chemieindustrie** ist die Gasphasenoxidation von Chlorwasserstoff (DEACON-Verfahren). In herkömmlichen großtechnischen Verfahren wird Chlor durch Elektrolyse aus wässriger Natriumchlorid-

oder wässriger Salzsäurelösung hergestellt. Die Elektrolyse ist ein sehr energieintensiver Prozess, der große Mengen von Strom verbraucht. Das DEACON-Verfahren ersetzt die Salzsäure-Elektrolyse. In einem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unterstützten Projekt arbeiten fünf Partner daran,¹³ dieses Verfahren nicht nur energieeffizient, sondern auch materialeffizient zu gestalten: Sowohl die Elektrolyse als auch die Gasphasenoxidation benötigen für die bei diesen Prozessen ablaufenden Reaktionen Katalysatoren mit einem hohen Gehalt an seltenen Edelmetallen, insbesondere Ruthenium. Die Forscher in diesem Projekt, das von der Bayer MaterialScience AG koordiniert wird, haben sich vorgenommen, den Bedarf an Edelmetallen zu reduzieren und Ruthenium-arme oder Ruthenium-freie Katalysatoren zu entwickeln. Auf diese Weise sollen schließlich 50 bis 80 Prozent weniger Edelmetall für die Herstellung von Chlor benötigt werden.¹⁴

Marktsegment Querschnittstechnologien

Als Querschnittstechnologien werden Technologien bezeichnet, deren Anwendung nicht auf bestimmte Industrien beschränkt bleibt, sondern für eine Vielzahl von Branchen relevant ist. Anschaulichstes Beispiel für eine Querschnittstechnologie ist die Informations- und Kommunikationstechnologie, die inzwischen in jedem Wirtschaftszweig eine unverzichtbare Rolle spielt. Auch die **Biotechnologie** und die **Nanotechnik** zählen zu diesen Querschnittstechnologien. Sie gelten für die Weiterentwicklung materialeffizienter Produkte und Verfahren als Schlüsseltechnologien – aus diesem Grund stehen Biotechnologie und Nanotechnik **im Fokus des Marktsegmentes Querschnittstechnologien**.¹⁵ Zunächst werden die Grundlagen der Biotechnologie und Nanotechnik skizziert; anschließend wird an einigen Beispielen dargestellt, welche Ressourceneinsparungen diese Technologien ermöglichen.

Biotechnologie

Die Biotechnologie ist eine **klassische Querschnittstechnologie**, die eine Vielzahl von Produkten und Verfahren umfasst. Die Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) definiert Biotechnologie als „Anwendung von Wissenschaft und Technik auf lebende Organismen, Teile von ihnen, ihre Produkte oder Modelle von ihnen zwecks Veränderung von lebender und nichtlebender Materie zur Erweiterung des Wissensstandes, zur Herstellung von Gütern und zur Bereitstellung von Dienstleistungen.“¹⁶ Die **Anwendungsfelder der Biotechnologie** werden durch unterschiedliche Farben bezeichnet: Gegenstand der Roten Biotechnologie sind diagnostische und therapeutische Verfahren in der Medizin, die Grüne Biotechnologie befasst sich mit der Biotechnologie in der Landwirtschaft, Weiße Biotechnologie bezeichnet die Anwendung der Biotechnologie in der industriellen Produktion. Außerdem gibt es noch die Blaue Biotechnologie mit der Nutzung maritimer Organismen für biotechnologische Verfahren oder Produkte.

12 Vgl. Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie (2011).

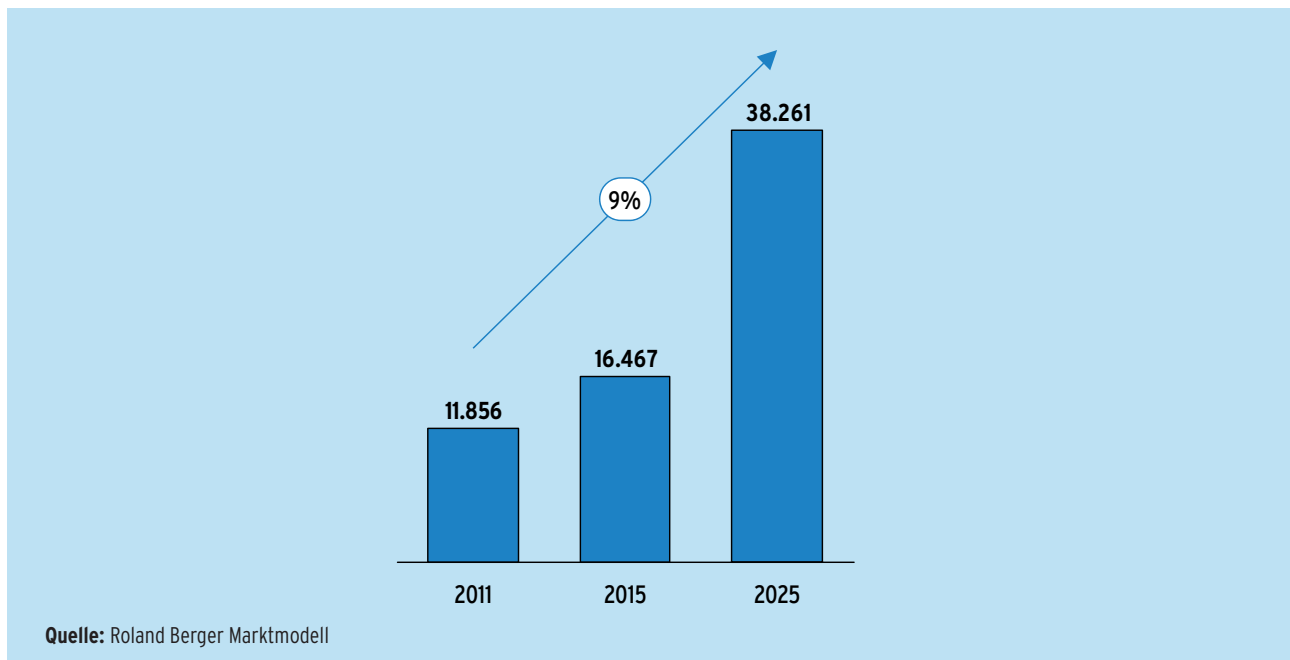
13 Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Technische Fakultät, Department Werkstoffwissenschaften, Werkstoffkunde und Technologie der Metalle; Justus-Liebig-Universität Gießen, FB 08, Biologie und Chemie, Physikalisch-Chemisches Institut; Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Chemie und Biochemie, Lehrstuhl für Analytische Chemie; Technische Universität Berlin, Fakultät II, Institut für Chemie; Universität des Saarlandes, Fakultät 8 Naturwissenschaftlich-Technische Fakultät III, Fachrichtung 8.1, Chemie.

14 Vgl. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (Hrsg.) (2010), S. 28.

15 Zu den wichtigen Querschnittstechnologien zählt auch die Informations- und Kommunikationstechnik („Green IT“). Dieses Thema wird ausführlich im Leitmarkt Energieeffizienz dargestellt (siehe S. 64ff.).

16 Zitiert nach biotechnologie.de; vgl. biotechnologie.de. Die Informationsplattform (2011).

Abbildung 51: Marktprognose Querschnittstechnologien 2011, 2015 und 2025 in Deutschland (in Millionen Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)



Im Kontext Ressourceneffizienz spielt die **Weißer Biotechnologie** eine Schlüsselrolle: Dieses Anwendungsfeld der Biotechnologie nutzt den „Werkzeugkasten der Natur“ für industrielle Anwendungen.¹⁷ Dabei werden Mikroorganismen oder deren Bestandteile für die Herstellung von industriellen Produkten verwendet, deren Bandbreite unter anderem Spezial- und Feinchemikalien, Agrar- und Pharmavorprodukte, Lebensmittel- und Lebensmittelzusatzstoffe abdeckt. Grundsätzlich ist der Einsatz von Mikroorganismen als Helfer in der Lebensmittelproduktion kein neues Verfahren, Wein, Sauerteig und Käse sind schließlich seit vielen Jahrhunderten bekannt. Aber in den 1980er Jahren stieß die Weiße Biotechnologie auf zunehmendes Interesse seitens der Industrie: Im Gefolge der Ölkrise rückten Produktionsverfahren in den Fokus der Aufmerksamkeit, die weniger knappe und teurer werdende Ressourcen erfordern.

Unter Nachhaltigkeitsaspekten hat die **Weißer Biotechnologie** den Vorzug, dass ihre Verfahren den **Verbrauch von Energie und Rohstoffen senken** beziehungsweise **endliche Rohstoffe durch nachwachsende ersetzt werden** können. Aufgrund dieses Potenzials erlebt die Weiße Biotechnologie derzeit einen Aufschwung; dieses Anwendungsfeld verzeichnet bereits seit einigen Jahren ein überproportionales Wachstum. Außerdem zeichnet sich eine Intensivierung der Forschung und Entwicklung ab: 2011 hat die

Technische Universität München ein Technikum für Weiße Biotechnologie eingeweiht. Vom Bundesministerium für Bildung und Forschung wurde die „Innovationsinitiative industrielle Biotechnologie“ initiiert, die mit 100 Millionen Euro gefördert werden soll.

In der Praxis treiben die Unternehmen der Chemieindustrie die **Weiterentwicklung biotechnologischer Verfahren** voran: Die BASF SE betrachtet die Weiße Biotechnologie als eines von fünf „Wachstumsclustern“; in ihnen werden Themen gebündelt, die Antworten auf die Herausforderungen der globalen Megatrends liefern sollen.¹⁹ Ein Beispiel für den Einsatz der industriellen Biotechnologie bei BASF ist die Herstellung von Phytase. Dieses Enzym sorgt für die Freisetzung des Phosphors, der in pflanzlichen Futtermitteln als sogenanntes Phytat enthalten ist. Im Organismus von Schweinen und Geflügel kommt das Enzym Phytase nicht vor; deshalb wird Phytat ungenutzt ausgeschieden, was das Grundwasser belastet. Ein Ausweg ist die Beimischung von Phytase ins Futter. Zur Herstellung dieses Enzyms hat BASF die Schimmelpilzart *Apergillus niger* genetisch so verändert, dass sie Phytase in großen Mengen herstellen kann.

Bei der Henkel AG wird daran gearbeitet, mithilfe von Enzymen effiziente Kaltwäsche zu ermöglichen: Gesucht wurden Bakterien, die Enzyme produzieren, die bei der Temperatur von Leitungswasser aktiv sind.

¹⁷ Vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung (2008), S. 4.

¹⁸ Vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung (2011).

¹⁹ Vgl. BASF SE (2011a).

Diese Enzyme sollen die Leistung von Flüssigwaschmitteln verstärken. Die Forschung von Henkel, die in Kooperation mit der BRAIN AG durchgeführt wurde, war erfolgreich: Die kälteaktiven Enzyme von Bodenbakterien holen bei 20 Grad statt bei 40 Grad Celsius Waschtemperatur den Schmutz aus dem Gewebe. Weil dieser 20 Grad Unterschied eine Energieersparnis von etwa 50 Prozent ausmachen, ist die **Tiefen-temperaturprotease** ein Beitrag zum nachhaltigen Umgang mit Ressourcen im Haushalt.²⁰

Ein weiteres Anwendungsfeld der Weißen Biotechnologie ist die **Produktion von Biokraftstoffen**: In Straubing (Bayern) hat die Süd-Chemie AG die größte Anlage in Deutschland zur Herstellung von Bioethanol der zweiten Generation, sogenanntem Cellulose-Ethanol, gebaut. Die Demonstrationsanlage für die sunliquid®-Technologie des Spezialchemieunternehmens produziert jährlich bis zu 2.000 Tonnen Bioethanol aus Agrarreststoffen. In dem Verfahren werden zellulosebasierte Pflanzenbestandteile (Weizen- oder Maisstroh, Bagasse aus Zuckerrohr oder Energiepflanzen) mithilfe von Enzymen im ersten Schritt in Zuckerbestandteile umgewandelt. Daraus wird anschließend Bioethanol gewonnen. Die für diesen Prozess notwendigen Enzyme werden in der Produktionsanlage hergestellt. Die sunliquid®-Technologie zeichnet sich nach Angaben von Süd-Chemie durch eine besondere Ergiebigkeit aus: Im Vergleich zu herkömmlichen Technologien lässt sich die Ethanol-Produktion um 50 Prozent steigern, weil nicht nur die Cellulose, sondern auch die sogenannten Hemicellulosen der Pflanze zu Ethanol umgesetzt werden.²¹

Nanotechnik

Die Nanotechnik gilt als eine der **Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts** und ist eine typische Querschnittstechnologie, die viele verschiedene Technologien und Verfahren in unterschiedlichen Branchen umfasst. Gegenstand der Nanotechnik ist die Herstellung von Körpern im Nanometerbereich. Nanopartikel sind Teile, die in einer der drei Raumrichtungen nicht größer als 100 Nanometer (Millionstel Millimeter) sind. Als Enabler für innovative Produktlösungen und Verfahren kommen **nanoskalige Materialien** insbesondere deshalb infrage, weil sie andere mechanische, optische, elektronische und magnetische Eigenschaften aufweisen können als dasselbe Material mit einer größer skalierten Struktur. Aufgrund dieser besonderen Eigenschaften können mithilfe der Nanotechnologie Werkstoffe und Produkte verbessert

werden. Ein typisches Merkmal von Nanomaterialien ist beispielsweise der hohe Anteil an Materialoberfläche in Relation zum Volumen.²²

Die Nanotechnik hat bereits Einzug in einige Industrien gehalten; eine wichtige Rolle spielt sie heute schon im Fahrzeugbau und in der chemischen Industrie. Auch wenn die **Nanotechnik noch in einer frühen Phase der kommerziellen Verwendung** steckt, sind die Perspektiven für den Einsatz dieser Querschnittstechnologie vielversprechend – vor allem in der Umwelttechnik. Hier wird Nanotechnik für Beschichtungs- und Syntheseverfahren sowie für Filtration und katalytische Reinigung eingesetzt.

Ein Beispiel für die **Anwendung der Nanotechnik im GreenTech-Bereich** ist die Effizienzsteigerung in der Photovoltaik, wo Quantenpunkte die Wirkungsgrade von Solarzellen erhöhen können. Nanoskalige Materialien könnten in Zukunft auch die Wärmedämmung verbessern. Bayer MaterialScience entwickelt in Kooperation mit dem Institut für Physikalische Chemie der Universität Köln Polyurethan (PUR)-Nanoschäume mit einer Porengröße von weniger als 150 Nanometern, die zum Beispiel in Kühlgeräten eingesetzt werden könnten. Da die Wärmedämmleistung eines Polyurethan-Hartschaums wesentlich von der Größe der Schaumstoffporen abhängt – je kleiner der Durchmesser, desto geringer die Wärmeleitung –, wären die PUR-Nanoschäume den üblichen PUR-Schäumen in puncto Wärmedämmung erheblich überlegen. Dadurch würde der Stromverbrauch von Kühlgeräten sinken.²³

Molekulare Nanoröhren aus Kohlenstoff mit einem Durchmesser von eins bis 50 Nanometer versprechen Innovationen in der Werkstofftechnologie, die zu einer Steigerung der Ressourceneffizienz führen dürften. Die Kohlenstoffnanoröhren (CNT – Carbon Nanotubes) glänzen durch besondere Materialeigenschaften wie elektrische Leitfähigkeit, Wärmeleitfähigkeit und eine niedrige Dichte bei hoher Zugfähigkeit. Diese Qualitäten von CNT gestatten die Entwicklung völlig neuer Werkstoffe, weshalb die Kohlenstoffnanoröhren als künftiger „Schlüsselmarkt der Werkstofftechnologie“ gelten.²⁴

Die interdisziplinäre Innovationsallianz CNT (Inno. CNT), der etwa 90 Partner aus der deutschen Industrie und Wissenschaft angehören, treibt eine Reihe von Projekten voran, um Deutschland als globalen Leitmarkt für neuartige Kohlenstoff-Nanomaterialien zu etablieren. Zu diesen Projekten gehört „CarboKat“: Ziel ist es, **Katalysatoren auf CNT-Basis** herzustellen,

20 Vgl. Henkel AG & Co. KGaA (2011).

21 Vgl. BioM WB GmbH (2011).

22 Vgl. Fuchs, W. (2011).

23 Vgl. Bayer AG (2011).

24 Vgl. Innovationsallianz Carbon Nanotubes (2011).

die kostengünstiger und umweltverträglicher sind als die konventionellen Edelmetall-Katalysatoren; diese sind nämlich sehr ressourcen- und energieintensiv, so dass eine Alternative zu den bisherigen Verfahren erhebliche positive Effekte auf die Ökobilanz hätte. Vor dem Hintergrund, dass etwa vier Fünftel der Erzeugnisse der chemischen Industrie mithilfe katalytischer Prozesse hergestellt werden, wird die Bedeutung von „CarboKat“ deutlich.

Ein weiteres Beispiel, wie Nanotechnik die Materialeffizienz steigern kann, sind **Oberflächenschutzschichten aus Kohlenstoffverbindungen**. Diese Nanoschichten zeichnen sich durch extreme Härte und einen geringen Reibungskoeffizienten aus, was den Materialverschleiß erheblich reduziert. Die Lebensdauer der Geräte wird erhöht, während Wartungsaufwand und Reparaturbedarf sinken. Solche Nano-Oberflächenschutzschichten kommen bei Werkzeugen, Motoren, Getrieben, anderen Maschinenkomponenten und in ölfreien Komponenten in der Textil- und Lebensmittelindustrie zum Einsatz.²⁵

Es gilt als unstrittig, dass die Nanotechnik neue Ansätze für die Erhöhung der Rohstoff- und Materialeffizienz und damit Entlastungseffekte für die Umwelt verspricht. Allerdings sind **mögliche Auswirkungen der Nanopartikel** auf die Gesundheit des Menschen und die Umwelt derzeit **noch nicht hinreichend erforscht**. Aktuell fehlen noch geeignete, standardisierte Instrumente und Methoden, um die Nanopartikel in natürlicher Umgebung aufzuspüren und zu analysieren. Deshalb ist es derzeit noch schwierig,

die Risiken abzuschätzen, die an den Eintrag synthetischer Nanomaterialien in Boden, Wasser und Luft geknüpft sind.²⁶

Vor diesem Hintergrund gilt es einerseits, das Potenzial der Nanomaterialien zu nutzen, und dabei andererseits eine „vom Prinzip der Vorsorge getragene Innovationskultur“ zu entwickeln.²⁷ Eine **Orientierung am Leitbild „Nachhaltige Nanotechnologien – Green Nano“** kann dazu beitragen, diese Herausforderung zu meistern. Dieses Leitbild der „Grünen Nanotechnologie“ wurde im Rahmen der Arbeit der NanoKommission der Bundesregierung erarbeitet. Die inhaltlichen Eckpfeiler dieses Leitbilds bilden die von der NanoKommission veröffentlichten Gestaltungsprinzipien, die hier (im Wortlaut) wiedergegeben werden:²⁸

- Biomimetik (Nutzung lokaler Stoff und Energiequellen, Selbstorganisation als Herstellungsprinzip, möglichst physiologische Herstellungsbedingungen (lösliche Materialien, ph-neutral, wenig Druck oder Temperatur notwendig)
- Risikoarmut (Vermeidung und Minderung von gefährlichen Strukturen, Morphologien, Stoffen, Funktionalitäten und Expositionsmöglichkeiten)
- Energie und Umwelttechnik (Emissionsminderung, Umweltmonitoring und -Sanierung, Umstieg auf regenerative Stoff- und Energiequellen)
- Ressourceneffizienz (Vermeidung/Minimierung von Nebenreaktionen, Abfällen und Emissionen, geringe Materialintensität, Energieeffizienz über den Lebenszyklus und die Kreislauffähigkeit).

Marktsegment Nachwachsende Rohstoffe

Das **Marktsegment Nachwachsende Rohstoffe bilden Technologien, mit deren Hilfe endliche fossile Rohstoffe durch nachwachsende biogene Rohstoffe ersetzt werden können**. Diese Substitution stellt einen wichtigen Ansatzpunkt für die Steigerung der Ressourceneffizienz dar. Anhand der **Themenfelder Verwendung in der Industrie, Verbundwerkstoffe und Biokunststoffe** wird aufgezeigt, welches vielfältige Einsatzspektrum die nachwachsenden Rohstoffe bieten.

Nachwachsende Rohstoffe – NaWaRo – sind „land- und forstwirtschaftliche Produkte, die nicht als Nahrungs- oder Futtermittel Verwendung finden“.²⁹ Die **NaWaRo lassen sich energetisch**, das heißt zur Energieerzeugung, **und stofflich** verwenden. Je nach Bestimmungszweck werden die Pflanzen als Energie- oder Industriepflanzen bezeichnet. Im Jahr 2010 wurden in Deutschland auf einer Fläche von 2.151.000 Hektar nachwachsende Rohstoffe angebaut. Auf rund 317.000 Hektar dieser Fläche gediehen Industriepflanzen. Aus den Industriepflanzen werden die Rohstoffe

25 Vgl. Leson, A. (2007).

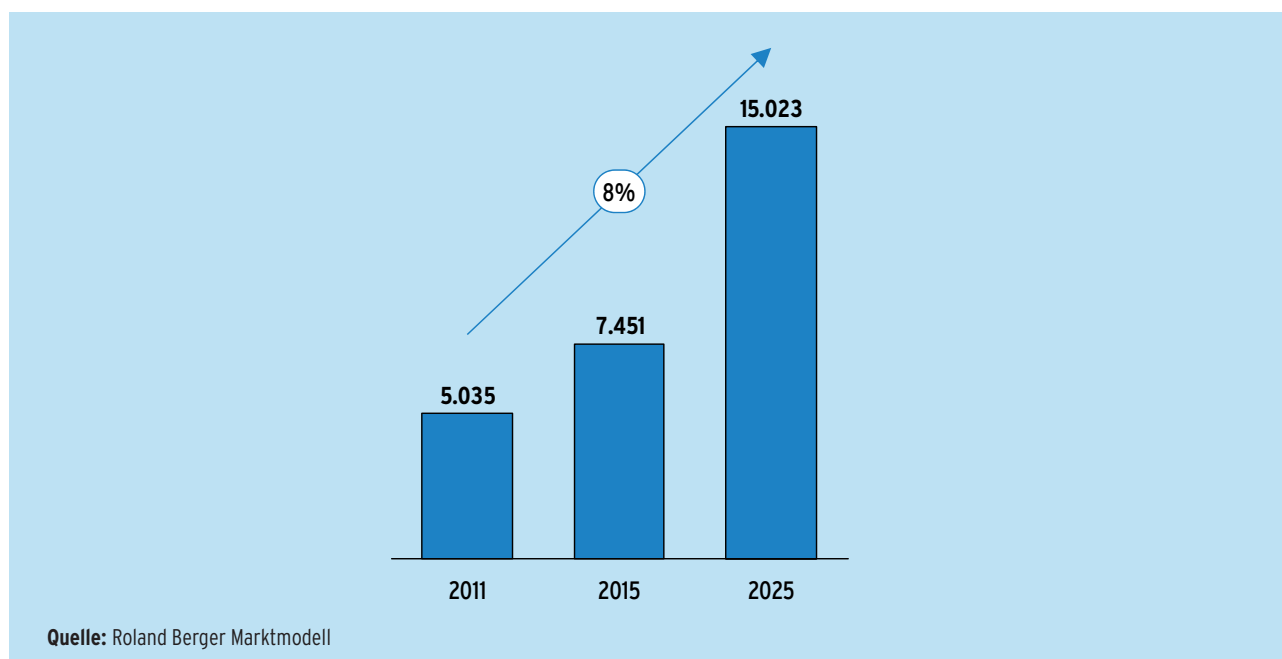
26 Vgl. Umweltbundesamt (2011d).

27 Vgl. Bundesumweltministerium (2010), S. 6.

28 Die NanoKommission der deutschen Bundesregierung besteht seit 2006 als „nationale Dialogplattform“, der Vertreter unterschiedlicher Interessengruppen angehören (Wirtschaft, Wissenschaft, Behörden auf Bundes- und Länderebene, Umwelt- und Verbraucherorganisationen, Gewerkschaften und Kirchen). Die NanoKommission hat eine Arbeitsgruppe eingesetzt, die sich mit dem Thema „Nachhaltige Nanotechnologien – Green Nano“ befasst hat. Erste Ergebnisse ihrer Diskussion wurden in dem Papier „Verantwortlicher Umgang mit Nanotechnologien. Bericht und Empfehlungen der NanoKommission 2011“ zusammengefasst; vgl. Bundesumweltministerium (2010), S. 11.

29 Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (2011a).

Abbildung 52: Marktprognose Nachwachsende Rohstoffe 2011, 2015 und 2025 in Deutschland (in Millionen Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)



Industriestärke, Industriezucker, technisches Rapsöl, technisches Sonnenblumenöl, technisches Leinöl, Pflanzenfasern, Arznei- und Farbstoffe gewonnen.³⁰

Die nachwachsenden Rohstoffe können mit einer Reihe von Vorzügen aufwarten: Sie sind nicht endlich, sodass die **Versorgungssicherheit** gewährleistet ist. In ihrer Wachstumsphase binden sie Kohlendioxid; bei der stofflichen Nutzung wird dieses Klimagas konserviert. Vor allem in der chemischen Industrie bieten nachwachsende Rohstoffe deshalb eine **attraktive Alternative zu mineralölbasierten Ausgangsmaterialien**. Im Jahr 2008 wurden von der Industrie rund 3,6 Millionen Tonnen nachwachsende Rohstoffe verwendet, etwa drei Viertel dieser Menge entfielen auf die chemische Industrie.³¹ Somit deckten die NaWaRo rund ein Zehntel des gesamten Rohstoffbedarfs der chemischen Industrie in Deutschland.³²

Verwendung in der Industrie

Es gibt zahlreiche Beispiele für die Verwendung nachwachsender Rohstoffe in der Industrie, von denen hier Tenside, Farben und Lacke, Klebstoffe und Schmierstoffe herausgegriffen werden.

Tenside sind waschaktive Substanzen in Wasch- und Reinigungsmitteln sowie Kosmetika, die früher vor-

wiegend auf Erdölbasis hergestellt wurden und die Abwässer erheblich belasteten. **Tenside auf NaWaRo-Basis** sind vollständig abbaubar und hautverträglicher als erdölbasierte Tenside. Als pflanzliche Öle kommen vor allem Kokosöl und Palmkernöl zum Einsatz. Demnächst sollen aber Zucker sowie Mais- und Kartoffelstärke für saubere Wäsche sorgen: In Forschungsprojekten wird die Verwendung heimischer Rohstoffe für die Herstellung von Tensiden vorangetrieben.

Farben und Lacke auf Basis nachwachsender Rohstoffe müssen in puncto Gebrauchseigenschaften den Vergleich zu konventionellen Chemiefarben nicht scheuen. Der „Gemeine Lein“, auch bekannt als Flachs, liefert Leinöl. Durch den Gehalt von bis zu 67 Prozent Linolensäure ist es ein trocknendes Öl, das für die Herstellung von Anstrich- und Druckfarben verwendet wird.³³

Schmelzklebstoffe (Heißkleber oder Heißleim) werden heiß auf die Klebeflächen aufgetragen; kühlen sie ab, werden sie fest. **Polyamide Schmelzklebstoffe** auf der Basis von Fettsäuren werden zum Teil aus NaWaRo hergestellt.

Der Einsatz von überwiegend aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellten Schmierstoffen ist in verschiedenen Anwendungsbereichen möglich, sowohl

30 Vgl. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (2011b).

31 Vgl. ebenda.

32 Vgl. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (2011c).

33 Vgl. zu den folgenden Beispielen Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (2011c).

KETCHUP IN DER ZUCKERROHR-FLASCHE

Nachdem Heinz bereits 1983 eine Vorreiterrolle bei der Einführung von Kunststoffverpackungen eingenommen hat, zieht das Unternehmen jetzt mit der Einführung der PlantBottle® nach. Für den Konsumenten ändert sich nichts, denn von außen ist die neue Zusammensetzung der biobasierten Flaschen nicht sichtbar: Das Granulat, aus dem die Flasche besteht, wird aus 30 Prozent Zuckerrohr-Ethanol gewonnen. Die Menge des normalerweise bei der Kunststoffproduktion eingesetzten Erdöls wird so enorm verringert. Der Anteil von recycelbarem Kunststoff (PET) an der Flasche liegt bei 50 Prozent.

Möglich war die Einführung der PlantBottle® nach Angaben des Unternehmens nur durch eine enge Kooperation mit Coca Cola; der Getränkekonzern setzt bereits seit 2009 auf die Bioflasche; seitdem hat er 14 Millionen Liter Erdöl einsparen können. Beide Unternehmen wollen aber noch einen Schritt weiter gehen und planen, schon bald eine Flasche auf den Markt zu bringen, die zu 100 Prozent aus regenerativen Rohstoffen besteht.

Quelle: SSPKommunikation (2011b)

als **Schmiermittel**, um Reibung zu minimieren, als auch als **Hydrauliköl** zur Kraftübertragung und als **Getriebeöle**. Als **Basis für Bioschmierstoffe** kommen entweder **tierische Fette** oder **pflanzliche Öle** infrage, in Deutschland wird vor allem Rapsöl verwendet. Die pflanzlichen Öle können in nativer Form eingesetzt oder zu synthetischen Estern umgebaut werden. Die biogenen Schmierstoffe sind ungiftig, frei von Schwermetallen und schnell biologisch abbaubar. Obwohl sie mit diesen Eigenschaften punkten können, ist ihr Anteil am deutschen Gesamtschmierstoffmarkt mit circa 4,6 Prozent – das entspricht 46.500 Tonnen – noch relativ gering.

Verbundwerkstoffe

Die Kombination aus Naturfasern und Kunststoffen ergibt Werkstoffe, die zum einen bis zu einem Drittel leichter sind als herkömmliche Faserverbunde, zum anderen auch eine hohe Stabilität aufweisen. Zum Beispiel sind **naturfaserverstärkte Kunststoffe (NFK)** in der Fahrzeugfertigung gefragt: In den Türkonstruktionen, Hutablagen, Kofferraumauskleidungen, im

Armaturenbrett und im Außenbereich stecken Hanf, Flachs oder exotische Fasern wie Jute, Kenaf, Sisal oder Abacá. Autos, die in Deutschland gebaut werden, enthalten durchschnittlich etwa 16 Kilogramm Naturfasern.

Biokunststoffe

Ein wichtiges Segment im Bereich NaWaRo/Nachhaltiger Ressourcennutzung sind die sogenannten **Biokunststoffe**. „Bio“ heißt zum einen, dass diese Kunststoffe überwiegend **aus nachwachsenden Rohstoffen** hergestellt werden, etwa aus Mais, Stärke, Weizen oder Kartoffeln. Zum anderen bezieht sich das Attribut „Bio“ auf die **biologische Abbaubarkeit**. Gerade diese Eigenschaft ist ein großes Plus der Biokunststoffe, denn Plastikmüll hält Jahrhunderte und belastet vor allem das Ökosystem der Ozeane.

Die Geschichte der Biokunststoffe hat im 19. Jahrhundert mit einem Preisausschreiben begonnen: Gesucht wurde ein Material, um das Elfenbein in Billardkugeln zu ersetzen. Der Gewinner war Celluloid. 1869 gründeten die Gebrüder Hyatt in den USA die erste Fabrik zur Herstellung dieses Werkstoffes aus dem Holzbestandteil Cellulose und Kampfer.

Im Ölzeitalter und durch die großtechnische Herstellung der Standard-Kunststoffe Polyethylen und Polypropylen ließ das Interesse an Biokunststoffen stark nach; erst die Ölkrise in den 1970er und 1980er Jahren haben es wieder belebt. Ethylen, Propylen und Styrol werden aus Erdöl und Erdgas gewonnen; dementsprechend stiegen die Preise dieser Chemiegrundstoffe mit den Ölpreisen – ein Motivationsschub für die Forschung und Entwicklung im Bereich Biokunststoffe. Inzwischen können sie in vielen Anwendungsbereichen konventionelle Kunststoffe ersetzen. Vor allem bei **Verpackungen, Produkten für den Garten- und Landschaftsbau, Einweggeschirr und bei Medizinprodukten** kommen Biokunststoffe bereits zum Einsatz. Die Produktpalette des „Öko-Plastiks“ im Verbraucherbereich reicht von Schalen für Obst oder Fleisch über kompostierbare Blumentöpfe bis hin zu resorbierbaren Schrauben und Nägeln, die den Heilungsprozess gebrochener Knochen unterstützen.

Den Praxistest für Biokunststoffe hat die **Verpackungsindustrie** schon längst bestanden, zum Beispiel mit Lebensmittelverpackungen, Einkaufs- oder Mülltüten. Experten schätzen, dass langfristig 70 Prozent der Verpackungen aus Biokunststoffen bestehen werden.³⁴ Rewe und Aldi bieten beispielsweise

34 Vgl. SSPKommunikation (2011a).

schon kompostierbare Einkaufstüten an. Auch Puma hat Ende 2011 den „Clever Little Shopper“ eingeführt, eine Tüte komplett aus Mais. Sobald sie kompostiert wird, löst sie sich innerhalb von drei Monaten auf. Legt man sie in heißes Wasser, dauert es nur wenige Minuten. Nach eigenen Angaben will Puma damit pro Jahr 192 Tonnen Plastik und 293 Tonnen Papier sparen.

Vor Kurzem ist in Italien die erste **vollkompostierbare Mineralwasserflasche** auf den Markt gebracht worden, die aus einem aus Mais gewonnenen Kunststoff besteht. Sobald diese auf dem Müll landet, verrottet sie innerhalb von 80 Tagen. Außerdem wird für die Produktion dieser Flasche kein Erdöl benötigt. Wenn man 50 Millionen Exemplare dieser Flaschen (statt der üblichen PET Variante) produziert, wird so viel Energie eingespart, dass man 40.000 Menschen einen ganzen Monat lang mit Strom versorgen könnte.³⁵

Auch in der Industrie finden **Biokunststoffe** immer häufiger Verwendung, etwa im **Automobilbau** und in der **Elektronikbranche** als Handy-Gehäuse oder für Computer-Hardware. Fujitsu hat 2010 eine Bio-Tastatur auf den Markt gebracht, die zu 45 Prozent aus biologischem Kunststoff besteht.³⁶ Toyota will für die Innenverkleidung und weitere Materialien im Fahrzeuginnenraum den biologischen Kunststoff

Bio-PET verwenden. Premiere hat dieses neue Material auf Zuckerrohrbasis im Lexus CT. Für 2011 ist die Einführung eines Modells geplant, dessen Innenraumverkleidung zu 80 Prozent aus Bio-PET besteht. Wie der Automobilhersteller erklärt, zeichnet sich dieses Material gegenüber den bisher eingesetzten Biokunststoffen durch größere Hitzebeständigkeit, längere Haltbarkeit und besseren Schrumpfwiderstand aus.³⁷ Toyota setzt bereits seit dem Jahr 2000 Biokunststoffe im Automobilbau ein. Im 2009 eingeführten Hybridmodell Sai sind 60 Prozent der Oberflächen von Innenraumteilen aus Biokunststoffen. Was Bio-PET angeht, so gibt sich Toyota zuversichtlich, dass sich bei einer Ausweitung des Produktionsvolumens die Kostenlücke zwischen konventionellen und biologischen Kunststoffen verkleinert.

Generell gilt, dass Biokunststoffe noch zwei- bis viermal so viel kosten wie mineralölbasierte Kunststoffe. Dieses Delta wird sich allerdings verringern: Zum einen werden die Preise für Biokunststoffe durch Skalen- und Lernkurveneffekte schrumpfen, wenn sich die Produktionsmengen erhöhen; zum anderen wird sich der Abstand des Preisniveaus verkleinern, wenn die Preise für fossile Energieträger weiterhin steigen. Dieser Trend spricht dafür, dass sich der Marktanteil von Biokunststoffen deutlich erhöhen wird.

35 Vgl. SSPKommunikation (2011b).

36 Vgl. Wissens- und Informationsnetzwerk Polymertechnik (2011).

37 Vgl. Otterbach, B. (2011).

Nachhaltige Mobilität



Mobilität von Personen und Gütern gehört zu den Voraussetzungen moderner Gesellschaften und Wirtschaftssysteme. Außerdem ist die Möglichkeit, (fast) jederzeit an den gewünschten Ort zu gelangen, ein wichtiges Element der individuellen Lebensqualität. Aber die Mobilität hat ihren Preis, der in Form zunehmender Umweltbelastung und steigenden Ressourcenverbrauchs bezahlt werden muss.

Im Jahr 2010 waren auf den Straßen rund um den Globus etwa eine Milliarde Fahrzeuge unterwegs. Für 2050 rechnen die Verkehrsexperten mit 2,5 Milliarden Autos weltweit. Die Vorhersagen über das anschwellende Verkehrsaufkommen lassen im Hinblick auf

den Klimawandel die Alarmglocken läuten: **Mobilität auf dem Land-, See- und Luftweg verursacht heute einen Anteil von rund 23 Prozent der weltweiten CO₂-Emissionen.** In den Staaten der Europäischen Union beträgt dieser Anteil 24 Prozent, in den USA 30 Prozent.¹ Ein Großteil (73 Prozent) der verkehrsbedingten CO₂-Emissionen geht auf das Konto des Straßenverkehrs.

In Deutschland verbraucht der Verkehrssektor rund ein Drittel der Endenergie und verursacht etwa ein Fünftel der CO₂-Emissionen.² In ihrem Energiekonzept setzt die Bundesregierung Einsparziele fest: Der Endenergieverbrauch im Verkehrssektor soll bis 2020 um zehn Prozent, bis 2050 um rund 40 Prozent gegenüber 2005 sinken.³

Um den Verkehrssektor für den Übergang in eine Low-Carbon-Economy zu gestalten, sind **Konzepte und Technologien für eine ressourcenschonende und klimafreundliche Mobilität gefordert.** Dazu leisten die Akteure des Leitmarktes Nachhaltige Mobilität einen entscheidenden Beitrag. Der Leitmarkt lässt sich in vier wesentliche Handlungsfelder unterteilen, die zugleich die wichtigsten Marktsegmente bilden: Das Marktsegment **Effizienzsteigerung, Emissionsreduktion** hat weiterhin einen hohen Stellenwert innerhalb dieses Leitmarktes, denn Autos mit konventionellem Antrieb werden auch in den nächsten Jahrzehnten weltweit den Großteil des Fahrzeugbestandes stellen. Deshalb kann die Klimabilanz des Verkehrs nur verbessert werden, wenn auch Diesel- und Benzinmotoren effizienter werden.

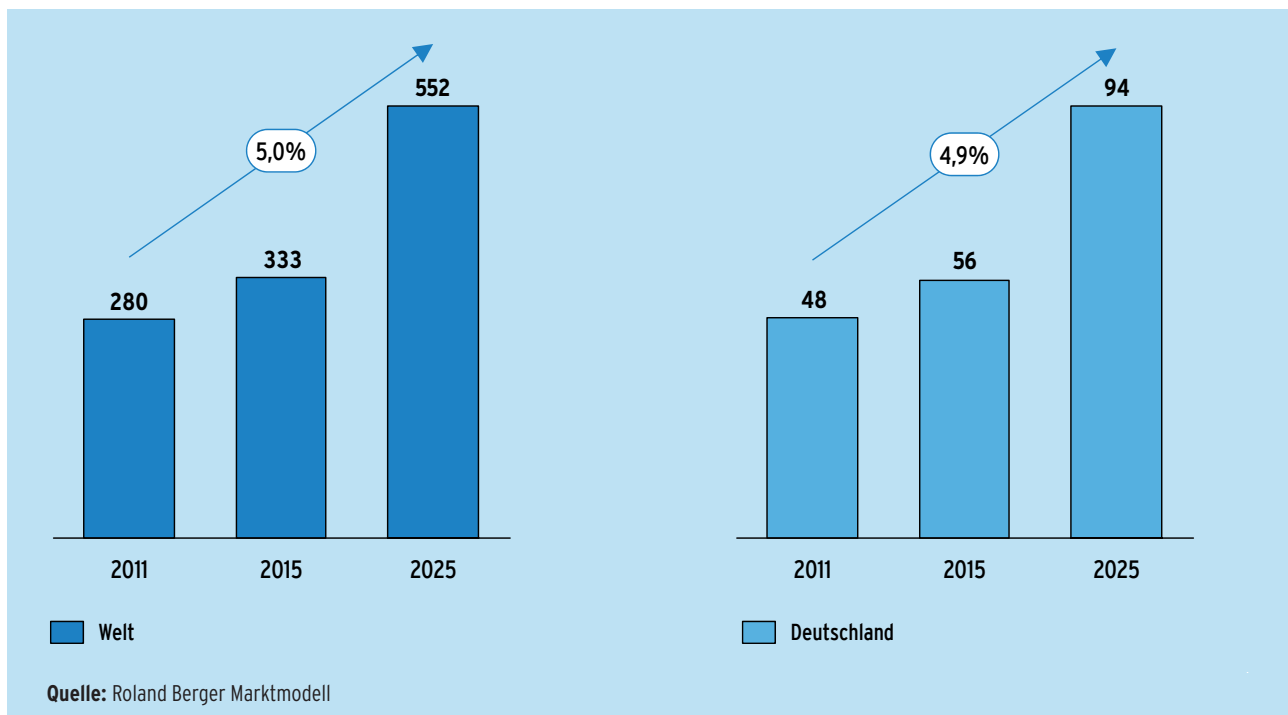
Das Marktsegment **Alternative Kraftstoffe** hat eine wichtige Funktion, um die Öl-Abhängigkeit der Mobilität zu verringern. Während das Verkehrsaufkommen zunimmt – insbesondere in den Schwellenländern – wird das Öl als Schlüsselressource der gegenwärtigen Mobilitätssysteme immer knapper und teurer: Nach Prognosen der Internationalen Energie Agentur (IEA) wird der Barrel Rohöl 2035 113 US-Dollar kosten (zu US-Dollar Preisen von 2009). Andere Schätzungen gehen sogar von einem Preisanstieg bis zu 204 US-Dollar aus. Die **wachsende Bedeutung des Marktsegments Alternative Antriebstechnologien** gründet sich ebenfalls auf das Ziel, durch eine Abkehr von Öl-basierten Kraftstoffen langfristig die Dekarbonisierung der Mobilität zu erreichen. Als übergreifende Klammer verschiedener Verkehrsträger zeigt das **Marktsegment Verkehrsinfrastruktur und**

1 Vgl. International Energy Agency (2010b).

2 Vgl. Umweltbundesamt (2010b).

3 Vgl. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2011a).

Abbildung 53: Marktprognose Nachhaltige Mobilität 2011, 2015 und 2025
(in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)



Verkehrssteuerung, wie durch innovative Maßnahmen und Technologien mobilitätsbedingte Emissionen reduziert werden können. Eine **wichtige Rolle kommt hier intelligenten Verkehrskonzepten zu**,

die einzelne Verkehrsträger optimal verknüpfen. Im Fokus steht dabei der Ausbau des Schienenverkehrs, der eine besonders gute Umwelt- und Klimabilanz vorzuweisen hat.

Marktsegment Effizienzsteigerung, Emissionsreduktion

Das zunehmende Verkehrsaufkommen fordert seinen Tribut, es belastet die Umwelt und gefährdet die Gesundheit der Menschen: Lärm, Schadstoffbelastungen und CO₂-Emissionen sind die Kehrseite der Mobilität. Es ist unstrittig, dass der Ausstoß von Treibhausgasen und anderen verkehrsbedingten Emissionen reduziert werden muss. Neben alternativen Antriebstechnologien und alternativen Kraftstoffen führen effizientere Verbrennungsmotoren, umweltschonende Fahrzeugtechnik und -design sowie Technologien zur Emissionsreduktion zu diesem Ziel.

Effizienzsteigerungen von Verbrennungsmotoren

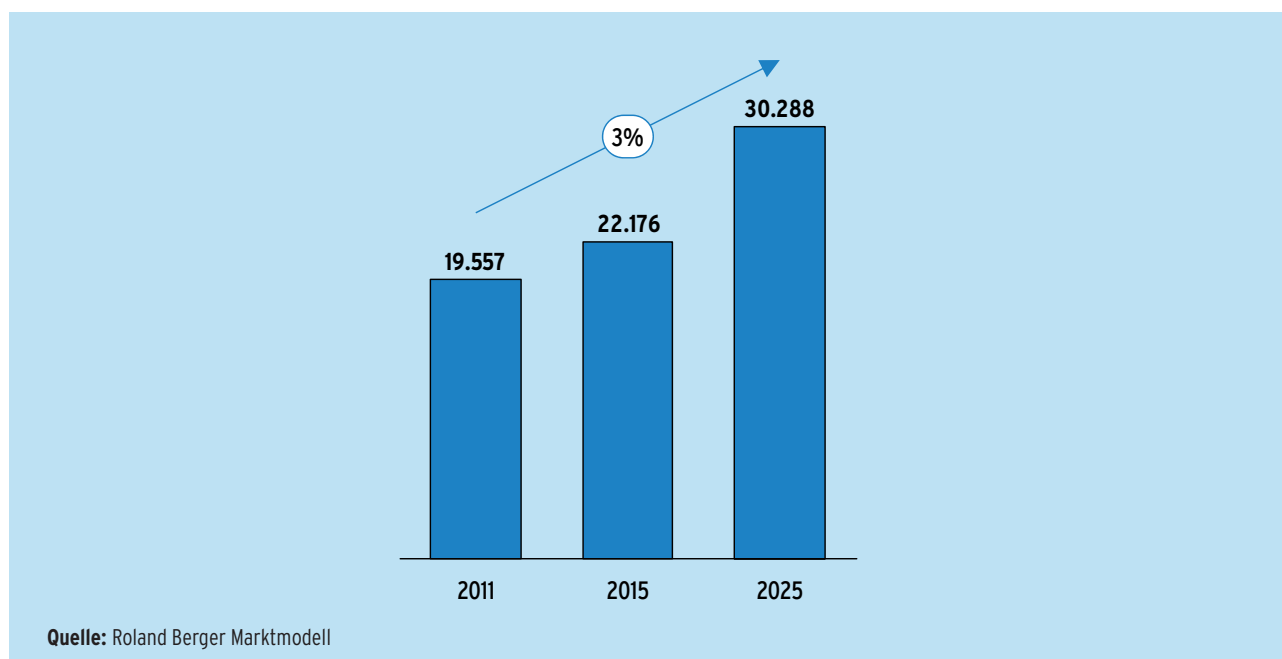
Effizienzsteigerungen von Verbrennungsmotoren senken den Kraftstoffverbrauch der Fahrzeuge – und damit auch die Emissionen von CO₂ und anderen

Schadstoffen (siehe Abbildung 55). Nach Angaben des Verbands der Deutschen Automobilindustrie ist **bei Fahrzeugen deutscher Marken der Durchschnittsverbrauch von Verbrennungsmotoren zwischen 2007 und 2010 um zehn Prozent zurückgegangen**.⁴ Dies ist auf eine Reihe technischer Maßnahmen zurückzuführen:

- Bei der **Direkteinspritzung** wird der Kraftstoff mit einer Pumpe direkt in den Brennraum des Motors eingespritzt. Bei Ottomotoren senkt diese Technologie den Benzinverbrauch durchschnittlich um etwa acht Prozent; Dieselmotoren kommen durch die Direkteinspritzung mit 15 bis 20 Prozent weniger Kraftstoff aus.
- Beim **Downsizing** werden die Hubräume der Motoren verkleinert, allerdings nicht auf Kosten der Motorleistung: Durch Turboladung wird bei verringertem Hubraum eine deutliche Effizienzsteigerung des Motors erreicht: Die Dichte der Ansaugluft

4 Vgl. Verband der Automobilindustrie (2011), S. 110.

Abbildung 54: Marktprognose Effizienzsteigerung, Emissionsreduktion 2011, 2015 und 2025 in Deutschland (in Millionen Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)



wird erhöht, somit der Füllungsverlust verkleinert, was den Wirkungsgrad des Verbrennungsmotors verbessert. So kann der kleinere Motor Leistungsni-
veau und Laufverhalten eines größeren Triebwerks erreichen, wobei der Benzinverbrauch um bis zu 20 Prozent gesenkt werden kann.⁵

- Eine **Start-Stop-Automatik** reduziert den Kraftstoffverbrauch um bis zu drei Prozent, weil das Auto an Ampeln oder im Stop-and-Go-Verkehr weniger Benzin oder Diesel verbraucht.

Umweltschonendes Fahrzeugdesign (zum Beispiel Leichtbautechnologien, Verringerung des Luftwiderstands)

Konsequenter Leichtbau kann im Vergleich zu herkömmlichen Bauweisen das Gewicht von Fahrzeugen um die Hälfte reduzieren. Und je leichter ein Auto, desto niedriger ist der Kraftstoffverbrauch: Speckt ein Mittelklassewagen um 100 Kilo ab, geht der Kraftstoffverbrauch um bis zu 0,3 Liter pro 100 Kilometer zurück.

Interessante Perspektiven im Fahrzeugbau eröffnet die **Kombination aus Leichtbau und Elektroantrieb**: Auf der Internationalen Automobilausstellung

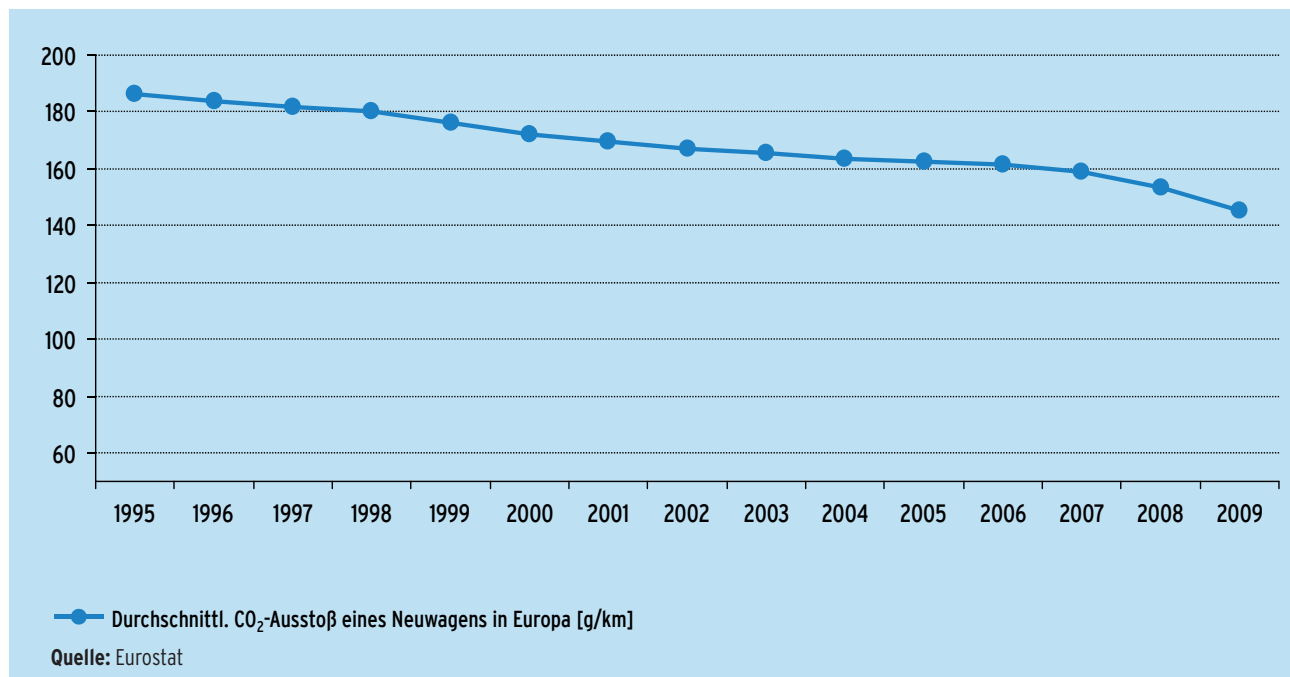
in Frankfurt 2011 hat BMW das Modell „i3 concept“ der neuen Submarke „i“ vorgestellt. Der „i3 concept“ wurde als Elektrofahrzeug für den Stadtverkehr konzipiert; Ultraleichtbau soll das Gewicht der Batterie kompensieren. Das Chassis ist aus Aluminium und die Fahrgastzelle aus kohlefaserverstärktem Kunststoff. Als Viersitzer bringt es der „i3“ auf ein „Lebendgewicht“ von 1.250 Kilogramm. Die Reichweite beträgt 130 bis 160 Kilometer, die Höchstgeschwindigkeit 150 Kilometer pro Stunde. Der Elektromotor im Heck des Autos (170 PS) wird aus einer Lithium-Ionen-Batterie versorgt.⁶

Nicht nur das Gewicht eines Autos, sondern auch der **Rollwiderstand beeinflusst den Treibstoffverbrauch**. Reifen haben am Gesamtwiderstand eines Pkw einen Anteil von circa 20 Prozent. Das heißt, durch eine Verringerung des Rollwiderstandes schluckt ein Auto weniger Benzin oder Diesel. Sparsame Reifen haben einen höheren Druck, beispielsweise haben die Energiesparreifen der VW Blue-Motion-Modelle einen im Vergleich zu herkömmlichen Rädern um 0,3 Bar erhöhten Reifendruck. Allerdings vollzieht sich die Entwicklung von Energiesparreifen in einem Spannungsfeld zwischen Sicherheit und Sprit-Sparsamkeit, denn eine Reduzierung des Rollwiderstandes darf die Haftung und Bremseigenschaften der Räder nicht beeinträchtigen.

5 Vgl. Deleker, J. (2010).

6 Vgl. BMW AG (2011).

Abbildung 55: Durchschnittliche CO₂-Emissionen von neu zugelassenen Fahrzeugen in den EU-15-Staaten 1995 bis 2009



„POWERCAR“ - NEUES ANTRIEBSKONZEPT FÜR FERNZÜGE SCHONT DAS KLIMA

Die Deutsche Bahn (DB) erneuert ihre Fernverkehrsflotte: Im Mai 2011 schloss sie mit Siemens einen Rahmenvertrag über den Bau von 300 Triebwagenzügen. Die ersten 130 Züge vom Typ ICx sollen bis 2016 die Intercity- und Eurocity-Züge der Baujahre 1971 bis 1991 ersetzen. Der ICx gestattet weite Spielräume bei der Zusammenstellung der Züge: Eine Zuggarnitur kann aus fünf bis vierzehn Wägen zusammengestellt werden - das „Powercar“-Konzept macht's möglich. Bei diesem Antriebskonzept befinden sich die Komponenten der Antriebsanlage (Transformator, Traktionsstromrichter, Traktionskühlanlage und vier Fahrmotoren) in einem Wagen, während beim ICE3 eine Antriebseinheit auf drei Wägen verteilt ist. Deshalb erlaubt „Powercar“ mehr Flexibilität.

Der ICx punktet auch beim Klimaschutz: Pro Fahrgast liegt der Energieverbrauch - und damit die Treibhausgasemissionen - dieses Zugtyps um rund ein Drittel niedriger als beim ICE1. Ein wesentlicher Grund für die Genügsamkeit des ICx ist die Reduzierung des Ge-

wichts: Mit sieben Wagen und einer Länge von 200 Metern ist dieser Zugtyp um 20 Tonnen leichter als Vorläufermodelle. Die eingesparten Kilos resultieren aus der Innenlagerung der Drehgestelle und der „XXL-Wagenlänge“. Ein ICx-Waggon ist 28 Meter lang; das heißt, der ICx bringt es mit sieben Wägen auf dieselbe Länge wie ein anderer Fernzug mit acht Wägen - so fallen zwei Drehgestelle und vier Achsen weg.

Gebaut wird der ICx zunächst in zwei Varianten: Als siebenteiliger Triebzug mit drei Powercars wird der ICx vor allem im heutigen IC-Netz eingesetzt. Er erreicht eine Höchstgeschwindigkeit von 230 Stundenkilometern und hat 499 Sitzplätze. Als zehnteiliger Triebzug mit bis zu fünf Powercars wird der ICx mit einer Höchstgeschwindigkeit von 249 Stundenkilometern fahren; diese Version soll die ICE1 und ICE 2-Flotte ersetzen.

Quelle: Siemens AG (2011d)

Technologien zur Emissionsreduktion

Zwar sind die verkehrsbedingten Emissionen von Stickoxiden, flüchtigen organischen Verbindungen und Schadstoffen wie Dieselruß, PAK⁷ und Benzol in den letzten Jahren gesunken, aber **weitere Minderungen sind nötig, um die vorgegebenen Grenzwerte zur Sicherstellung der Luftqualität zu erreichen**. Verschiedene Technologien setzen bei der Reduktion von Emissionen an.

So werden die Stickstoffoxid-Grenzwerte der seit September 2009 gültigen Abgasnorm Euro 5 bis jetzt insbesondere durch die Optimierung der Aufladung, Abgasrückführung und Einspritzung innermotorisch erreicht. Euro 5 legt den Grenzwert für den Ausstoß von Stickoxid auf 60mg/km für Pkw mit Benzinmotoren und auf 180 mg/km bei Pkw mit Dieselmotor fest.⁸

Abgasrückführungssysteme mindern die Luftbelastung, indem ein Teil des Abgases zum Motor zurück-

geleitet und mit Frischluft im Verbrennungsprozess verwendet wird. Dies vermindert die Bildung von Stickoxiden im Abgas.

Des Weiteren **verringern Filtertechniken den Ausstoß von Dieselruß**, der als krebserregend gilt. Mit Partikelfiltern können winzigste, unvollständig verbrannte Kohlenstoffpartikel oder Kohlenwasserstoffreste, die nur Bruchteile von Mikrometern messen, aus den Abgasen von Dieselmotoren gefiltert werden.

Die **Einhaltung der Euro 6-Grenzwerte** – verbindlich für alle neuen Pkw-Typen ab September 2014 – **verlangt** jedoch zunehmend **weitreichendere Technologie**, etwa moderne Verfahren zur Abgasnachbehandlung.⁹ Die beiden darunter fallenden Technologien **SCR (Selective Catalytic Reduction) und NOx-Speicherkatalysator** können die Verbrennungsgase Stickstoffoxide trotz des mageren Sauerstoffgehalts im Abgas bei verbrauchsoptimierten Diesel- und Mager-Konzept-Ottomotoren reduzieren.

Marktsegment Alternative Kraftstoffe

Konventionelle Kraftstoffe auf Mineralölbasis sind im Verkehrssektor nach wie vor die dominierenden Energieträger. Vor dem Hintergrund der Endlichkeit der Rohölvorkommen, der Umweltbelastungen und der klimaschädlichen CO₂-Emissionen wachsen Dringlichkeit und Motivation, die Vorherrschaft der konventionellen Kraftstoffe durch einen erhöhten Anteil alternativer Kraftstoffe zu schwächen. Als alternative Kraftstoffe werden grundsätzlich alle Kraftstoffe bezeichnet, die eine Alternative zu den herkömmlichen Kraftstoffen wie Benzin und Diesel darstellen. **Alternative Kraftstoffe** lassen sich unterteilen in Kraftstoffe, die **aus fossilen Energieträgern** gewonnen werden, und in Kraftstoffe **aus biogenen Energieträgern („Biomasse“)**.

Biokraftstoffe haben den **Vorteil, dass sie einerseits die schwindenden Erdölvorkommen schonen und andererseits die Abhängigkeit von Erdölimporten senken**. Hinzu kommt, dass die Biokraftstoffe **weniger Treibhausgase emittieren** als konventioneller Treibstoff. Dennoch wird das Thema teilweise kontrovers diskutiert – Stichwort „Teller oder Tank“. Wenn für den Anbau von Energiepflanzen Regenwälder abgeholzt oder landwirtschaftliche Monokulturen in Kauf genommen werden, die zu Lasten der Biodiversität gehen, werden die klimapolitischen Vorteile

der Biokraftstoffe konterkariert. Um diese negativen Effekte einzudämmen, hat die Bundesregierung die **Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung** erlassen. Danach gelten Biokraftstoffe nur dann als nachhaltig produziert, wenn sie entlang der gesamten Herstellungs- und Lieferkette mindestens 35 Prozent weniger Treibhausgase emittieren als fossile Kraftstoffe. Außerdem sind Flächen mit hohem Kohlenstoffgehalt oder großer biologischer Vielfalt für die Herstellung von Biokraftstoffen tabu.

Nur Biokraftstoffe, die diese Kriterien erfüllen, werden steuerlich begünstigt und können auf die obligatorische Biokraftstoffquote angerechnet werden. Um den Mineralölunternehmen einen Anreiz zu bieten, bei der Herstellung von Biokraftstoffen statt auf konventionelle Biomasse (Mais, Raps, Weizen etc.) verstärkt auf biogene Abfälle und Reststoffe zu setzen, wird deren Einsatz bei der Quotenerfüllung doppelt gewichtet.

In Deutschland hat die Nachfrage nach Biokraftstoffen **im Jahr 2010** nach leichten Rückgängen in den Vorjahren erstmals wieder zugelegt: Der **Absatz an Biokraftstoffen lag bei 3,8 Millionen Tonnen** (2009: 3,5 Millionen Tonnen).¹⁰ Das größte Wachstum war mit 28 Prozent bei Bioethanol zu verzeichnen; der Absatz von Biodiesel hat um drei Prozent zugenommen,

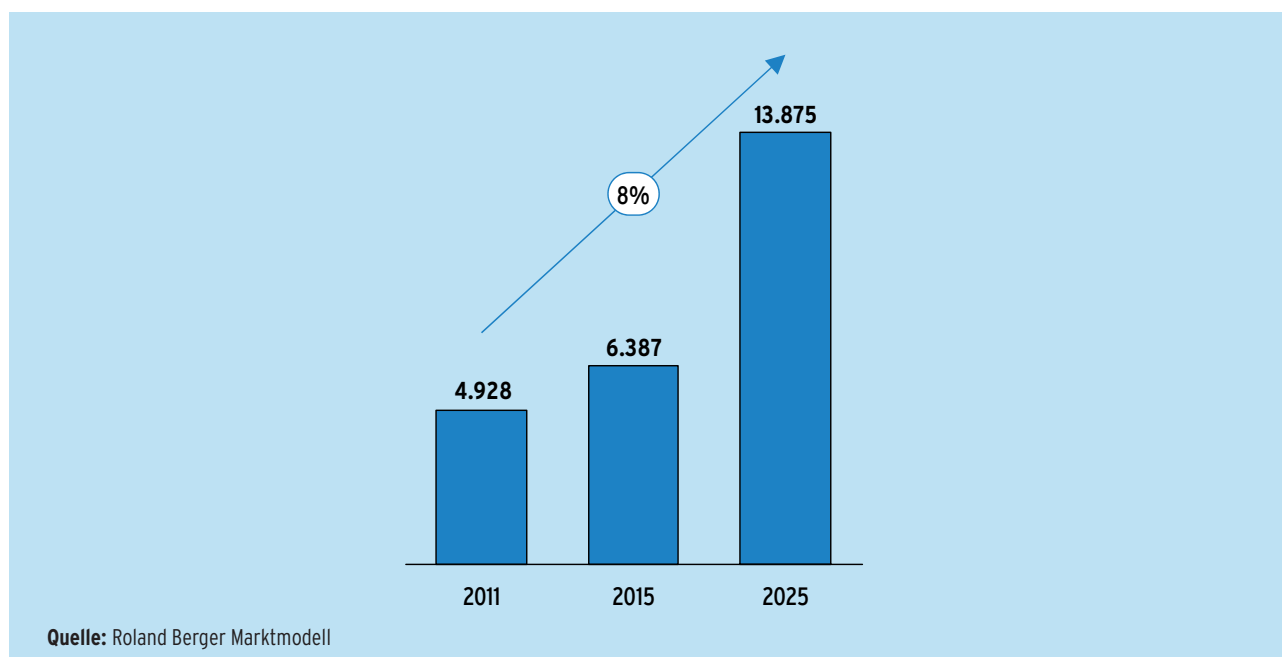
7 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe.

8 Vgl. Umweltbundesamt (2011e).

9 Vgl. Honeder, J., et al. (2009).

10 Vgl. Bundesumweltministerium (2011c), S. 10.

Abbildung 56: Marktprognose Alternative Kraftstoffe 2011, 2015 und 2025 in Deutschland (in Millionen Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)



während Pflanzenöl mit einem Volumen von 61.000 Tonnen nur eine marginale Rolle im Portfolio der Biokraftstoffe spielte.

Die Herstellung der Biokraftstoffe aus Pflanzen erfolgt durch verschiedene chemische Verfahren, etwa Ölgewinnung mit anschließender Umesterung, Vergärung, Fermentation und Destillation. Biokraftstoffe können entweder in Reinform oder als Beimischung zu fossilen Kraftstoffen verwendet werden. Es wird zwischen Biokraftstoffen der ersten, zweiten und dritten Generation unterschieden. Das charakteristische Merkmal der Biokraftstoffe der ersten Generation ist, dass nur ein kleiner Teil der Pflanze mit dem entsprechenden Öl-, Zucker- oder Stärkegehalt für die Kraftstoffherstellung genutzt werden kann. Zu den Biokraftstoffen der ersten Generation zählen:

- **Pflanzenöle** („Naturdiesel“) können beispielsweise aus Raps, Sonnenblume oder Leindotter gewonnen werden.
- **Biodiesel** wird durch Veresterung mit Methanol aus Pflanzenölen hergestellt. Seit 2009 werden Dieselmotoren zu sieben Prozent statt fünf Prozent Biodiesel beigemischt.
- **Bioethanol** lässt sich aus Zuckerrüben, Zuckerrohr oder Weizen gewinnen. Seit Dezember 2010 werden an Tankstellen in Deutschland Benzinsorten angeboten, die bis zu zehn Prozent Bioethanol enthalten – E10. Das ‚E‘ steht für Ethanol, die 10 für den Anteil

der Beimischung. Vor der Einführung der E10-Kraftstoffe lag der Bioethanol-Anteil im Benzin bei fünf Prozent.

Für die Gewinnung von Biokraftstoffen der zweiten Generation können auch die Rest- und Abfallstoffe von Pflanzen verarbeitet werden.¹¹ So lässt sich fast die gesamte Pflanze, zum Teil einschließlich der Cellulose, verwenden – was die Effizienz im Vergleich zu Biokraftstoffen der ersten Generation erhöht. Zu den Biokraftstoffen der zweiten Generation gehören:¹²

- Biogas, das auf Erdgasqualität aufbereitet ist, kann als Kraftstoff für Erdgasautos genutzt werden.
- Biomethan wird aus Biomasse gewonnen und ist mit 50 bis 70 Prozent der größte Bestandteil („Fraktion“) von Biogas.
- Biomass-to-Liquid (BtL)-Kraftstoff wird aus Biomasse gewonnen, etwa aus Holz oder Stroh. Die Arbeiten an dem Verfahren sind noch in der Forschungs- und Erprobungsphase.
- An Verfahren zur Gewinnung von Celluloseethanol aus pflanzlicher Biomasse (Bioethanol auf Lignozellulosebasis) wird derzeit geforscht.

Als Kraftstoffe der dritten Generation werden die Biomasse von Algen oder einzelne Bestandteile davon (Lipide, Kohlenhydrate, Kohlenwasserstoffe) verwendet. Der Vorteil hierbei ist, dass bei Algen

¹¹ Vgl. Umweltbundesamt (2010c).

¹² Vgl. ebenda.

ABHEBEN MIT PFLANZENÖL

Im Luftverkehr gibt es keine Alternative zum Verbrennungsmotor. Vor dem Hintergrund, dass die Erdölvorkommen schrumpfen, tendenziell teurer werden und bei der Verbrennung klimaschädliches CO₂ freisetzen, wird das Thema Alternative Kraftstoffe für Flugzeuge immer wichtiger. Die Lufthansa hat unter dem Namen „PureSky“ alle Aktivitäten auf dem Feld erneuerbare Energien gebündelt; dabei spielt die Erforschung von Biokraftstoffen eine zentrale Rolle. Im Juli 2011 hat die Fluglinie das Forschungsprojekt „burnFAIR“ gestartet: Zwischen Frankfurt und Hamburg fliegt sechs Monate lang regelmäßig ein Airbus 321, bei dem ein Triebwerk mit einer

50-50-Mischung aus herkömmlichem und bio-synthetischem Kerosin betrieben wird. Der Langzeittest soll Antworten auf die Fragen liefern, wie sich der Einsatz von Biokraftstoffen auf die Wartung und Lebensdauer der Turbine auswirkt.

In den Flugzeugtank füllt die Lufthansa ausschließlich „Bio-Kerosin“, das aus nachhaltig produzierter Biomasse hergestellt wird. Hauptbestandteile sind Pflanzenöle aus der Jatrophanuss oder Leindotter sowie tierische Fette.

Quelle: Deutsche Lufthansa AG (2011).

die Biomasse-Produktivität pro Fläche deutlich höher liegt als bei Pflanzen. Außerdem stehen Algenreaktoren nicht in Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion, da nährstoffreiche Abwässer sowie anderweitig wertlose Böden verwendet werden können. Allerdings sind Alternative Kraftstoffe auf Algenbasis aufgrund der hohen Kosten einer kommerziellen

Nutzung sowie des Reifegrads der Technologie, die sich in der Forschungs- und Entwicklungsphase befindet, noch nicht marktreif. Nach dem derzeitigen Forschungsstand wären die biogenen Treibstoffe der dritten Generation besonders für Biodiesel und Biogas sowie für Bioethanol geeignet.¹³

Marktsegment Alternative Antriebstechnologien

Eine Minderung der CO₂-Emissionen im Verkehrssektor in einem Umfang, der für die Erreichung der nationalen und internationalen Klimaziele erforderlich ist, lässt sich nicht allein durch Effizienzverbesserungen konventioneller Verbrennungsmotoren bewerkstelligen. Maßnahmen zur Senkung des Kraftstoffverbrauchs können nach Schätzungen von Experten eine CO₂-Reduktion von bis zu 30 Prozent bei Diesel und bis zu 40 Prozent bei Benzinmotoren realisieren. **Voraussetzung für eine weitgehende Dekarbonisierung des Verkehrssektors ist deshalb, dass die Marktdurchdringung von Fahrzeugen mit alternativen Antriebstechnologien deutlich zunimmt.** Dazu gehören Hybridtechnologien, Elektroantriebe (batterieelektrische Antriebe) und Brennstoffzellenantriebe.

Hybridantrieb

„Hybrid“ heißt ‚gemischt‘ – Der **Antrieb von Hybrid-elektrokraftfahrzeugen** (so die offizielle Langform des Hybridautos) besteht aus **Elektromotor und Verbrennungsmotor**. Beim Anfahren ist ausschließlich

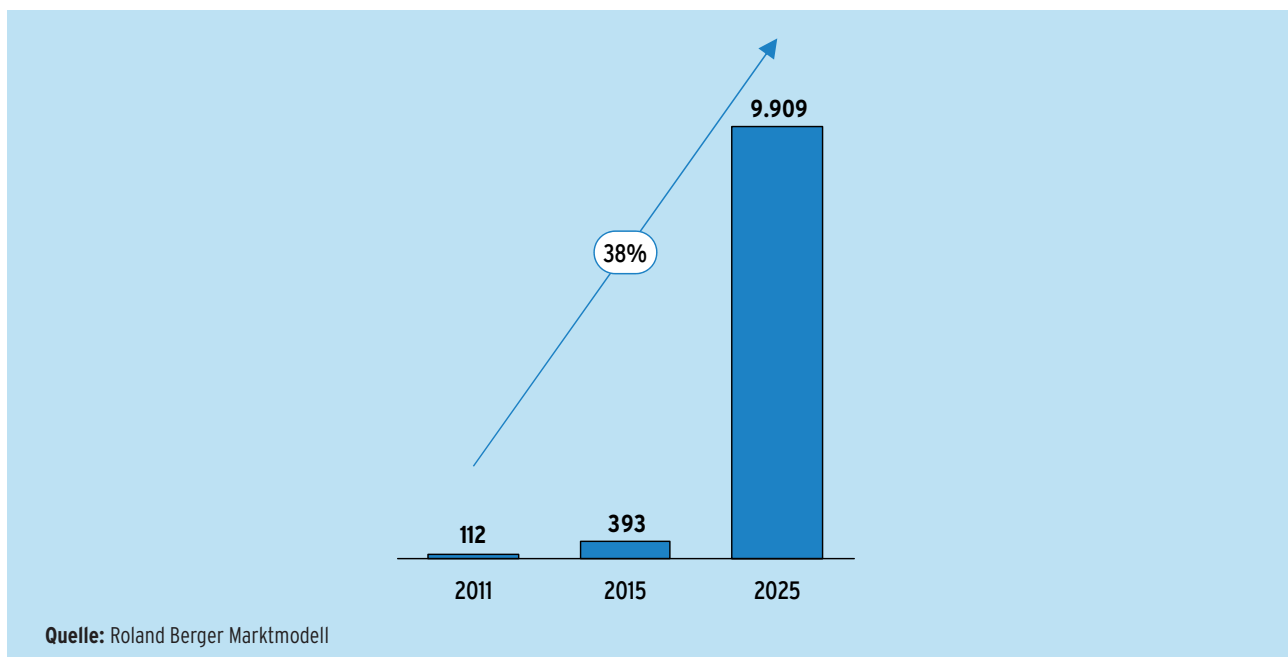
der Elektromotor gefordert, der von der Batterie mit Energie versorgt wird. Die Motoren-Arbeitsteilung ändert sich je nach Anforderung: Im Normalbetrieb läuft der Benzinmotor mit halber und der Elektromotor mit voller Kraft. Beim Beschleunigen laufen beide Systeme mit voller Kraft; dagegen ist beim Bremsen der Benzinmotor aus, und der Elektromotor lädt mit der kinetischen Energie des Bremsvorgangs die Batterie auf.

Plug-in-Hybride (PHEV) lassen sich nicht nur über die Batterie des Fahrzeugs, sondern zusätzlich am Stromnetz aufladen. Bei entsprechender Kapazität des Akkus können Strecken von bis zu 80 Kilometern ausschließlich „elektrisch“ zurückgelegt werden.

Ein Hybridantrieb bietet mehrere Vorteile: Zum einen läuft das Auto im Stop-and-Go-Verkehr mit Elektromotor. Das heißt, der Umwelt bleiben die Emissionen eines Verbrennungsmotors erspart. Zum anderen bewegt sich der Verbrennungsmotor in einem Hybridfahrzeug in einem günstigen Drehzahlbereich und damit hocheffizient. Dies senkt im Vergleich zu einem konventionellen Benzinfahrzeug den Treibstoffverbrauch um bis zu 50 Prozent.

13 Vgl. BiomassEnergie (2011).

Abbildung 57: Marktprognose Alternative Antriebstechnologien 2011, 2015 und 2025 in Deutschland (in Millionen Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)



Alle großen internationalen und deutschen Autohersteller fertigen mittlerweile **Hybridfahrzeuge in Serienproduktion**. Mit der 2009 eingeführten Hybrid-Variante des Mercedes Benz S 400 war Daimler der erste europäische Automobilhersteller, der einen serienmäßigen Pkw mit Hybridantrieb auf den Markt gebracht hat. Das Konzept dieses Autos basiert auf einem platzsparenden Lithium-Ionen-Akku sowie einem 15 Kilowatt (20 PS) starkem Elektromotor, der den Ottomotor insbesondere im Stadtverkehr unterstützen soll.¹⁴

Elektroantrieb (batterieelektrische Antriebe)

Die Energie für den Antrieb des Fahrzeugs kommt aus einer Batterie, die am Stromnetz aufgeladen werden kann. **Statt mit Benzin oder Diesel fährt das Auto mit dem „Treibstoff“ Strom, der einen Elektromotor antreibt, der elektrische in mechanische Energie wandelt.** Die Idee des Elektroantriebs ist keine Erfindung des 21. Jahrhunderts: Schon 1899 brachte es der elektrische Rennwagen „La Jamais Contente“ auf ein Tempo von gut 100 Stundenkilometern. Und noch in den 1970er Jahren war die E-Version des Ford Transit als Milchauto in England unterwegs. Angesichts üppig sprudelnder Ölquellen wurde allerdings die Forschung und Entwicklung im Bereich Elektroautos nicht vorangetrieben. Deshalb waren bei der Lösung

des Problems, größere Energiemengen für den Betrieb des Elektromotors zu speichern, lange Zeit nur zähe Fortschritte zu verbuchen. Ein erster Durchbruch war die Erfindung der Lithium-Ionen-Batterie 1991.¹⁵ Vor dem Hintergrund der Endlichkeit der Ölvorräte und der klimaschädlichen Treibhausgasemissionen der fossilen Energieträger erlebt die Elektromobilität nun eine Renaissance.

Der Vorteil der E-Mobility liegt darin, dass in der Betriebsphase der Fahrzeuge kein CO₂ emittiert wird. Bei einer Well-to-Wheel-Betrachtung müssen jedoch auch andere Parameter in der CO₂-Bilanz berücksichtigt werden: Die **Klimafreundlichkeit dieser Antriebstechnologie wird maßgeblich von der Erzeugungsort des Stroms bestimmt, mit dem die Akkus geladen werden.** Werden die Elektroautos mit Strom aus erneuerbaren Energien betrieben, ist Elektromobilität ein wesentlicher Beitrag zur Nachhaltigkeit im Verkehrssektor.

Den Elektrofahrzeugen ist auch eine wichtige Rolle bei der „Energiewende“ zugeordnet: Bei einer stärkeren Marktdurchdringung könnten **Elektrofahrzeugflotten als mobile Energiespeicher** ins Stromnetz eingebunden werden. Voraussetzung dafür sind der Aufbau eines intelligenten Verteilnetzes (Smart Grid) sowie IKT-Lösungen, die den Datenaustausch zwischen Fahrzeug, Ladestation und Verteilnetz ermöglichen. Auf diese Weise können Elektrofahrzeuge einen

¹⁴ Vgl. Daimler AG (2011).

¹⁵ Vgl. o.V. (2011c).

MOBILITÄT OHNE LIMIT – OPEL AMPERA MIT PERMANENTEM ELEKTROANTRIEB

Ende 2011 ist in Europa das erste Elektroauto mit verlängerter Reichweite in Serienfertigung gegangen – der Opel Ampera. Der Fünftürer mit permanentem Elektroantrieb schafft mit seinem 150 PS-Elektromotor eine Spitzengeschwindigkeit von etwa 160 Stundenkilometern. Eine Lithium-Ionen-Batterie (16 Kilowattstunden) kann dabei Energie für eine Reichweite von 40 bis 80 Kilometer speichern. Wer weiter hinaus will, bleibt auch dann nicht auf der Strecke, wenn keine Steckdose in greifbarer Nähe ist: Bei niedrigem Ladestand der Batterie schaltet sich ein bordeigener Generator zu, um den Elektromotor weiterhin mit Strom zu versorgen (Extended-Range Electric Vehicle Technologie). Dieser Generator wird von einem effizienten Benzinmotor angetrieben. Dadurch steigt die Reichweite auf etwa 500 Kilometer, ohne dass eine Tankstelle oder eine Ladestation angesteuert werden muss. Auf die eingebaute Batterie gibt Opel eine Garantie von acht Jahren oder bis zu 160.000 Kilometer. Nach Angaben des Rüsselsheimer Konzerns liegt der CO₂-Ausstoß des Ampera unterhalb der Marke von 40 Gramm pro Kilometer.

Quelle: Adam Opel AG (2011)

wichtigen Beitrag zur Netzintegration der erneuerbaren Energien leisten, weil sie als Speicher die fluktuierende Einspeisung von Energieträgern wie Windkraft oder Photovoltaik auffangen und damit Spitzen bei Stromangebot beziehungsweise Strombedarf abpuffern können („Vehicle-to-Grid“).

Die Bundesregierung betrachtet die Elektromobilität als „wichtiges Element einer klimagerechten Energie- und Verkehrspolitik“¹⁶ und möchte Deutschland als „Leitmarkt“ und „Leitanbieter“ für Elektromobilität etablieren.¹⁷ Das im Mai 2011 verabschiedete **Regierungsprogramm Elektromobilität** formuliert das Ziel, dass bis 2020 eine Million Elektroautos auf deutschen Straßen fahren, 2030 sollen es sechs Millionen sein. Um diese Pläne zu verwirklichen, setzt die

Bundesregierung vor allem auf die Unterstützung der Forschung und Entwicklung (FuE) im Bereich der Batterietechnologie. Die Energiedichte der Akkus zu erhöhen, wird als einer der entscheidenden Schritte auf dem Weg zum Massenmarkt der Elektromobilität erachtet.

Brennstoffzellenantrieb (H₂-Mobilität)

Bei Brennstoffzellenfahrzeugen kommt der Strom für den Antrieb nicht aus der Steckdose respektive der Ladestation, sondern wird an Bord erzeugt: In einer Brennstoffzelle, die aus zwei mit einem Platinkatalysator überzogenen Elektroden besteht, wird **Wasserstoff (H₂) in Protonen und Elektronen gespalten**. Die bei diesem Prozess freigesetzte **chemische Energie wird in elektrische Energie gewandelt**, die den Motor antreibt. Als Nebenprodukt der Reaktion entsteht Wasser.

Brennstoffzellenbetriebene Fahrzeuge haben den Vorteil, dass ihre Reichweiten und Tankeigenschaften denen von Autos mit Verbrennungsmotor sehr ähnlich sind. Wie Elektroautos fahren auch Wasserstoffautos CO₂-frei. Zu einer Well-to-Wheel-Betrachtung gehört allerdings auch die **Produktion von Wasserstoff**, die **sehr energieintensiv** ist. Eine „grüne“, das heißt fast CO₂-freie, Option für die Marktdurchdringung mit Brennstoffzellenfahrzeugen ist die Produktion von Wasserstoff mit regenerativ erzeugter Energie. Dabei kann Wasserstoff auch als Speichermedium fungieren und die Netzintegration der erneuerbaren Energien unterstützen.¹⁸

Bis 2020, so die Absichtserklärung der Bundesregierung, soll es in Deutschland 500.000 Brennstoffzellenfahrzeuge geben. Um den Weg zu diesem Ziel zu ebnen, wird die Marktdurchdringung des Brennstoffzellenantriebs im Rahmen des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) gefördert.¹⁹

Die einzelnen Teile im Portfolio der alternativen Antriebe ergänzen sich in Bezug auf die unterschiedlichen Mobilitätsbedürfnisse der potenziellen Nutzer sehr gut. Während die Elektroautos ideal für Stadtfahrten beziehungsweise für Distanzen um die 100 Kilometer geeignet sind, können Brennstoffzellenfahr-

16 Regierungsprogramm Elektromobilität (2011), S. 5.

17 Ebenda, S. 7.

18 Details dazu im Kapitel *Dezentrale Energieversorgung* und im Leitmarkt Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung.

19 Das NIP wurde 2006 als strategische Allianz aus Wirtschaft, Wissenschaft und dem Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) sowie den Bundesministerien für Wirtschaft, Wissenschaft und Technologie (BMWi), für Bildung und Forschung (BMBF) und dem Umweltministerium (BMU) als Teil der Hightech-Strategie für Deutschland ins Leben gerufen. Das Ziel der auf zehn Jahre angelegten Initiative ist die Marktvorbereitung von Produkten und Anwendungen, die auf Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie basieren. Das NIP-Budget in Höhe von 1,4 Milliarden wird jeweils zur Hälfte vom Bund und von der Industrie getragen. Vgl. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2008).

HYBRID-STRASSENBAHN – AUTONOMIE VON DER OBERLEITUNG

Hybrid-Antriebe gibt es nicht nur für Autos, sondern auch für Schienenfahrzeuge: So hat Siemens eine Hybrid-Straßenbahn entwickelt, die 2,5 Kilometer ohne Kontakt zur Oberleitung fahren kann – dank eines hybriden Energiespeichersystems aus Doppelschicht-Kondensatoren und Nickel-Metallhydrid-Akkus. Die Hightech-Tram wandelt einen Teil der Bremsenergie in elektrische Energie um, speichert sie und nutzt sie für den Antrieb. Diese Technologie, mit der auch Bestandsfahrzeuge nachgerüstet werden können, verbraucht im Vergleich zu herkömmlichen Straßenbahnen 30 Prozent weniger Energie und senkt den Treibhausgasausstoß um 80 Tonnen CO₂ pro Jahr.

Zu diesen ökologischen Vorteilen kommt noch ein weiterer Pluspunkt: Oberleitungen als optische Störfaktoren, etwa in historischen Prachtstraßen, sind passé, weil die Hybrid-Straßenbahnen über eine begrenzte Distanz auch ohne externe Stromzufuhr auskommen. Oberleitungen können auch an Stellen abmontiert werden, wo die Wartung schwierig ist, beispielsweise an vielbefahrenen Kreuzungen oder in Tunneln.

Quelle: German Trade & Invest (2010c), S. 12.

zeuge bei längeren Strecken punkten. Außerdem kommen ihre Tankeigenschaften denen konventioneller Fahrzeuge ziemlich nahe, was Benzin- und Dieselnutzern die Umstellung erleichtert. Allerdings steckt die Marktdurchdringung der Wasserstoffmobilität noch

in der Frühphase, sodass die Modellauswahl und die Tankstelleninfrastruktur noch beschränkt sind. Schon heute dagegen können mit Plug-in-Hybridfahrzeugen und Hybridfahrzeugen wie gewohnt lange Distanzen zurückgelegt werden.

Marktsegment Verkehrssteuerung und Verkehrsinfrastruktur

Angesichts des Klimawandels und der Ressourcenknappheit wird es zunehmend wichtiger, dass Güter und Personen nicht nur schnell von A nach B gelangen, sondern auch nachhaltig: In der Logistik zählen nicht länger ausschließlich Geschwindigkeit und Kosten, sondern auch Umweltverträglichkeit (Energieverbrauch, Ausstoß von Kohlendioxid und anderen Schadstoffen). **Um klimafreundliche und ressourcenschonende Mobilitätskonzepte zu verwirklichen, bedarf es einer intelligenten Verkehrssteuerung sowie einer modernen Verkehrsinfrastruktur, die die Vernetzung unterschiedlicher Verkehrsträger und neue Geschäftsmodelle wie Carsharing ermöglicht.** Diese Handlungsfelder nachhaltiger Mobilität umfasst das Marktsegment Verkehrssteuerung und Verkehrsinfrastruktur.

Verkehrssteuerung

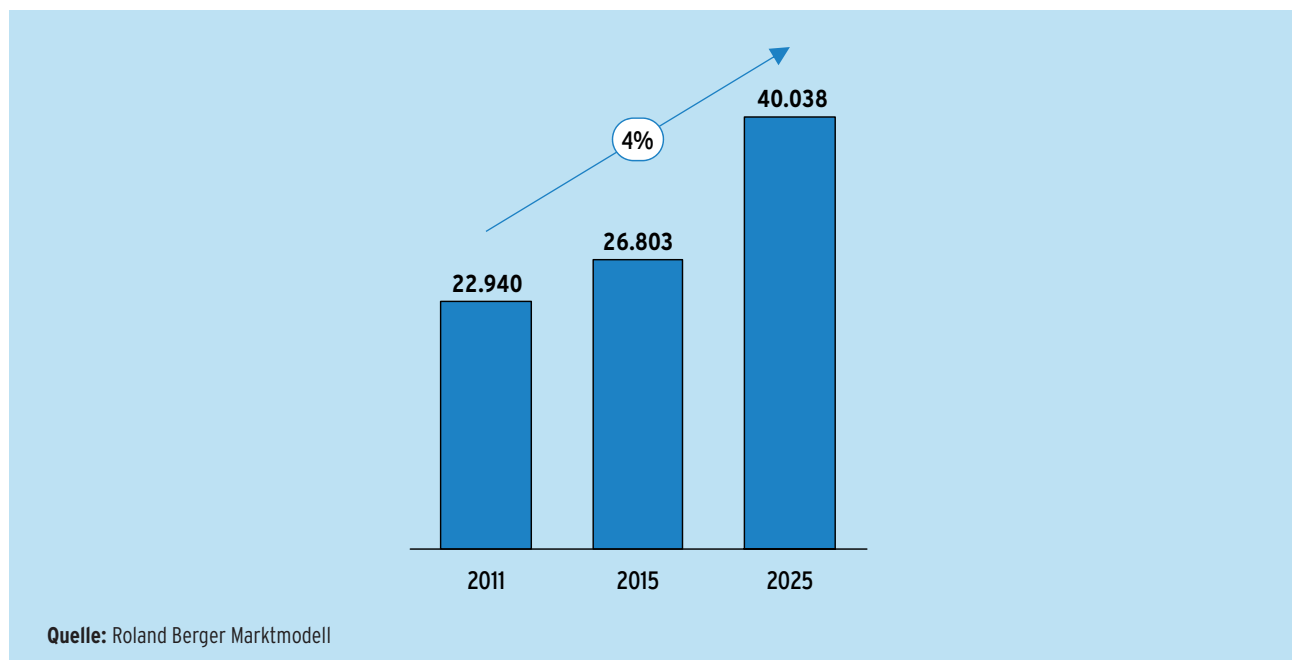
Intelligente Systeme zur Verkehrssteuerung sind gerade in Ballungsräumen ein wichtiges Instrument, um Verkehrsflüsse effizienter zu verteilen und dadurch Staustrecken zu entlasten. Solche **Verkehrsleitsysteme** messen das Verkehrsaufkommen, benennen alternative Routen, passen Geschwindigkeitsbegrenzungen an Witterungsbedingungen und Verkehrs-

aufkommen an und warnen vor Staus. So senken sie das Unfallrisiko und erhöhen die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer. **Die Vermeidung beziehungsweise Reduzierung von Staus ist ein wichtiger Beitrag zum Umweltschutz** und zur Lebensqualität der Stadtbewohner, denen die besonders hohe Abgaskonzentration des stehenden Verkehrs erspart bleibt. Außerdem senken Verkehrssteuerungssysteme indirekt die CO₂-Emissionen und den Kraftstoffverbrauch, denn der fällt im Stop-and-Go-Modus besonders hoch aus.

Insbesondere außerhalb der Stadtgebiete sind heute **ferngesteuerte Beschilderungen** im Einsatz, um ein hohes Fahrzeugaufkommen zu regulieren. Wartezeiten bei Raststätten oder Staus werden angezeigt, die Geschwindigkeitsbegrenzungen für die Fahrzeuge können entsprechend der aktuellen Situation angepasst werden. Folglich kann dem Stop-and-Go-Verkehr vorgebeugt werden, der häufig ein Auslöser für Staus ist.

Um Verkehrsleitsysteme effizienter zu gestalten, setzt BMW verstärkt auf **Online-Vernetzung**. So werden seit Herbst 2011 alle neuen Fahrzeuge im Rahmen des Programms Connected Drive mit einem Verkehrsinformationssystem ausgestattet, das dank Real-Time-Traffic-Informationen (RTTI) für die Routenberechnung und Umleitungsempfehlungen Echt-

Abbildung 58: Marktprognose Verkehrssteuerung und Verkehrsinfrastruktur 2011, 2015 und 2025 in Deutschland (in Millionen Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)



zeit-Informationen über die aktuelle Verkehrslage verarbeiten kann. Dafür sollen Verkehrsmeldungen der Polizei sowie eine limitierte Anzahl von Sensoren auf Autobahnen und Schnellstraßen genutzt werden; außerdem werden künftig die Fahrzeuge selbst als Informations-Scouts über die aktuelle Verkehrslage dienen: Über die Handys in den Autos werden anonyme Bewegungsprofile erstellt, die Rückschlüsse über die Verkehrsdichte ermöglichen.²⁰

Bis jetzt steuert die Ampelschaltung den Verkehrsfluss – in Zukunft könnte es umgekehrt sein. Wissenschaftler der TU Dresden und der ETH Zürich entwickeln derzeit ein **Ampelsystem ohne Supercomputer**, der die Ampelschaltung zentral koordiniert. Stattdessen misst jede einzelne Ampel mittels Detektoren, die am Beginn und Ende eines Straßenabschnittes angebracht sind, die Anzahl und Geschwindigkeit der sich nähernden Fahrzeuge. Da die Ampeln untereinander kommunizieren können, lässt sich berechnen, wann und wie lange sie auf Grün schalten müssten, um den Verkehrsfluss nicht zu unterbrechen. Nach einer Computersimulation für die Stadt Dresden könnte die Wartezeit für die öffentlichen Verkehrsmittel um mehr als 50 Prozent, für Autos und Lastwagen um neun Prozent und für Fußgänger und Radfahrer sogar um 36 Prozent gesenkt werden.²¹

Bei der Verkehrssteuerung im weiteren Sinn spielt auch die Wahl beziehungsweise die **Kombination der einzelnen Verkehrsträger** eine entscheidende

Rolle. Die ökologischen Vor- und Nachteile einzelner Verkehrsträger zu bewerten, scheint nur auf den ersten Blick einfach. Dass der Pkw, in dem sich allein der Fahrer durch den Stop-and-Go-Verkehr der Rushhour quält, eine schlechtere Ökobilanz aufweist als eine vollbesetzte U-Bahn, liegt auf der Hand. Schwieriger wird es in konkreten Einzelfällen: Was ist unter ökologischen Aspekten der bessere Weg, um von München nach Hamburg zu gelangen – die Fahrgemeinschaft zu viert im sparsamen Pkw, die Reise im vollbesetzten Flugzeug oder im halbleeren ICE? Grundsätzlich lässt sich festhalten, dass im Personennahverkehr Bahn und Bus umweltverträglicher sind als das Auto. Im Personenfernverkehr schneiden Bahn und Reisebus besser ab als Flugzeug und Pkw. Entscheidungshilfen im Einzelfall liefern **Softwaretools**. Auf der Website www.bahn.de finden Interessenten den „UmweltMobilCheck“, mit dem sie für europäische Strecken die Verkehrsträger Bahn, Flugzeug und Pkw hinsichtlich Energieverbrauch, CO₂-Emissionen, Schadstoff-Ausstoß und Reisedauer vergleichen können.

Für den Güterverkehr gibt es ebenfalls einen **Umweltrechner**: „**EcotransIT World**“ vergleicht den Transport von Gütern mit dem Zug, Lkw, See- oder Binnenschiff, Flugzeug und im kombinierten Verkehr unter ökologischen Aspekten rund um den Globus. Das ausgefeilte IT-Programm berücksichtigt dabei die Parameter Energieverbrauch, CO₂-Emissionen sowie Ausstoß von Feinstaub, Stickoxiden, Nicht-Methan-Kohlenwasserstoff, Schwefeldioxid.

²⁰ Vgl. Pudenz, K. (2011).

²¹ Vgl. Langbein, L. (2011).

Für die Aufgabe, 100 Tonnen eines Durchschnittsguts von Ankara nach Stockholm zu bringen, liefert der Umweltrechner beispielsweise zwei Transportketten-Optionen: Ein Lkw verbraucht für eine Distanz von 4.017 Kilometern 447.531 Megajoule Primärenergie

und emittiert 28,28 Tonnen Kohlendioxid. Mit dem Zug legt die Fracht eine Entfernung von 4.289 Kilometern zurück; der Primärenergieverbrauch liegt dabei bei 139.667 Megajoule, der CO₂-Ausstoß bei 6,38 Tonnen.

Verkehrsinfrastruktur

Schieneninfrastruktur

Wer sich in EcotransIT World die Transportketten für den Güterverkehr von Nürnberg nach Prag ermitteln lässt, erhält folgendes Ergebnis: Mit dem Lkw legen die 100 Tonnen Durchschnittsgut zwischen den beiden Städten eine Strecke von 297 Kilometern zurück, mit dem Zug dagegen 624 Kilometer. Die Lokomotive zieht die Fracht nämlich über Österreich nach Tschechien. An diesem Beispiel wird deutlich, dass die beste Umweltbilanz des Schienengüterverkehrs wenig nützt, wenn die **Schieneninfrastruktur Defizite** aufweist.

Nach einer Studie des Umweltbundesamtes (UBA) sind Investitionen in Höhe von elf Milliarden Euro nötig, um das Schienennetz in Deutschland so auszubauen, dass die Verkehrsleistung des Schienengüterverkehrs bis 2025 auf 213 Milliarden Tonnenkilometer erhöht werden kann (2008: 116 Milliarden Tonnenkilometer). Die UBA-Studie beziffert den Neu- und Ausbaubedarf auf 725 Streckenkilometer; 817 Streckenkilometer müssten elektrifiziert werden.²²

Lärmschutz

Etwa zwei Drittel der Bevölkerung fühlen sich durch Lärm gestört. Der **Straßenverkehr gehört dabei insbesondere in Ballungsräumen zu den Hauptquellen der Lärmbelästigung**. Maßnahmen wie Schallschutzwände oder Geschwindigkeitsbegrenzungen können hier Linderung verschaffen. Zu den bewährten „Schalldämpfern“ gehört auch der „Flüsterasphalt“, der im Fachjargon als offener Asphalt (OPA) oder Drainasphalt bezeichnet wird. Im Gegensatz zum Asphaltbeton hat der lärmoptimierte Asphalt einen hohen Anteil an zusammenhängenden Hohlräumen. Sie „schlucken“ die Fahrgeräusche beziehungsweise lassen sie gar nicht erst entstehen. Der Lärmpegel lässt sich durch OPA auf der Fahrbahn um fünf bis zehn dBA senken. Allerdings hält die geräuschkämpfende Wirkung des Flüsterasphalts nur solange an, bis die Poren nicht verstopft sind. In der Zwischenzeit ist bereits die zweite Generation des lärmoptimierten Asphalts auf deutschen Straßen im Einsatz: „ZWOPA“ besteht aus zwei Schichten.

BAHNSCHWELLEN AUS RECYCLING-MATERIAL

Der Inhalt des Gelben Sacks kann künftig auf eine Reinkarnation als Bahnschwelle hoffen. Ein Konsortium aus dem Entsorgungsbetrieb PAV (Berlin), dem Maschinenhersteller NGR (Feldkirchen, Österreich) und dem Fraunhofer Institut für Chemische Technologie ICT (Pfinztal) hat eine Materialmischung aus Altkunststoffen und Glasfaserabfällen entwickelt, die zu Bahnschwellen verarbeitet werden kann. Die Bahnschwellen aus Rezyklat schnitten bei Materialprüfungs- und Eignungstests nicht schlechter ab als herkömmliche Bahnschwellen aus Beton oder Holz. Aufgrund ihrer geringeren Masse sind die Recycling-Modelle allerdings leichter, was sie für den Einsatz auf Brücken empfiehlt.

Quelle: ShortNews (2011)

Aber nicht nur die Anrainer vielbefahrener Straßen klagen über Lärm. Auch in der Nachbarschaft von Gleisanlagen müssen Anwohner mitunter mit einem hohen Geräuschpegel leben, **vor allem entlang von Hauptstrecken** beziehungsweise Knotenpunkten des Güterverkehrs. Die Deutsche Bahn (DB) will den Schienenlärm bis 2020 im Vergleich zu 2000 halbieren. Dieser Vorsatz ist Teil der Umweltziele des Unternehmens; eine Reihe von Maßnahmen trägt dazu bei, ihn zu verwirklichen.

Bereits seit 2001 ist jeder neue Güterwagen mit einer „**Flüsterbremse**“ ausgestattet, den „K-Bremssohlen“. Ihre Bremsklötze bestehen nicht aus Grauguss, sondern aus einer speziellen Kunststoffmischung. Diese verhindert, dass die Radflächen beim Bremsen aufrauen – quietschende Bremsen werden auf diese Weise erheblich leiser. Die **K-Verbundstoffbremssohle** mindert die Rollgeräusche um bis zu zehn Dezibel. Das entspricht für das menschliche Ohr einer Halbierung des Lärms.

22 Vgl. Holzhey, M. (2010).

Die gesamte Güterverkehrsflotte mit K-Bremssohlen nachzurüsten, wäre für die Bahn allerdings kostspielig, denn bei Bestandsfahrzeugen müsste das komplette Bremssystem ausgetauscht werden. Angesichts des harten Wettbewerbs im europäischen Schienen-güterverkehr sind die Kunden jedoch nicht bereit, einen Aufpreis für den Lärmschutz zu bezahlen. Eine wirtschaftliche Lösung des Lärmproblems sucht die Deutsche Bahn gemeinsam mit einem Herstellerkon-sortium aus sechs Partnern ²³ im **Forschungsprojekt „Lärmreduzierter Güterverkehr durch innovative Verbundstoffbremssohlen“ (LäGIV)**. Bis 2014 will die Kooperation neue Verbundstoffbremssohlen des Typs LL entwickeln, deren Umrüstkosten erheblich niedriger liegen als bei den K-Bremssohlen. Die Kosten für das Forschungsprojekt belaufen sich auf 15 Millionen Euro, davon übernimmt das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie 6,8 Millionen Euro. ²⁴

Eine andere Innovation zur Lärminderung sind **Schienenstegdämpfer**, die beispielsweise im Mittel-rheintal und im sächsischen Elbtal eingesetzt werden. Diese Dämpfer reduzieren die Schienenschwingun-gen, was wiederum die Rollgeräusche verringert. Eine andere Maßnahme zur Senkung des Lärmpegels am Gleis sind Schallschutzwände aus Gabionen. Diese mit Steinen gefüllten Drahtkörbe können dank eines besonderen Kerns aus recyceltem Material den Schall absorbieren und so als Lärmbarriere wirken. Diese **Gabionen-Schallschutzwände** können in verschie-denen Höhen eingesetzt werden: Die niedrigste Va-riante ist 76 Zentimeter hoch, die höchste misst fünf Meter Höhe. ²⁵

23 Zum Herstellerkonsortium gehören Wabtec/Becorit, Bremskerl, Honeywell, Federal Mogul, TMD Friction und der Verband der Reibbelag-industrie VRI. Vgl. Deutsche Bahn AG (2011a).

24 Vgl. Deutsche Bahn (2011a).

25 Vgl. Deutsche Bahn (2010).

CARSHARING – FAHREN STATT BESITZEN

Lieber Handy statt Auto - in der Altersgruppe plus/minus dreißig verliert der eigene fahrbare Untersatz allmählich seine Bedeutung als Statussymbol. Bei einer Studie der Fachhochschule der Wirtschaft Bergisch-Gladbach konnten sich 75% der Befragten zwischen 18 und 25 nicht vorstellen, einen Monat lang Handy- und Internet-abstinent zu leben. Auf das Auto zu verzichten, war für 60 Prozent dagegen kein Problem (Honsel, G., 2011).

Auch wenn der motorisierte Individualverkehr nach wie vor die Hauptrolle im Verkehrsaufkommen spielt, gibt es erste Anzeichen eines Umdenkens, vor allem in den Ballungszentren, wo Staus häufig und Parkplätze knapp sind. Nutzen statt besitzen heißt der neue Trend beim Autofahren. Und neben den Carsharing-Pionieren, die bereits Anfang der Neunziger Jahre aktiv waren, haben in den letzten Jahren große Automobilkonzerne dieses Geschäftsmodell entdeckt und damit einen Rollenwechsel vom Autoverkäufer zum Mobilitätsdienstleister eingeläutet.

Unter dem Markennamen „car2go“ bietet ein Gemeinschaftsunternehmen von Daimler und Europcar Carsharing in Austin (Texas), Ulm, Vancouver und Hamburg an. In der Hansestadt ist eine Flotte von 300 Smarts unterwegs, die nach einer unkomplizierten Registrierung als car2go-Nutzer für einen Tarif von 29 Cent pro Minute spontan oder nach Reservierung gemietet werden können. Die Erfahrung der ersten drei Monate hat gezeigt, dass 60 Prozent der Kunden jünger als 36 Jahre sind. Die Fahrzeuge werden vor allem für kurze Fahrten (20 bis 60 Minuten) und gerne als Ergänzung zu öffentlichen Verkehrsmitteln genutzt (automotiveIT, 2011).

Drive Now, die Carsharing-Marke von BMW und Sixt, wird in München und Berlin angeboten. Zur Flotte von Drive Now gehören BMW 1er,

Mini Cooper, Mini Clubman und Mini Cabrio. Wie bei car2go gilt die Devise „überall einsteigen, überall abgeben“. Im definierten Geschäftsgebiet - in München innerhalb des Mittleren Rings, in Berlin innerhalb des S-Bahn-Rings - kann der Nutzer das Auto am Zielort einfach stehenlassen. Aufspüren und buchen lassen sich die Drive-Now-Fahrzeuge übers Internet oder mit dem Smartphone. Der Preis von 29 Cent pro Minute ist „all inclusive“, Benzin, Reinigung, Steuer, Parkgebühren und Versicherung sind bereits enthalten. Auch die Deutsche Bahn hat als Mobilitätsdienstleister Carsharing in ihrem Portfolio: Unter dem Namen „Flinkster“ werden Fahrzeuge in 140 deutschen Städten angeboten.

Smarte Technik ist die Voraussetzung für moderne Carsharing-Modelle: Ohne intelligentes Zubehör - ID, Flottenmanagement, Apps für die Fahrzeugsuche etc. - wäre die Nutzung von Leihfahrzeugen komplizierter und deshalb weniger attraktiv.

Unter ökologischen Aspekten punktet das Carsharing mit der besseren Auslastung der Fahrzeugflotte: Ein Carsharing-Auto ersetzt 16 Privat-Pkws. Außerdem könnte sich Carsharing als Wegbereiter der Elektromobilität erweisen, quasi als Einstiegsdroge für technikaffine Fahrer, die diese neue Antriebsart ausprobieren möchten. Es ist davon auszugehen, dass E-Mobility bei der Ausweitung des Carsharing eine wichtige Rolle spielen wird. car2go will beispielsweise je 300 E-Smarts in San Diego und Amsterdam auf die Straße bringen. Die Deutsche Bahn testet in Berlin im Rahmen des Projekts „BeMobility - Berlineselektromobil“ jeweils 40 e-Flinkster und Elektroräder (Deutsche Bahn AG (2011b).

Kreislaufwirtschaft



In vielen Ländern der Erde drohen die Müllberge in den Himmel zu wachsen. Weltweit hat die Menge der Siedlungsabfälle im Zeitraum 2004 bis 2008 um ein Drittel zugenommen. Überall gibt es einen klaren **Zusammenhang zwischen dem Wohlstand einer Volkswirtschaft und dem Abfallaufkommen**: Während in den Entwicklungsländern die Müllmenge 200 Kilogramm pro Kopf und Jahr beträgt, liegt dieser Wert im Durchschnitt der EU-27-Länder bei rund 520 Kilogramm. Angesichts des globalen Bevölkerungswachstums und des steigenden Einkommensniveaus in den meisten Entwicklungs- und Schwellenländern zeichnet sich ab, dass die Müllmenge rund um den Globus weiter zunehmen wird.

Dies stellt vielerorts ein **erhebliches Umweltrisiko** dar, denn **in vielen Staaten existiert gar keine oder nur eine rudimentäre Infrastruktur zur Abfallentsorgung**. Vor allem die rasant anwachsenden Metropolen in Schwellen- und Entwicklungsländern haben **gravierende Müll-Probleme: Ungeregelte Lagerung, illegale Deponien und Verbrennung unter freiem Himmel** sind dort an der Tagesordnung.

Verunreinigungen des Bodens, des Grundwassers und der Gewässer bedrohen die Gesundheit der Menschen und die Ökosysteme. So werden Ozeane als Müllkippen missbraucht; jedes Jahr werden sechs Millionen Tonnen Abfälle ins Meer gekippt.

Die **weltweit anschwellende Müllmenge trägt auch erheblich zu den Treibhausgasemissionen bei, sodass es einen engen Wirkungszusammenhang zwischen Abfallaufkommen und Klimaschutz gibt**: Zum einen entstehen bei der Deponierung von Abfällen durch die Vergärung organischer Bestandteile Deponiegase. Das darin enthaltene Methan übertrifft die klimaschädliche Wirkung von CO₂ um das 25-Fache. Etwa ein Viertel der weltweiten Methanemissionen wird durch den Deponiegasausstoß von Hausmülldeponien verursacht.¹ Je geringer also die Menge der abgelagerten Abfälle, desto geringer die Freisetzung von Deponiegas. Diese Kausalität macht die Abfallwirtschaft zu einem wesentlichen Element des Klimaschutzes.

Die Abfallmengen einzudämmen, ist nur durch eine **nachhaltige Kreislaufwirtschaft** möglich. Die Weichen für deren Implementierung wurden in Deutschland schon frühzeitig durch eine fortschrittliche Umweltpolitik gestellt: Das erste Abfallgesetz wurde 1972 verabschiedet. In den Achtziger Jahren hat sich die sogenannte „**Abfallhierarchie**“ – **Vermeiden, Verwerten, Beseitigen – als Prinzip der Abfall- und Kreislaufwirtschaft etabliert**. Dieser Dreiklang ist Ausdruck einer klaren Prioritätensetzung: Die Entstehung von Abfall von vornherein zu vermeiden, ist die beste Strategie zur Schonung der Umwelt und zur Reduzierung des Ressourcenverbrauchs.² Das **Leitbild einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft** verlangt, dass ein möglichst großer Teil der Abfälle wieder genutzt werden kann. Die stoffliche oder energetische Verwertung trägt erheblich dazu bei, den Ressourcenverbrauch zu verringern; dabei wird der stofflichen Verwertung Vorrang vor der energetischen Verwertung eingeräumt. Nicht verwertbare Abfälle müssen umweltgerecht beseitigt werden.

Die Europäische Union hat mit diversen Initiativen den Wandel hin zu einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft gefördert, etwa durch die Richtlinie über Altfahrzeuge, die WEEE-Richtlinie³ sowie durch die 2008 novellierte Abfallrahmenrichtlinie. Letzgenannter kommt unter den europäischen Richtlinien eine zentrale Bedeutung zu.

1 Vgl. Bundesumweltministerium (2011e), S. 32.

2 Die wichtigsten Hebel für die Abfallvermeidung werden im Leitmarkt Rohstoff- und Materialeffizienz dargestellt.

3 Waste Electrical and Electronic Equipment (Elektro- und Elektronikgeräte-Abfall).

Im Oktober 2011 hat der Deutsche Bundestag das neue Kreislaufwirtschaftsgesetz verabschiedet, das auch der Umsetzung der EU-Abfallrahmenrichtlinie in nationales Recht dient. Diese Novellierung ist ein weiterer Schritt bei der Umsetzung einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft, denn die Neufassung des Gesetzes setzt den Schwerpunkt des Abfallrechts stärker auf die Vorbereitung zur Wiederverwendung und das Recycling.⁴ Diese Differenzierung der bisherigen Abfallhierarchie verpflichtet Abfallerzeuger und -besitzer, für jede Abfallart die jeweils beste ökologische Option zu wählen. Ab 2015 schreibt das Gesetz vor, dass Bioabfälle sowie Papier-, Metall-, Kunststoff- und Glasabfälle getrennt gesammelt werden müssen. Damit werden die Voraussetzungen geschaffen, um die Recyclingquoten weiter zu steigern: Bis 2020 sollen 65 Prozent aller Siedlungsabfälle recycelt und 70 Prozent aller Bau- und Bauabbruchabfälle stofflich verwertet werden.

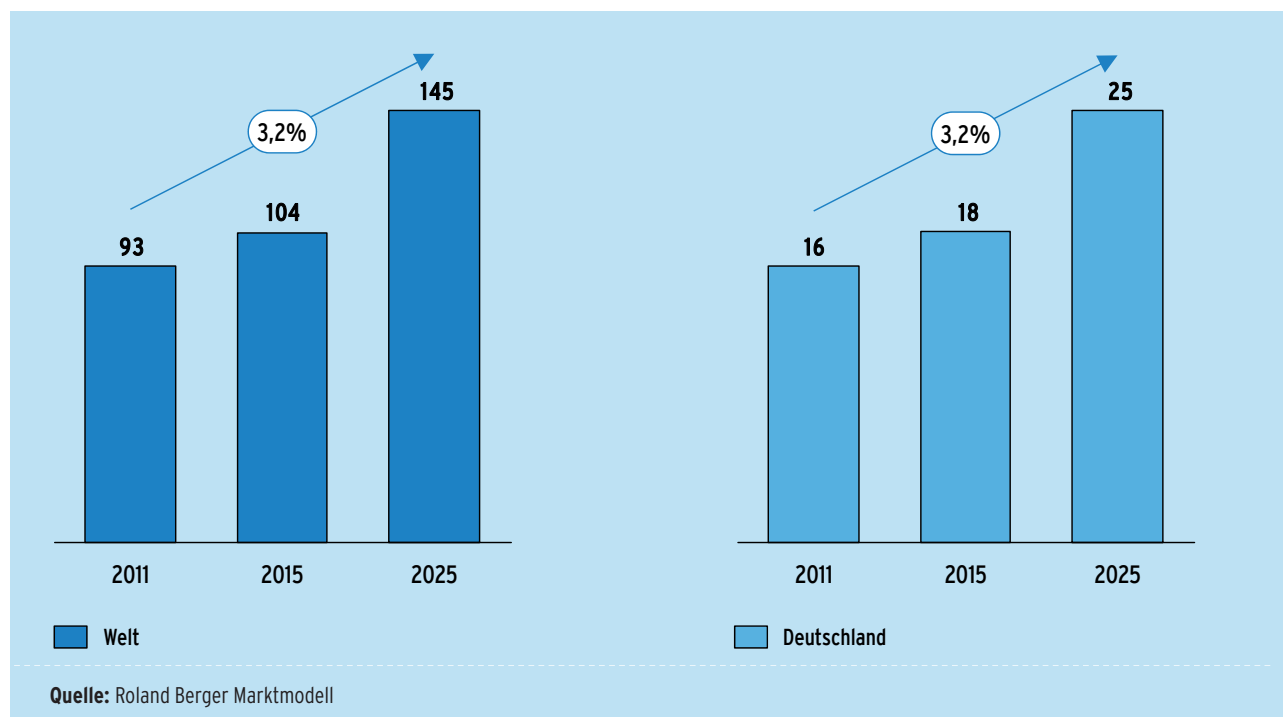
Das Beispiel Deutschlands zeigt, dass durch das Zusammenwirken von Regulierung und einem zunehmenden Umweltbewusstsein seitens der Verbraucher und Unternehmen ein Umsteuern von der Ex-und-Hopp-Mentalität zum Kreislauf-Gedanken ohne Einbußen an Wohlstand und Lebensqualität möglich ist. Noch Anfang der Siebziger Jahre gab es in Deutschland etwa 50.000 Deponien, auf die Müll gekippt wurde. Heute existieren für Siedlungsabfälle nur

noch 100 Deponien. Auch daran wird die Ausrichtung der deutschen Abfallgesetzgebung deutlich, die der Verwertung grundsätzlich Vorrang vor der Ablagerung einräumt. Recycling leistet einen wesentlichen Beitrag, um knappe Ressourcen effizient zu nutzen und auf diese Weise die Eingriffe in Ökosysteme und die bei der Gewinnung und Verarbeitung von Rohstoffen entstehenden CO₂-Emissionen so gering wie möglich zu halten.

An dieser Fokussierung auf Abfallvermeidung und Recycling wird das Ideal des Full-Cycle-Konzepts sichtbar: Das Modell der geschlossenen Kreisläufe folgt dem Prinzip natürlicher Ökosysteme, die keinen Müll produzieren, sondern alle Stoffe in wiederverwertbare Ressourcen verwandeln.

Dieses Konzept spiegelt sich in der Systematisierung des Leitmarktes wider. Seine Marktsegmente Abfallsammlung und Abfalltransport, Abfalltrennung sowie Abfallverwertung bilden die einzelnen Stationen ab, die Abfall von der Entstehung bis zur Wiederverwertung durchläuft. Die Abfalldeponierung ist in diesem Konzept ebenfalls keine Endstation, sondern Lieferant von Rohstoffen. Anhand einiger Beispiele wird in diesem Marktsegment demonstriert, wie Deponiegas als Strom- und Wärmequelle genutzt werden kann.

Abbildung 59: Marktprognose Kreislaufwirtschaft 2011, 2015 und 2025 (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)



4 Vgl. Bundesumweltministerium (2011f).

Marktsegment Abfallsammlung und Abfalltransport

Die **Sammlung und der Transport von Abfall sind Dienstleistungen, die das Fundament einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft bilden.** Diesem Marktsegment werden die Bereiche Abfallbehälter, Produktion und Betrieb von Müllsammelfahrzeugen sowie die Entwicklung und Durchführung von Logistikkonzepten zur Abfallsammlung zugerechnet. Dazu gehören nicht nur die Sammlung von Haushaltsmüll (Restmüll, Biomüll, Altpapier sowie die „gelben Tonnen“ oder „gelben Säcke“ des Dualen Systems), sondern auch die Sammlung von Sperrmüll, die Entsorgung von gefährlichen Stoffen und Industrieabfällen sowie der Betrieb von Wertstoffhöfen.

Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes haben die Haushalte in Deutschland im Jahr 2009 rund 43 Millionen Tonnen Müll produziert. Die Abfallmenge aus Produktion und Gewerbe belief sich auf knapp 53 Millionen Tonnen. Um diese Müllmenge entsorgen beziehungsweise verwerten zu können, bedarf es einer **Infrastruktur zur Abfallsammlung und zum Abfalltransport.** Das gleichnamige Marktsegment ist deshalb ein wichtiges Glied in der Kette der Abfallwirtschaft.

Die **Akteure in diesem Marktsegment sind die kommunale Abfallwirtschaft einerseits und private Entsorgungsdienste andererseits.** Mit der Novelle des Kreislaufwirtschaftsgesetzes wurde versucht, einen Ausgleich den Interessen der kommunalen und privaten Entsorgungswirtschaft zu schaffen und dabei die Vorgaben des EU-Wettbewerbsrechts zu berücksichtigen:⁵ Die Kommunen haben als öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger weiterhin die Verantwortung für die Entsorgung der Abfälle aus privaten Haushalten. Gewerblich Sammlungen sind zwar möglich, müssen jedoch den zuständigen Behörden angezeigt werden. Das Prinzip fasst eine Pressemitteilung des Bundesumweltministeriums zusammen: „Der Grundsatz lautet zukünftig: Wenn die Kommune die Wertstoffe der Haushalte selbst effizient erfasst und hochwertig verwertet, soll sie durch gewerbliche Sammlungen nicht daran gehindert werden. Wenn sie dieses Angebot nicht machen kann oder will, kann sie ein besseres Serviceangebot des gewerblichen Sammlers an die Haushalte nicht verhindern.“⁶

Wie bereits formuliert, gehört die Reduzierung der Müllmengen zu den wichtigsten Zielen der Kreislaufwirtschaft; ein Instrument, diese Absicht umzusetzen, kann eine entsprechende Gestaltung der Müllgebüh-

ren darstellen, wie ein Beispiel aus dem Saarland zeigt. Über den Geldbeutel der Konsumenten setzt der ZKE (Zentrale Kommunale Entsorgungsbetrieb) in Saarbrücken einen Anreiz zur Müllvermeidung. Dazu wurde mit Jahresbeginn 2011 ein neues Gebührenmodell eingeführt: Während früher für die Höhe der Müllgebühren allein Tonnengröße und Leerungsfrequenz maßgeblich waren, zählt jetzt auch das Gewicht. Die mit einem Identifikationschip ausgestatteten Bio- und Restmülltonnen werden nach der Abfuhr gewogen. Um die Gebührenerhebung transparent zu gestalten, enthält die Rechnung der Müllabfuhr genaue Gewichtsangaben; Hauseigentümer und Mieter, die sich kontinuierlich oder stichprobenartig über das Gewicht „ihrer“ Tonnen informieren wollen, können die Werte über ein Nutzerkonto im Internet-Auftritt der ZKE einsehen.

Obwohl die entsprechende Infrastruktur in allen deutschen Städten und Gemeinden vorhanden ist, machen sich längst nicht alle Verbraucher auf den Weg zum Wertstoffhof. Nach wie vor landet zu viel „Abfall“ im Restmüll, wo er eigentlich nicht hingehört. Einige Kommunen beziehungsweise deren Wertstoffhöfe versuchen, die Motivation ihrer potenziellen „Kunden“ zu erhöhen. In diese Richtung gehen auch die Bemühungen des Wertstoffhofs Bergkamen (Nordrhein-Westfalen), dessen Konzept vom Verband der kommunalen Entsorgungs- und Stadtreinigungsbetriebe mit dem „VKS-Creativ-Preis“ ausgezeichnet wurde. Prämiert wurde in erster Linie die Kundenfreundlichkeit. Zum Beispiel punktet der 2009 in Betrieb gegangene Wertstoffhof durch ein komfortables Schüttboxensystem sowie durch einen SB-Staubsauger, mit dem die Anlieferer ihr Auto reinigen können. Und damit die Kunden anschließend nicht mit dreckigen Händen ans saubere Lenkrad fassen müssen, können sie ein Außenhandwaschbecken benutzen.⁷

Eine andere Hürde bei der korrekten Mülltrennung hat ein **Pilotprojekt mit kompostierbaren Biomülltüten aus Kunststoff** ins Visier genommen: Biomüll in der Küche kann nerven, denn feuchte Bioabfälle durchnässen Papiertüten, riechen ungut und verschmutzen den Abfallbehälter. Die Lösung dieser Probleme sind Biomülltüten aus dem kompostierbaren Kunststoff Ecovio® FS. Sie wurden drei Monate lang im Landkreis Bad Dürkheim (Rheinland-Pfalz) getestet, sowohl im Hinblick auf die Akzeptanz seitens der Haushalte als auch auf mögliche Qualitätsminderungen des Komposts. Die Biomülltüten haben die Probe

5 Vgl. Bundesumweltministerium (2011f).

6 Ebenda.

7 Vgl. GWA – Gesellschaft für Wertstoff- und Abfallwirtschaft Kreis Unna mbH (2011).

aufs Exempel bestanden und sind sowohl bei den Verbrauchern als auch den Betreibern des Biokompostwerks des Landkreises sehr gut angekommen. Der Kunststoff Ecovio® FS ist eine Innovation der BASF und besteht aus dem teilweise biobasierten Kunststoff (Polyester) Ecoflex®FS und Polymilchsäure (PLA), die aus Maisstärke gewonnen wird. Wie ihr Inhalt Bioabfall lassen sich auch die Ecovio-Tüten von Mikroorganismen abbauen.⁸

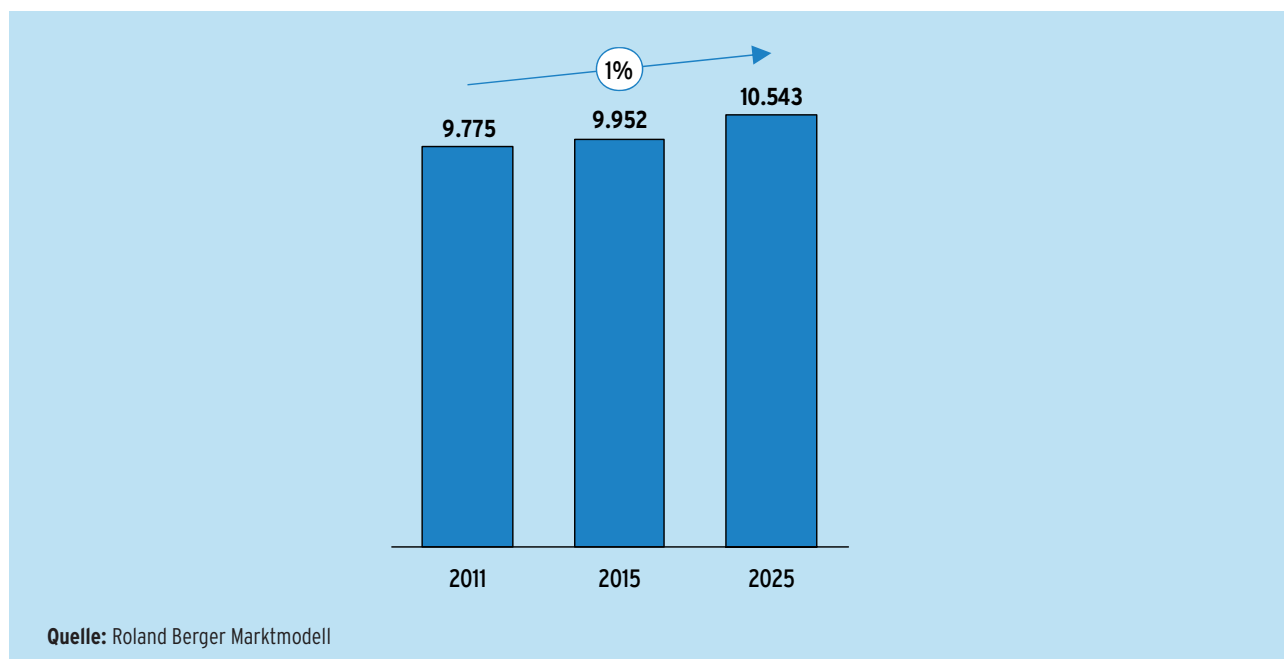
Auch Unternehmen der Privatwirtschaft haben neue Ideen, damit die Kunden nicht auf den Wertstoffen in Altgeräten sitzenbleiben. Schätzungsweise **60 Millionen ausgemusterte Handies** vermutet die Telekom AG allein in Deutschland. Diesen Rohstoff-Schatz wollte der Konzern mithilfe einer groß angelegten Rücknahmeaktion in den Telekom-Shops heben. Die dort abgegebenen Mobilfunkgeräte-Veteranen wurden – sofern intakt und gebrauchsfähig – wiederverwendet oder zerlegt und recycelt. Der Erlös dieser Aktion ging an gemeinnützige Organisationen wie „Ärzte ohne Grenzen“ oder „Deutsche Umwelthilfe“.⁹

Der Restmüll, Biomüll und häufig auch das Altpapier wird von den privaten Haushalten und Unternehmen in Tonnen gesammelt und von der Müllabfuhr abgeholt. Hier spielt die **Energieeffizienz und die Klimafreundlichkeit der Fahrzeuge** eine zunehmend wichtigere Rolle.

Die tonnenschweren Mülllasten verbrauchen durch das häufig Bremsen und Anfahren enorme Mengen an Treibstoff. Bei einem 26-Tonnen-Fahrzeug können es schnell bis zu 100 Liter Diesel auf 100 Kilometer werden. Insofern ist der Brennstoffverbrauch ein wichtiger Kosten- und Umweltfaktor. Um den Verbrauch zu reduzieren, wird beispielsweise in Offenbach ein **Fahrzeugtyp** eingesetzt, der **mit Hybridtechnologie** ausgestattet ist. Das Müllauto ist mit einem 260-PS-Dieselmotor in Kombination mit Akkus für den elektrischen Antrieb auf Sammeltour.¹⁰

In Berlin hat die Stadtreinigung ein auf zwei Jahre angelegtes **Pilotprojekt zum Einsatz des Brennstoffzellenantriebs** gestartet: Seit Juni 2011 rollt in der Bundeshauptstadt als Weltpremiere der erste Brennstoffzellen-Mülllasten. Das Fahrzeug emittiert beim Laden weder Stickoxid noch Kohlendioxid oder Feinstaub. Der Dieselmotor läuft nur noch beim Fahren; während des Ladevorgangs wird er abgestellt, weil dann die Brennstoffzelle den elektrischen Motor mit Energie versorgt. So verbraucht der Wasserstoff-Mülllasten ein Drittel weniger Diesel und ist zudem deutlich leiser. An der Entwicklung dieses Brennstoffzellen-Müllfahrzeugs waren neben der Berliner Stadtreinigung die Heliocentris Energiesysteme GmbH und der Aufbautenhersteller FAUN beteiligt. Gefördert wurde das Projekt im Rahmen des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) mit rund 800.000 Euro.

Abbildung 60: Marktprognose Abfallsammlung und Abfalltransport 2011, 2015 und 2025 in Deutschland (in Millionen Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)



8 Vgl. BASF SE (2011b).

9 Vgl. Deutsche Telekom AG (2011b).

10 Vgl. Hoven, B. (2011).

Marktsegment Abfalltrennung

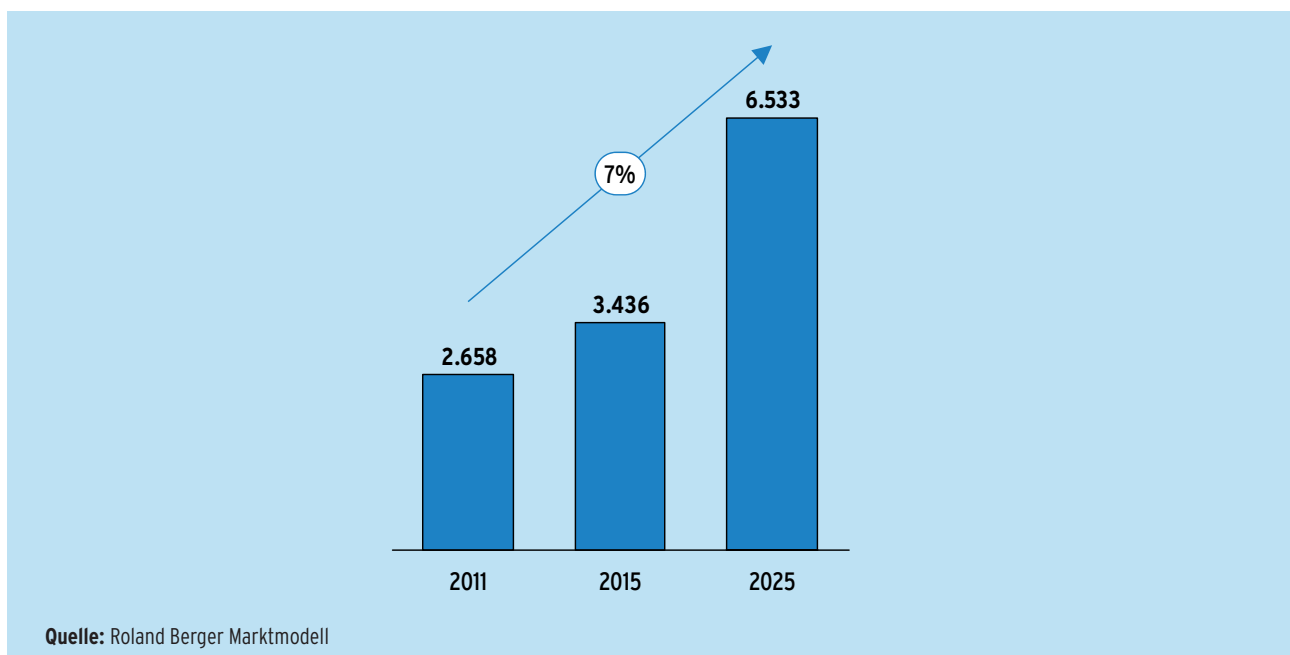
Im Wertschöpfungszyklus der Abfallwirtschaft ist die Abfalltrennung eine entscheidende Station: Die **Qualität und Feinheit der Trennung ist maßgeblich für die Qualität der Recyclate** – und damit für die Möglichkeit einer Rückführung der Wertstoffe in den Produktionskreislauf. Das **Marktsegment Abfalltrennung umfasst die Entwicklung, den Betrieb und die Instandhaltung von automatischen Sortieranlagen sowie die Infrastruktur für die Abfalltrennung** – dazu gehören Sperrmüllhöfe, Altglascontainer etc.

Schwarz, grün, gelb, braun, blau – das Farbspektrum der Tonnen in den deutschen Hinterhöfen und Vorgärten ist bunt und vielfältig geworden. Noch vor einigen Jahrzehnten wanderte der gesamte Hausmüll in einen Behälter, lediglich Pfandflaschen und Altpapier bekamen die Chance auf einen neuen Lebensabschnitt. Solche Zeiten sind längst passé, und die **Mülltrennung gehört zum Standard**, sowohl in privaten Haushalten als auch in Industrie, Gewerbe und Handelsunternehmen. Die Trennung von Abfall in ähnliche Stoffgruppen ist ein wesentlicher Zwischenschritt in der Kreislaufwirtschaft, denn die Trennung legt das Fundament für das Recycling. In Deutschland wird der Abfall in Haushalten und Betrieben vorsortiert, ehe er gesammelt wird. Dabei werden Papier, Bioabfälle, Glas, Metall, Verpackungen, Batterien und Elektrogeräte getrennt. Allerdings gibt es für die ein-

zelnen Abfallarten – 600 „Sorten“ existieren in Europa – regional unterschiedliche Trennungungsverfahren und -konzepte.

In einigen Testläufen wird geprüft, ob beziehungsweise in welchem Grad **moderne Sortieranlagen** die Mülltrennung der Verbraucher überflüssig machen können. Aber derzeit gilt noch die Regel, dass die Vorsortierung in die oben genannten Fraktionen unverzichtbar ist. Automatisierte Verfahren erleichtern die Separierung der verschiedenen Materialströme erheblich. Als wichtiger Punkt ist dabei festzuhalten, dass der Feinheitsgrad der Trennung einzelner Fraktionen innerhalb der Stoffströme über die Qualität – und damit über die Einsatzmöglichkeiten – der Recyclate entscheidet. Je nach Stoffstrom stellt diese Anforderung die Sortiertechnologie vor erhebliche Herausforderungen. Die Entsorgungstechnik Bavaria GmbH hat sich dabei auf den Bereich Papier spezialisiert. Das Unternehmen aus Unterschleißheim bei München hat im Rahmen eines EU-Forschungsprojekts eine **Altpapier-Sortieranlage** entwickelt, die dank Hightech das Altpapier besser in seine einzelnen Bestandteile trennt (beispielsweise Kartonagen, bedrucktes Papier etc.). Die Altpapier-Sortieranlage, die nach Österreich in die Stadt Linz geliefert wurde, ist mit einem besonderen Sensor ausgestattet. Er wurde von der EVK DI Kerschhaggl GmbH in Kooperation mit der pts (Papiertechnische Akademie) aus einem im Militärbereich einge-

Abbildung 61: Marktprognose Abfalltrennung 2011, 2015 und 2025 in Deutschland (in Millionen Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)



setzten Sensor weiterentwickelt. Der „**Papier-Sensor**“ ist durch einen erweiterten Spektralbereich imstande, molekulare Kohlenstoff-, Wasserstoff- und Sauerstoff-Bindungen besser zu erkennen. Dank dieser Fähigkeit lassen sich die einzelnen Papiersorten besser sortieren.¹¹

Auch für andere Stoffgruppen werden bei der maschinellen Abfalltrennung die unterschiedlichen stofflichen Eigenschaften (Dichte, Festigkeit) sowie magnetische und spektroskopische Eigenschaften des Mülls ausgenutzt. **Moderne Sortiertechnik erkennt beispielsweise mithilfe optischer Sensoren, die mit Lasertechnik, Bilderkennungstechnologien oder Nahinfrarot ausgestattet sind, einzelne Stoffgruppen anhand ihrer Größe, Form, Oberfläche etc.** Zu den internationalen Spezialisten für Sortieranlagen gehört die Stadler Anlagenbau GmbH aus Altshausen (Baden-Württemberg). Ihre Anlagen ziehen bei der automatischen Trennung der Wertstoffe sämtliche technischen Register, angefangen von Magneten über optische Erkennungsgeräte bis hin zu den sogenannten **Ballistik-Separatoren**. Hinter diesem Begriff stecken mehrstufige Siebssysteme, die Materialstoffströme in verschiedene Fraktionen zerlegen, beispiels-

weise in „rollend schwere“ Materialien (Hohlkörper, Kunststoffflaschen, Steine, Holz, Dosen, Stahlprofile) und „flächig leichte“ Materialien (Folien, Textilien, Papier, Kartons, Faserprodukte). Organische Anlagerungen, etwa die Reste der Butterstulle an der Alufolie, werden von den Ballistik-Separatoren gelöst.¹²

Technologisches Neuland hat die Adamec Recycling GmbH aus Fürth (Bayern) mit einer selbstentwickelten **Recyclinganlage für Elektroschrott** betreten, die 2011 in Betrieb genommen wurde. Mit einer Verarbeitungskapazität von 35.000 Tonnen pro Jahr zerkleinert die Anlage elektrische und elektronische Altgeräte in einem mehrstufigen Verfahren bis auf Millimeterformat. Nach jeder Zerkleinerungsstufe wird getrennt, sodass die unterschiedlichen Wertstoffe nach und nach sortenrein aussortiert werden. Die Anlage der Adamec Recycling GmbH erreicht auf diese Weise nicht nur eine rohstoffliche **Recyclingquote von 95 Prozent**. Es gelingt ihr auch, mit halogenhaltigen Flammenschutzmitteln belastete Kunststoffe zu identifizieren und auszuschleusen. Die auf diese Weise entstandenen Kunststoffe lassen sich wieder in den Stoffkreislauf zurückführen.¹³

Marktsegment Abfallverwertung

Durch die Rückführung von Abfällen in den Wirtschaftskreislauf sinkt der Rohstoffverbrauch, was in der Regel zu einer Reduktion der CO₂-Emissionen beiträgt. Dies macht die **Abfallverwertung** zu einem wesentlichen Marktsegment innerhalb des Leitmarktes Kreislaufwirtschaft. Zu diesem Marktsegment gehören unter anderem **die Entwicklung, die Herstellung, der Betrieb und der Vertrieb von Anlagen zur Müllverbrennung**. Ein weiterer Bestandteil des Marktsegments ist das Recycling von Rohstoffen, die in den Stoffströmen unterschiedlicher Abfallsorten enthalten sind.

Energetische Verwertung von Abfall:

Thermische Abfallbehandlung

Abfall kann entweder energetisch oder stofflich verwertet werden. Eine Form der energetischen Verwertung ist die Verbrennung, die sogenannte thermische Abfallbehandlung. Bei diesem Prozess frei gesetzte Energie wird zur Wärmebereitstellung und Stromerzeugung genutzt. Eine andere Variante der energetischen Verwertung kommt für Bioabfälle zum Einsatz:

Diese landen üblicherweise in **Biogasanlagen**.¹⁴

Die Biogasanlage in Kißlegg-Rahmhaus (Baden-Württemberg) wurde 2010 von der Deutschen Energie-Agentur für ihr besonders innovatives Membranverfahren ausgezeichnet: Das aus Speiseresten gewonnene Biogas wird in einem neuen Verfahren aufbereitet. Das Biogas wird energieeffizient getrocknet und entschwefelt, wobei mithilfe einer Membran Kohlendioxid abgetrennt wird. Durch diesen Prozess erreicht das Biogas Erdgasqualität und kann in das Erdgasnetz eingespeist werden. Diese **zweistufige Membran-Aufbereitungsanlage**, die von der Bebra Biogas GmbH betrieben wird, ist die größte Anlage dieses Typs in Deutschland.¹⁵

Stoffliche Verwertung - Recycling

Bei der stofflichen Verwertung, die laut Kreislaufwirtschaftsgesetz Vorrang vor der energetischen Verwertung genießt, **spielt Deutschland international eine Vorreiterrolle**. Von den 52,8 Millionen Tonnen Abfall aus Produktion und Gewerbe werden 35,2 Millionen Tonnen stofflich verwertet (66,7 Prozent). Bei

11 Vgl. Entsorgungstechnik Bavaria GmbH (2010).

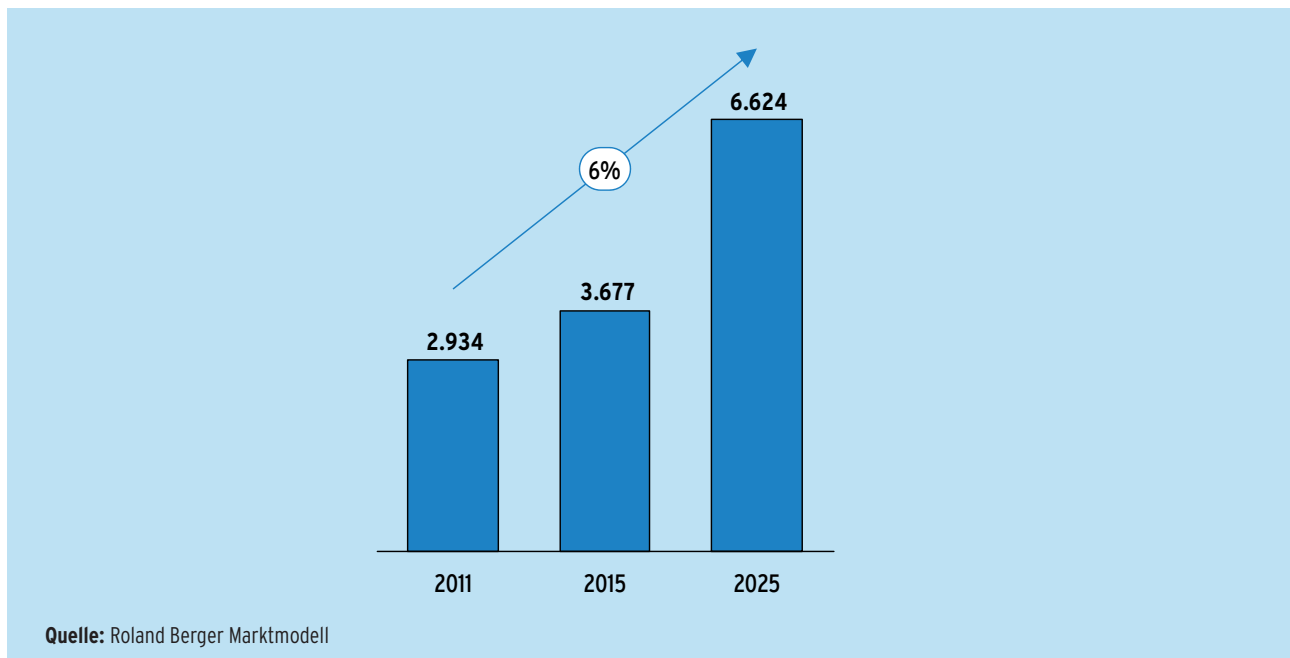
12 Vgl. Stadler Anlagenbau GmbH (2011).

13 Vgl. Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e.V. (2011).

14 Siehe dazu detailliert im Leitmarkt Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung.

15 Vgl. Envio AG (2010).

Abbildung 62: Marktprognose Abfallverwertung 2011, 2015 und 2025 in Deutschland (in Millionen Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)



den Siedlungsabfällen – 48,5 Millionen Tonnen – liegt diese Recyclingquote bei 63 Prozent.¹⁶ Berücksichtigt man das gesamte Abfallaufkommen, beträgt die deutsche Recyclingquote knapp 70 Prozent, während sich der Durchschnittswert für die EU-27-Staaten auf gut 47 Prozent beläuft.¹⁷

Die folgenden Beispiele unterschiedlicher Stoffgruppen illustrieren die Bandbreite der Recycling-Möglichkeiten auf dem Stand der Technik.

Von den mehr als acht Millionen Tonnen Papier-, Papp- und Kartonagenabfällen werden 99 Prozent recycelt. Dabei kommen Hightech-Anlagen und Verfahren zum Einsatz. Zu den besonderen Herausforderungen gehört die **Trennung der Druckerschwärze vom Papier**, das recycelt werden soll, das Deinking (von „ink“, dem englischen Wort für „Tinte“). Die Farbstoffe werden mit dem sogenannten Flotationsdeinking von dem Papier separiert. Die Druckerschwärze als Reststoff hat zwar kein großes Volumenaufkommen, aber einen hohen Brennwert; deshalb kann sie gut in der thermischen Verwertung genutzt werden.

Das **Recycling von gebrauchten PET-Flaschen**¹⁸ ist in Deutschland und anderen europäischen Ländern durch das Pfandsystem und Kunststoffsammlungen weitestgehend etabliert. Im konventionellen Recyc-

lingprozess wurden PET-Flaschen bisher gesammelt, zerkleinert und schließlich mehrstufig gewaschen. Allerdings enthält das aus diesem Verfahren resultierende PET-Recyclat noch Aromasubstanzen beziehungsweise andere unbekanntete Verschmutzungen, deshalb kommt es für Lebensmittelverpackungen nicht infrage und ist nur im Non-Food-Bereich verwendbar, etwa für Fasern oder Tiefziehfolien. Diesem Problem soll der **„Super-clean“-Recyclingprozess** abhelfen. Dieses Verfahren ist angesichts der Tatsache, dass der Rohstoff 80 Prozent der Herstellungskosten einer PET-Flasche ausmacht, von großer Bedeutung. Um die „super-clean PET Pellets“ zu gewinnen, gibt es unterschiedliche Optionen, die aber alle eine ähnlich hohe Reinigungseffizienz aufweisen. Eine Variante besteht darin, die Flakes bei Temperaturen über 200 Grad Celsius zu extrudieren und zu dekontaminieren. Auf diese Weise sollen PET-Flaschen schon bald einen Recyclatanteil von 50 Prozent erreichen.¹⁹

Bei Massenrohstoffen wie Glas und Papier klappt die stoffliche Wiederverwertung hervorragend, die Recyclingquoten liegen bei 99 Prozent beziehungsweise bei 100 Prozent. **Spielraum nach oben gibt es dagegen bei den metallischen und mineralischen Rohstoffen wie Silber und Gold, Indium und Gallium, Kupfer und Kobalt.** Gerade bei den sogenannten „strategischen Ressourcen“, die für Schlüsselbranchen

¹⁶ Vgl. Statistisches Bundesamt (2011b).

¹⁷ Vgl. Eigene Berechnungen auf Basis von Eurostat (2011a), S. 146.

¹⁸ PET: Polyethylenterephthalat, thermoplastischer Kunststoff aus der Familie der Polyester.

¹⁹ Vgl. Welle, F. (2010).

wie die Informations- und Kommunikationstechnik (IKT), den Fahrzeugbau oder die erneuerbaren Energien unverzichtbar sind, hat sich die Einsicht noch nicht überall durchgesetzt, dass Recycling für einen rohstoffarmen Standort wie Deutschland eine wesentliche Beschaffungsart für kostspielige und knappe Rohstoffe darstellt.

An der Kriminalitätsstatistik lässt sich diese Erkenntnis aber bereits ablesen: 347.294 Kilo Kupfer, 675.570 Kilo Stahl sowie 1.185.748 Kilo andere Metalle sind der Deutschen Bahn (DB) 2010 gestohlen worden. Wegen dieser Diebstähle hatten rund 8.500 Züge Verspätung oder fielen ganz aus, weil sich Langfinger an Oberleitungen, Schienen und Kabeln vergriffen. Aber nicht nur bei der Bahn geht der Metallklau um: Auch von Baustellen und Schrottplätzen wird landauf, landab entwendet, was nicht niet- und nagelfest ist, vor allem Kupfer. Die Ursachen für die Zunahme solcher Delikte sieht die DB „eindeutig in den drastisch gestiegenen Rohstoffpreisen“.

Kupfer steckt in den Erzeugnissen verschiedener Branchen, von der Informations- und Kommunikationstechnik über die Automobilindustrie bis hin zum Bausektor. Insbesondere in der **Elektrotechnik spielt Kupfer eine Schlüsselrolle** und wird für Drähte, Kabel und integrierte Schaltungen verwendet. In einer Windkraftanlage stecken etwa acht Tonnen Kupfer, in einem Elektrofahrzeug bis zu 100 Kilogramm. Bei seiner Aufbereitung büßt Kupfer kaum an Qualität ein, sodass das Metall eigentlich zu 100 Prozent recycelt werden kann. Zur Wiedergewinnung von Kupfer gibt es mechanische, pyrometallurgische und hydrometallurgische Verfahren. Nichteisenmetalle wie Kupfer lassen sich auch durch die Aufbereitung der Schlacke aus Müllverbrennungsanlagen und Ersatzbrennstoffkraftwerken zurückgewinnen. Die jährliche Ausbeute dieses Verfahrens liegt bei 17.000 Tonnen.

Eine **ergiebige Rohstoffquelle sind ausrangierte Elektro- und Elektronikgeräte**. Die Menge dieses sogenannten „Elektroschrotts“ ist in Europa in den letzten Jahren kontinuierlich gestiegen; bis 2020, so die Prognose, werden über zwölf Millionen Tonnen Elektroschrott in der Europäischen Union anfallen.²⁰ Das 2005 verabschiedete Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG) nimmt Hersteller sowie Importeure und Exporteure für den gesamten Lebenszyklus dieser Geräte in die Verantwortung. Produzenten und Vertreiber sind verpflichtet, die Geräte am Ende ihres Lebenswegs ordnungsgemäß zu entsorgen. In der Regel übertragen sie diese Aufgabe an spezialisierte Entsorgungsunternehmen. Für den Hausmüll sind

ausgediente Elektro- und Elektronikgeräte tabu – zum einen gingen die in ihnen enthaltenen Rohstoffe verloren, zum anderen würden Schadstoffe im Hausmüll landen. Deshalb müssen Verbraucher ihre Altgeräte zu einer kommunalen Sammelstelle (Wertstoffhof) bringen oder den Rücknahmesystemen der Hersteller anvertrauen.

Soweit zur Theorie. In der Praxis landen nach wie vor **Geräte in der Restmülltonne. Oder sie werden auf halblegalen oder illegalen Wegen entsorgt**. Nach einer Studie, die das Hamburger Institut für Ökologie und Politik im Auftrag des Umweltbundesamts erstellt hat, werden über 155.000 Tonnen Elektroschrott aus Deutschland über die Grenzen Europas geschafft. Ein Großteil davon landet in Südostasien und Afrika und wird dort unter Bedingungen entsorgt, die meistens weder mit humanitären noch mit ökologischen Grundsätzen zu vereinbaren sind: In einer Publikation des Umweltbundesamtes wird beschrieben, wie Kinder über offenem Feuer Computer-Bauteile einschmelzen, Frauen Bildschirme zerschlagen und per Hand die Kabel sortieren.²¹ Ein wenig besser, aber noch weit entfernt von gut, sind die Bedingungen in manchen Entsorgungsanlagen in Asien. In China gibt es beispielsweise Staatsbetriebe mit Tausenden von Beschäftigten, wo offenes Recycling ohne Schutzvorkehrungen betrieben wird. Die Gesundheit der Arbeiter ist erheblich gefährdet, weil dabei Schwermetalle und andere Schadstoffe freigesetzt werden.²²

Diese Art der Entsorgung, die oft unter dem Schwindel-Etikett des Exports gebrauchsfähiger Geräte stattfindet, verstößt nicht nur gegen geltendes Recht und ethisch-moralische Prinzipien. **Nicht fachgerechte Entsorgung bedeutet auch verschenkte Chancen zur Gewinnung von Rohstoffen, die ohne Recycling zu steigenden Preisen importiert werden müssen**. In einer Tonne Hauptplatinen aus PCs stecken zum Beispiel 300 Gramm Gold. Für die Ausbeute von einem Kilo Gold müssen circa 50.000 Handys ausgeschlachtet werden.

Die stoffliche Verwertung von Elektroschrott basiert auf technologisch anspruchsvollen Verfahren, wie am Beispiel von Leiterplatten deutlich wird: Um Metall aus der Leiterplatte zu entfernen, wird diese zunächst bei fast 200 Grad Celsius zerkleinert. Die hohe Temperatur ist notwendig, um den Lötzinn separat abzutrennen. Danach wird die Menge in ein Ätzbad gelegt, in dem bestimmte Chemikalien dafür sorgen, dass die Metalle in die Lösung übergehen. Als Ergebnis dieses Prozesses erhält man Feststoffe wie Glas oder Kunststoff sowie die Lösung mit den Metal-

20 Vgl. Kafsack, H. (2011).

21 Vgl. Umweltbundesamt (Hrsg.) (2010d).

22 Vgl. o.V. (2011d).

len. Schließlich trennt das hydrometallurgische Verfahren mithilfe einer Elektrolyse oder Ionenaustausch das Metall aus der Lösung.

In den Laboren des Lehrstuhls für Abfallressourcenwirtschaft an der TU Hamburg-Harburg wird an zwei Verfahren für die **Rückgewinnung von Edelmetallen aus Elektroschrott** geforscht: Bei der „kalten“ Aufbereitung wird der Elektroschrott zuerst geschreddert, dann werden die Metalle mechanisch vom Kunststoff getrennt. Beim „heißen“ Verfahren wird der Kunststoff bei Temperaturen von bis 2.000 Grad Celsius verbrannt, bis nur noch die Metalle übrigbleiben. Allerdings ist die großtechnische Umsetzung dieser Verfahren bislang nicht in Sicht.²³

Erste Versuche in der praktischen Anwendung des Edelmetall-Recyclings laufen dagegen bereits bei der Aurubis AG. Das Hamburger Unternehmen gehört zu den größten Kupferproduzenten Europas und gilt als international führend beim Kupferrecycling. In einem Pilotprojekt, das vom Bundesumweltministerium mit über 300.000 Euro gefördert wird, testet Aurubis ein **völlig neues Konzept zur Rückgewinnung von Edelmetallen aus Anodenschlamm**. In diesem Nebenprodukt der Kupferelektrolyse stecken Edelmetalle wie Gold und Silber. Diese Pretiosen zurückzugewinnen, erforderte bisher einen dreistufigen, sehr energieintensiven Prozess. Dieser wird nun durch ein einstufiges Verfahren ersetzt, bei dem eine Membranfilterpresse eingesetzt wird. Diese Prozessinnovation mindert den Energiebedarf um mehr als ein Drittel.²⁴

Ein **neuer Ansatz zur Rückgewinnung von Metallen ist das „Biomining“**, das sich nach positiven Erfahrungen bei der Rohstoffgewinnung auch bei Pilotprojekten im Recycling bewährt. Beim Biomining im Bergbau werden Metalle mithilfe von Bakterien aus dem Gestein gelöst statt im Hochofen ausgeschmolzen zu werden. Beim „Bio-Bergbau“ wird dem Erzgranulat Schwefelsäure zugesetzt. Diese Zugabe wirkt wie eine Nährlösung für im Gestein beheimatete Bakterienstämme. Um zu wachsen und zu gedeihen, brauchen die Mikroorganismen Futter – und auf ihrem Speisezettel stehen Bestandteile des Erzes, das sie bei ihrer Ernährung zersetzen. Übrig bleibt eine unverdauliche Flüssigkeit, aus der sich Metalle gewinnen lassen.

Biomining kommt mit wesentlich **weniger Energie** aus als die konventionelle Metallgewinnung im

Hochofen, außerdem ist das **Verfahren auch bei niedrigem Metallgehalt des Gesteins wirtschaftlich**. Aufgrund dieser Vorzüge wird Biomining bereits seit einigen Jahren für die Gewinnung von Kupfer und Gold eingesetzt; inzwischen ist das Verfahren auch auf andere Metalle anwendbar, beispielsweise auf Zink, Nickel und Kobalt. Derzeit wird erprobt, wie sich Biomining beim Recycling von Elektroschrott einsetzen lässt. Unter Laborbedingungen haben Bakterien eine gute Ausbeute bei der Schatzsuche nach Wertstoffen erreicht: Den Mikroorganismen ist es gelungen, den ausgedienten Geräten bis zu 95 Prozent Zink, Aluminium, Kupfer, Nickel und Gold abzunehmen.²⁵

Dringend gefragt sind innovative Recyclinglösungen vor allem bei den Seltenen Erden. Unter diese Bezeichnung werden 17 verschiedene Metalle gefasst;²⁶ dabei bezieht sich das Attribut „selten“ nicht auf das Vorkommen, sondern auf die geringe Konzentration dieser Elemente in den abzubauenen Metallen. Sie ist auch der Grund, weshalb ein wirtschaftlicher Abbau der Seltenerdmetalle nur in wenigen Regionen der Erde möglich ist. Bei der Förderung der Seltenen Erden ist China mit einem Anteil von 97 Prozent weltweit zur unangefochtenen Nummer eins avanciert. In den letzten Jahren hat die Volksrepublik ihr Exportvolumen verringert, gleichzeitig haben die Preise stark angezogen. Zur Illustration: Der Preis von Dysprosium (400 US-Dollar pro Kilogramm) hat sich binnen eines Jahres verzehnfacht.²⁷ Diese Entwicklung beunruhigt viele Unternehmen in den westlichen Industrieländern: Seltene Erden sind Rohstoffe von immenser strategischer Bedeutung, denn sie sind unverzichtbare Bestandteile für Hightech-Produkte wie Katalysatoren, Brennstoffzellen, Bildschirme, Metalllegierungen, Supraleiter oder Spezialgläser.

Um die Versorgung mit Seltenen Erden weiterhin sicherzustellen, bietet sich neben der Substitution vor allem das Recycling an. Forscher der US-Universität Yale ermittelten dafür enormes Potenzial: Weltweit stecken in Produkten rund 440.000 Tonnen Metalloxi- de der Seltenen Erden, das ist das Vierfache der Menge, die pro Jahr auf der Erde abgebaut wird.²⁸ Aber nicht nur relative Knappheit und Kosten, sondern auch der Umweltschutz sind schwerwiegende Argumente für die Rückgewinnung der Seltenen Erden. Ihr Abbau ist nämlich mit erheblichen ökologischen Belastungen verbunden, beispielsweise der Freisetzung von Schwermetallen, Arsen, Fluorverbindungen und Säuren.

23 Vgl. Econitor (2011).

24 Vgl. o.V. (2011e).

25 Vgl. Donner, S. (2011).

26 Scandium, Yttrium, Lanthan sowie die 14 Lanthanoide: Cer, Praseodym, Neodym, Promethium, Samarium, Europium, Gadolinium, Terbium, Dysprosium, Holmium, Erbium, Thulium, Ytterbium und Lutetium.

27 Vgl. Titz, S. (2011).

28 Vgl. ebenda.

URBAN MINING – SCHATZSUCHER IN DER DEPONIE

Die Müllkippen von gestern könnten die Goldgruben von morgen sein – steigende Rohstoffpreise und die sich abzeichnende Knappheit einiger Ressourcen verlangen nach neuen Strategien der Rohstoffbeschaffung. Interessante Perspektiven bietet dabei das Urban Mining, definiert als „Erschließung von Rohstoffquellen in den anthropogenen Lagerstätten urbaner Räume“ (Lucas, R./Fekkek, M., 2011). Die Schatzsucher der Zukunft suchen wertvolle Rohstoffe nicht mehr im Bergwerk, sondern in den Städten, genauer gesagt in Deponien und Gebäuden. Altmaterialien aus Häusern, Deponien und Infrastrukturnetzen sollen aufbereitet und wieder in den Wirtschaftskreislauf zurückgeführt werden.

Hier wird ein großes Potenzial vermutet: Die Menge an Eisen- und Nichteisenmetallen im deponierten Hausmüll wird für Deutschland auf 32 Millionen Tonnen geschätzt. In den zehn Millionen Tonnen deponierten Klärschlamm steckt etwa eine Million Tonne Phosphat; in den 50 Millionen Tonnen deponierter Eisenschlacke befinden sich wahrscheinlich 70.000 Tonnen Zink und 25.000 Tonnen Blei. Auch der

Immobilien Sektor ist eine Lagerstätte von Wertstoffen. Schätzungsweise 100 Millionen Tonnen Metalle sind in Deutschland verbaut, 10,5 Milliarden Tonnen mineralische Baustoffe und rund 220 Millionen Tonnen Holz (Lucas, R./Fekkek, M., 2011).

Trotz dieses Potenzials findet derzeit in Deutschland noch kein systematisches Urban Mining statt, so die Einschätzung von Fachleuten wie Rainer Lucas, Projektleiter in der Forschungsgruppe Stoffströme und Ressourcenmanagement des Wuppertal Instituts (Uken, M., 2010). Um bessere Voraussetzungen für das Urban Mining zu schaffen, wünscht sich der Experte ein materialbezogenes Baukataster. Damit ließe sich erfassen, welche Stoffe wo verbaut werden.

Derzeit wird von der Professur für Abfall- und Ressourcenmanagement der Universität Gießen in einem Forschungsprojekt untersucht, welche Rohstoff-Schätze sich in Hausmülldeponien verbergen.

„Probebohrungen“ finden in den Deponien Hechingen (Baden-Württemberg) und Reiskirchen (Hessen) statt.

Die Verfahren für das Recycling von Seltenerdmetallen sind sehr kostenintensiv. Mit wenigen Ausnahmen, etwa Neodym-haltigen Magneten, wird deshalb keine Rückgewinnung in nennenswertem Umfang betrieben²⁹ – noch nicht. Denn vor dem Hintergrund steigender Preise sowie der Abhängigkeit von Exporten aus einem Monopolanbieter-Staat ist damit zu rechnen, dass innovative und rentable Verfahren zum Recycling von Seltenen Erden entwickelt werden. Erste, vielversprechende Ansätze zeichnen sich bereits ab: An der Montanuniversität Leoben (Österreich; Steiermark) wurde ein neues Recyclingver-

fahren für Nickel-Metallhydrid-Batterien und Akkus entwickelt, das Seltene Erden abtrennen kann. Immerhin entfällt auf die Seltenerdmetalle ein Anteil von sieben bis zehn Prozent am Gesamtgewicht solcher Batterien.³⁰ Auch in Deutschland wird die Forschung zum Thema Recycling Seltener Erden intensiviert. So unterstützt die Bundesregierung die Rückgewinnung und die Substitution von Seltenerdmetallen im Rahmen der Fördermaßnahme „r² Innovative Technologien für Ressourceneffizienz – rohstoffintensive Produktionsprozesse“ mit 1,5 Millionen Euro.³¹

Marktsegment Abfalldeponierung

Zu diesem Marktsegment zählen der Bau und der Betrieb von Deponien, Vorkehrungen zur Absicherung sowie die Beseitigung von Schadstoffen und Altlasten, die beim Betrieb von Deponien entstanden sind. Ein wichtiger Bestandteil dieses Marktsegments ist außerdem die Verringerung beziehungsweise die Nutzung von Deponiegas.

Die Bedeutung dieses Marktsegments innerhalb des Leitmarktes Kreislaufwirtschaft wird deutlich, wenn man die Risiken unsachgemäßer oder „wilder“

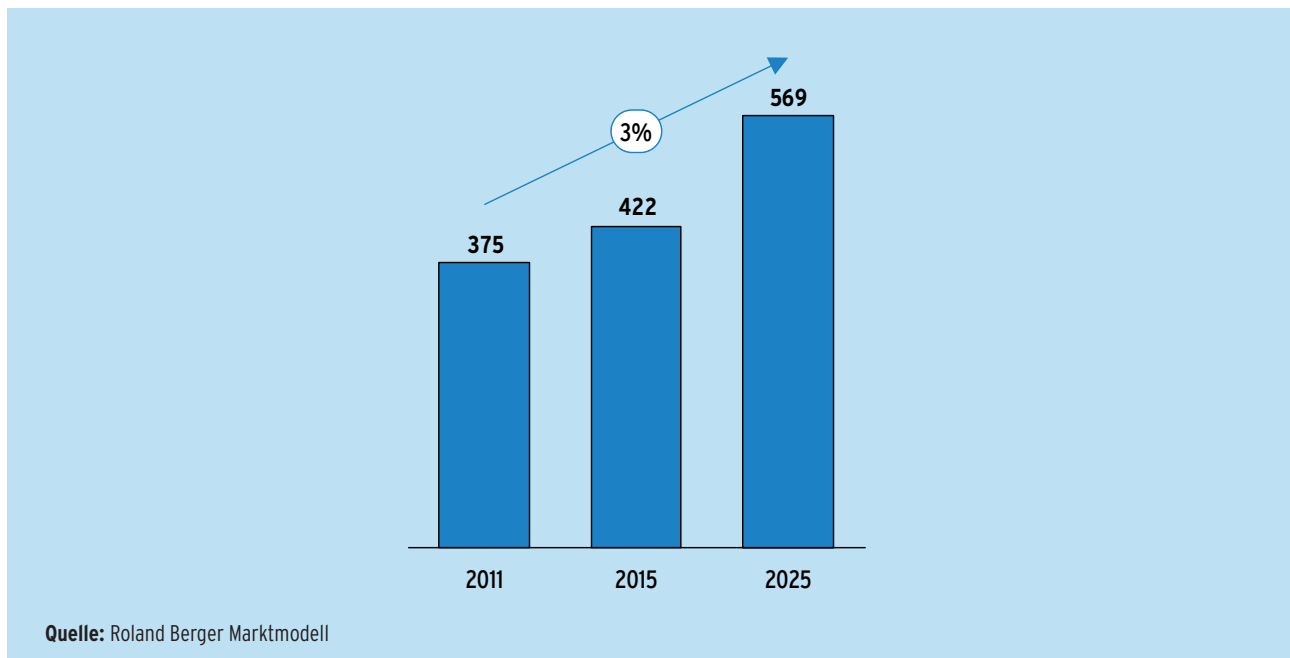
Deponierung betrachtet. Mülldeponien sind potenzielle ökologische Zeitbomben, die die Gesundheit der Menschen erheblich gefährden können: Durch unzureichend abgedichtete Deponien sickert mit Schadstoffen belastetes Wasser in tiefer liegende Bodenschichten und kontaminiert das Grundwasser. Ein anderer Risikofaktor ist die Bildung von Deponiegas, das durch den bakteriologischen und chemischen Abbau organischer Abfallbestandteile entsteht. Hauptbestandteile des Deponiegases sind Methan (CH₄) und Kohlendioxid (CO₂). Das Treibhausgas Me-

29 Vgl. Deutscher Bundestag (2010b).

30 Vgl. Cleanenergy Project (2011).

31 Vgl. Deutscher Bundestag (2010a).

Abbildung 63: Marktprognose Abfalldeponierung 2011, 2015 und 2025 in Deutschland (in Millionen Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)



than gilt als Klimakiller par excellence: Die Klimawirkung einer Einheit CH_4 ist 21-mal so stark wie die einer Einheit CO_2 . Deponien zählen weltweit zu den größten Methan-Emittenten neben dem Energiesektor und der Landwirtschaft. Wenn die in Deponien entsorgte Müllmenge rund um den Globus verringert wird, kann die Abfallwirtschaft einen erheblichen Beitrag im Kampf gegen die globale Erwärmung leisten.

Während die Gefahren der Abfalldeponierung in den meisten Industrieländern durch gesetzliche Vorgaben eliminiert oder deutlich verringert worden sind, ist die Abfallentsorgung auf Deponien in Schwellen- und Entwicklungsländern nach wie vor ein gravierendes Problem: Deponierungsraten zwischen 80 bis 95 Prozent sind dort keine Seltenheit. Zum Vergleich: In den Staaten der EU-27 lag die Deponierungsrate im Durchschnitt bei 47,6 Prozent, in Deutschland bei 20 Prozent (Stand 2008).³² Noch deutlicher wird der deutsche Vorsprung in der Abfallwirtschaft beim Vergleich der Deponieabfälle je Einwohner: Hier liegt der Durchschnitt der EU-27-Staaten nach Angaben von Eurostat bei 192 Kilogramm pro Kopf, während Deutschland lediglich zwei Kilogramm Abfall je Einwohner auf Deponien landen. Dieser niedrige Wert macht auch die positiven Auswirkungen des Abfall- und Kreislaufwirtschaftsgesetzes sichtbar: Im Jahr 2000 wurden noch 165 Kilogramm Abfall pro Kopf abgelagert.

Um die Risiken der Abfalldeponierung so gering wie möglich zu halten, sind Deponien in Deutschland an ein **Multibarrierenkonzept** gebunden. Dieses umfasst beispielsweise die Abfallbehandlung, den Aufbau und die Abdichtung des Deponiekörpers sowie die Erfassung der Emissionen. Alte Deponien waren durch gesetzliche Regelungen gezwungen, diese Standards durch entsprechende Sanierungsmaßnahmen zu erfüllen.

Bereits seit 2005 ist durch die **Abfallablagerungsverordnung** festgelegt, dass biologisch abbaubare oder organikreiche Siedlungsabfälle vor der Ablagerung in Deponien mechanisch-biologisch oder thermisch behandelt werden müssen. Auf diese Weise wird die **Bildung von Deponiegas vermieden** und das Volumen der Abfälle reduziert. Die Zielsetzung bis zum Jahr 2020 geht noch einige Schritte weiter:³³ Dann sollen gar keine Siedlungsabfälle mehr auf Deponien landen, sondern nach Möglichkeit vollständig energetisch oder stofflich verwendet werden. Auf lange Sicht wird es deshalb keine Siedlungsabfalldeponien mehr geben; derzeit sind noch 160 in Deutschland in Betrieb (Deponieklasse II).³⁴

Im Kontext Abfalldeponierung spielt das Thema Bodenschutz eine zentrale Rolle. In der Vergangenheit ließ die Abdichtung von Deponien häufig zu wünschenswerten übrig, sodass Schadstoffe darunter liegende Bo-

³² Vgl. Eurostat (2011), S. 146.

³³ „Bis spätestens 2020 sollen die Behandlungstechniken so weiterentwickelt und ausgebaut werden, dass alle Siedlungsabfälle in Deutschland vollständig und umweltverträglich verwertet werden.“ – So die Zielvorgabe des Bundesumweltministeriums aus dem Jahr 1999.

³⁴ Vgl. Bundesumweltministerium (2011e), S. 6.

denschichten und das Grundwasser verunreinigten. Solche Altlasten können nur unter großem Aufwand durch **spezielle Verfahren der Bodenreinigung** beseitigt werden.

Eine Kombination mehrerer Verfahren wurde auf dem Gelände der Universität Kassel angewandt, wo zukünftig der neue Science Park Center und ein Parkhaus stehen sollen. Da auf dem Grundstück jahrzehntelang Kohlen-, Koks- und Mineralölhandlungen ansässig waren, wiesen Boden und Wasser einen hohen Verschmutzungsgrad auf. Die unvollständige Verbrennung von organischen Materialien wie Kohle oder Holz hat ihre Spuren hinterlassen – der Oberboden in dieser Region ist stark mit Polyzyklischen Aromatischen Kohlenwasserstoffen kontaminiert. Auch Trümmerschutt aus dem 2. Weltkrieg hat erheblich zur Verunreinigung beigetragen. So war es nötig, mehrere 1000 Kubikmeter Oberboden zu beseitigen. Außerdem war der Unterboden mit Mineralölkohlenwasserstoffen verschmutzt, weshalb er ebenfalls abtransportiert und entsorgt werden musste. Um auch das Grundwasser von den giftigen Stoffen zu befreien, soll eine Grundwasserreinigungsanlage mit fünf Sanierungsbrunnen eingesetzt werden.³⁵

Im Marktsegment Abfalldeponierung ist ein weiterer Trend zu beobachten: die verstärkte Nutzung von Deponiegas. Bereits seit einigen Jahren werden Verfahren für die **energetische Verwendung von Methangas** angewandt. Allerdings sind diese nur dann praktikabel, wenn der Methangehalt des Deponiegases bei mindestens 50 Prozent liegt. Durch die sinkenden Abfallmengen auf Deponien nimmt der Brennwert des Deponiegases ab. Angesichts dieser Entwicklung zeichnet sich ab, dass das bisherige Verfahren für die energetische Nutzung von Deponiegas ineffektiv wird.

Eine Lösung für dieses Problem haben die Abfallwirtschaft und Stadtreinigung Freiburg (ASF), der Energiedienstleister Badenova und das Entsorgungsunternehmen Remondis gefunden: Seit Anfang der Neunziger Jahre wird Methangas, das Hausmüll bei der Vergärung auf der Freiburger Deponie Eichelbuck produziert, für die Strom- und Wärmeversorgung genutzt. Das Deponiegas wird durch eine Rohrleitung in den Stadtteil Landwasser geschickt und liefert die Energie für ein Blockheizkraftwerk (BHKW), das Strom und Wärme produziert. Nachdem der Hausmüll-Nachschub der Deponie 2005 versiegt war,

GIFTIGE DEPONIE WIRD ZUM ÖKO-KRAFTWERK

Wer vor 30 Jahren prophezeit hätte, dass der Hügel im Hamburger Stadtteil Georgswerder zur Attraktion für Wissenschaftler und Touristen avanciert, wäre vermutlich mit ungläubigen Blicken bedacht worden. Auf dem Gelände im Nordosten von Wilhelmsburg landeten nach dem 2. Weltkrieg Trümmer und Hausmüll, dazu gesellten sich später toxische Industrieabfälle, Lacke und Farben. Nachdem die Deponie 1979 geschlossen wurde, sickerte 1983 Dioxin ins Grundwasser. Um die Deponie zu sichern, wurde sie abgedichtet und mit einem Oberboden überdeckt. Auf der Kuppe des 40 Meter hohen Hügels wurde ein Windrad aufgestellt. Nun erlebt die ehemalige Giftscheuder eine Renaissance als Öko-Kraftwerk – aus Anlass der Internationalen Bauausstellung ist der einstige Müllberg zum Energieberg mutiert, der Strom für rund 4.000 Haushalte liefern wird. Zur Windenergieanlage auf dem Dach kommen noch andere regenerative Quellen dazu: Eine Photovoltaik-Anlage mit einer Fläche von 10.000 Quadratmetern wird den Südhang bedecken. Aus dem gemähten Gras wird Biogas. Das Deponiegas, das im Innern des Berges durch die nach wie vor aktiven Zersetzungsprozesse gebildet wird, hat einen hohen Methananteil – eine Eigenschaft, die es zu einem guten Energielieferanten für die Aurubis AG macht, eine nicht weit vom Georgswerder Hügel entfernte Kupferhütte.

Quelle: IBA Hamburg GmbH (2011)

sank der Methangehalt des Deponiegases – und damit der Brennwert, sodass es als Energieträger für das BHKW disqualifiziert war. Die Lösung für dieses Problem liegt in der **Anreicherung des Deponiegases mit Biogas aus der Bioabfallvergärungsanlage**, in der Remondis etwa 30.000 Tonnen Biomüll pro Jahr aus Freiburg und dem Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald sammelt. Die Mischung aus Biogas und Deponiegas erreicht einen Methangehalt von mindestens 50 Prozent, damit ist die Einspeisung in das Blockheizkraftwerk weiterhin gesichert. Die Beteiligten dieses Freiburger Konzepts schätzen, dass ihr Ansatz zur Anreicherung von Deponieschwachgas ein Modell für circa 45 Deponien in Deutschland sein könnte.³⁶

³⁵ Vgl. Universität Kassel (2011).

³⁶ Vgl. o.V. (2011f).

Nachhaltige Wasserwirtschaft



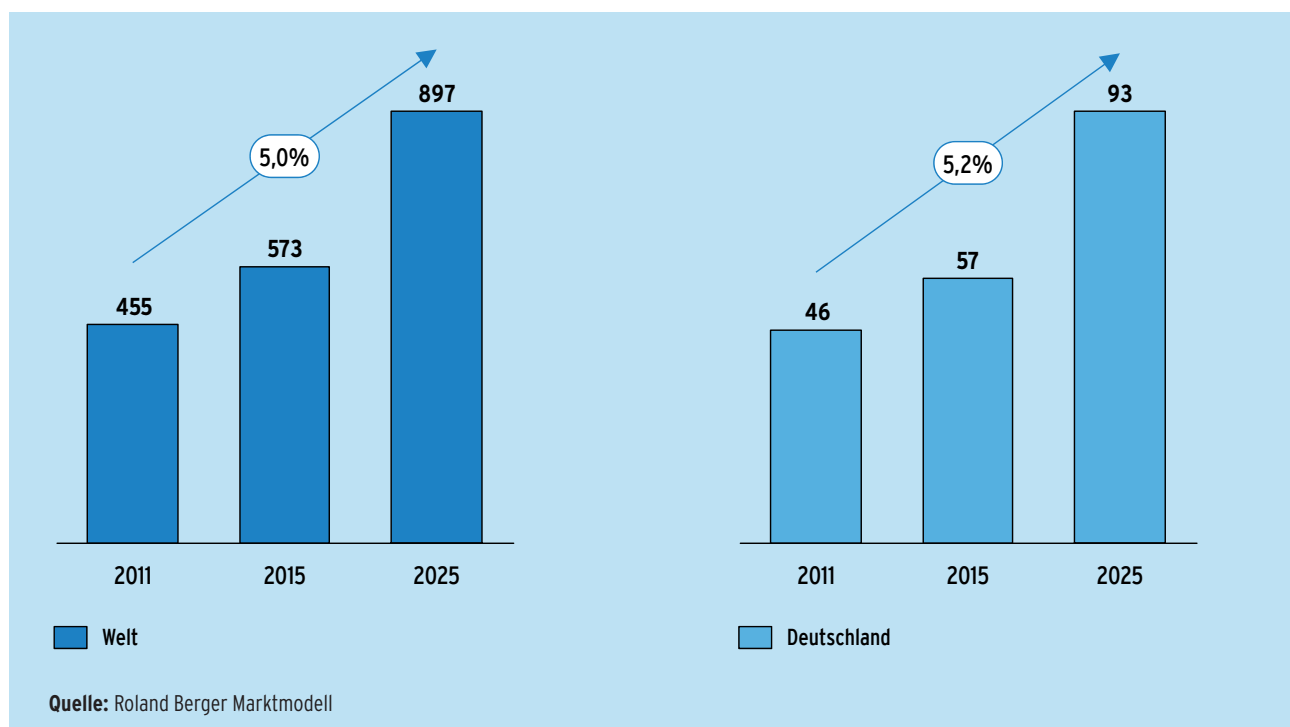
Im Juli 2010 hat die Generalversammlung der Vereinten Nationalen (UN) sicheres Trinkwasser und sanitäre Versorgung zu universellen Menschenrechten erklärt.¹ Aber diese Deklaration bleibt für jeden Zehnten auf der Erde bislang ein uneingelöstes Versprechen auf eine bessere Zukunft. **In vielen Regionen der Welt liegt die verfügbare Pro-Kopf-Menge an Frischwasser unter dem Minimum von 20 bis 50 Litern täglich, die laut UN-Definition für die Befriedigung der menschlichen Grundbedürfnisse erforderlich sind.** Zum Vergleich: Jeder Deutsche hat pro Jahr eine potenzielle Wasserration von durchschnittlich knapp 2.300 Kubikmetern, über 6.000 Liter pro Tag.

Nicht nur in Gegenden mit Wassermangel ist der effiziente und nachhaltige Umgang mit der Ressource Wasser ein Muss, sondern auch in (wasser-)reichen Industrieländern: **Die Aufbereitung von Trinkwasser und die Entsorgung von Abwasser verbrauchen enorme Energiemengen.**

Die große Herausforderung der nächsten Jahrzehnte besteht darin, **vor dem Hintergrund des weltweit steigenden Wasserbedarfs eine nachhaltige Bewirtschaftung der Wasserressourcen sicherzustellen**, die die Grundbedürfnisse der heutigen Generationen befriedigt ohne die Lebensgrundlage künftiger Generationen zu gefährden. Diese Aufgabe kann nur mit leistungsfähiger Umwelttechnik gelöst werden. Schon heute spielt die Umwelttechnologie entlang aller Stationen der Wassergewinnung und des -verbrauchs eine Schlüsselrolle – von der Quelle über die Leitung, Wasserhahn, Kanalisation bis zum Klärwerk. Die Wasserwirtschaft ist auf „grüne“ Hightech-Verfahren und Produkte angewiesen, um die sichere Versorgung der Verbraucher zu gewährleisten und dabei die Umwelt zu schützen. **Nachhaltige Wasserwirtschaft ist deshalb ein bedeutender Leitmarkt der Umwelttechnik. Seine Unterteilung in Marktsegmente orientiert sich am Wasserkreislauf: Wassergewinnung und -aufbereitung, Wasserverteilung, Effizienzsteigerung bei der Wassernutzung und Abwasserentsorgung.**

1 Vgl. Umweltbundesamt (2010e), S. 11.

Abbildung 64: Marktprognose Nachhaltige Wasserwirtschaft 2011, 2015 und 2025
(in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)



Marktsegment Wassergewinnung und -aufbereitung

Die erste Etappe im Wasserkreislauf ist die **Wassergewinnung und -aufbereitung**. Dieses Marktsegment umfasst ein breites Spektrum unterschiedlicher Produkte und Dienstleistungen: Erschließung und Förderung von Frischwasservorkommen (Brunnenbau, Pumpen), Überwachung des Grundwassers und die dazu notwendige Messtechnik, Planung, Errichtung, Betrieb und Instandhaltung von Anlagen zur Wasseraufbereitung, darunter konventionelle Aufbereitungsverfahren, Meerwasserentsalzungsanlagen und Systeme zur Behandlung und Speicherung von Regenwasser.

Im wasserreichen Deutschland wird das „blaue Gold“ nicht ausgehen. Das verfügbare Wasserdargebot² beläuft sich auf 188 Milliarden Kubikmeter, während die Wasserentnahme bei 32 Milliarden Kubikmetern liegt.³ Mit knapp 20 Milliarden Kubikmetern fließt der größte Teil davon in die Energieversorgung zur Kühlung von Wärmekraftwerken. Diese Gewichtung macht den **Zusammenhang zwischen Energie- und**

Wasserversorgung deutlich. Auf die Wasserversorgung von Haushalten und Kleingewerbe entfielen circa fünf Milliarden Kubikmeter.

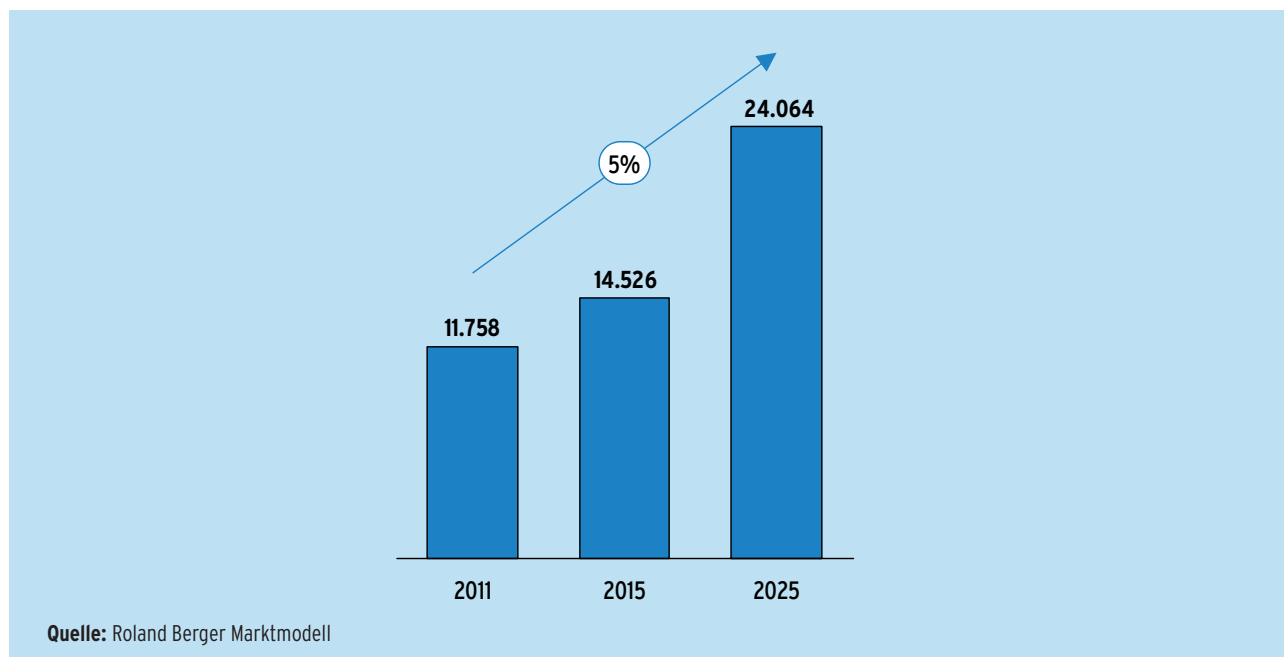
Wasser kann aus Grundwasser oder Oberflächenwasser gewonnen werden. Oberflächenwasser stammt entweder direkt aus Seen und fließenden Gewässern oder wird als Uferfiltrat aus Brunnen in Gewässernähe entnommen. Etwa ein Fünftel des gesamten globalen Wasserbedarfs wird aus Grundwasser gedeckt, knapp 74 Prozent aus Oberflächenwasser. In Deutschland ist die Relation umgekehrt: Mit circa 70 Prozent ist hierzulande das Grundwasser aus Quellen oder Brunnen der Hauptlieferant für die Trinkwasserversorgung. Die **Qualität des Grundwassers wird durch ein Netz aus rund 800 Messstellen überwacht**, das gleichmäßig über ganz Deutschland verteilt ist. Die Messungen erfassen sowohl den chemischen Zustand des Grundwassers als auch die Menge. Verantwortung für die Einrichtung und den Betrieb der Messstellen tragen die Bundesländer.⁴

2 Definition: „Das Wasserdargebot ist eine Größe des regionalen Wasserkreislaufes, die aus Niederschlags- und Verdunstungshöhe sowie der Zu- und Abflussbilanz ermittelt wird. Es gibt das Wasservolumen an, welches potentiell für die Bewirtschaftung verfügbar ist.“; vgl. Umweltbundesamt (2010e), S. 16.

3 Vgl. ebenda.

4 Vgl. Umweltbundesamt (2010f), S. 14f.

Abbildung 65: Marktprognose Wassergewinnung und -aufbereitung 2011, 2015 und 2025 in Deutschland (in Millionen Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)



Die Überprüfung des Grundwasserspiegels ist nicht nur unter dem Aspekt der Wasserversorgung wichtig, sondern auch im Hinblick auf den Hochwasserschutz. In einigen Risikozonen wurden deshalb Projekte initiiert, um ein Monitoring des Grundwasserspiegels sicherzustellen. In Dresden melden 61 Messstellen automatisch per Funk den Grundwasserstand an einen Server im Rathaus. Bei Hochwassergefahr können sich Bürger direkt informieren; so haben sie eine längere Vorlaufzeit, um entsprechende Schutzmaßnahmen in ihren Gebäuden zu ergreifen.⁵

Verfahren zur Wasseraufbereitung

Bei der Entnahme von Grund- und Oberflächenwasser liegen zwischen Brunnen und Verbraucher etliche Prozessschritte, ehe das Rohwasser „trinkfertig“ aus dem Hahn kommt: Damit es Trinkwasser-Qualität erreicht (keimarm, farblos, klar, geruchlich und geschmacklich einwandfrei), muss es gereinigt und aufbereitet werden. Dafür werden verschiedene Verfahren eingesetzt, die sich nach ihrer Wirkung klassifizieren lassen:⁶

BIO-LANDWIRTSCHAFT IM MANGFALLTAL

Der Nitratreintrag durch die Landwirtschaft ist ein Risiko für die Trinkwasserversorgung. Die Salze der Salpetersäure werden als Düngemittel eingesetzt und gelangen über Niederschlagswasser in das Grundwasser. In Deutschland und anderen EU-Staaten liegen die gesetzlichen Grenzwerte für die Nitratbelastung des Trinkwassers bei 50 Milligramm Nitrat pro Liter. Die Eliminierung von Nitrat aus dem Rohwasser ist sehr aufwendig, sodass Grundwasser mit einem erhöhten Nitratgehalt für die Trinkwasserversorgung nicht mehr infrage kommt. Etwa 15 Prozent der circa 800 Messstellen in Deutschland weisen einen deutlich erhöhten Nitratgehalt auf. Nitratbelastung

machte auch den Stadtwerken München zu schaffen, die etwa 80 Prozent des Wasserbedarfs der bayerischen Metropole aus dem Mangfalltal decken. Als in den Achtziger Jahren der Nitratgehalt des Grundwassers erhöht war, motivierten die Stadtwerke die dort ansässigen Bauern zur Umstellung auf Bio-Landwirtschaft. Inzwischen sind über 100 Bauern Teil dieser Wasserschutzinitiative, die im Mangfalltal das größte zusammenhängende ökologisch bewirtschaftete Gebiet in Deutschland entstehen ließ.

Quelle: Stadtwerke München (2011)

⁵ Vgl. Landeshauptstadt Dresden, Umweltamt (2007).

⁶ Vgl. Umweltbundesamt (2010e); S. 79.

- Filtration beziehungsweise Separationsverfahren,
- Fällungs- und Flockungsverfahren,
- Biologische Verfahren,
- Stoffaustausch an Grenzflächen,
- Dosierung von Zusatzstoffen,
- Bestrahlungsverfahren.

Einige innovative Verfahren werden hier im Detail beschrieben:

Wasser muss von Schadstoffen auf verschiedenen Größenskalen gereinigt werden (Nanofiltration, Ultrafiltration, Mikrofiltration). Mit speziellen, selektiv durchlässigen Membranfiltern werden mikrobiologische Verunreinigungen des Wassers, etwa durch Bakterien und Viren, entfernt. Die **Membranfiltertechnik** ist herkömmlichen Filtersystemen überlegen, denn sie kommt ohne zusätzliche Chemikalien aus und hat sich beim Einsatz in großen Kläranlagen bewährt. Diese Vorteile werden dafür sorgen, dass der Einsatz der Membranfiltertechnik in Wasseraufbereitungsanlagen in den nächsten Jahren weltweit um 20 Prozent pro Jahr zunehmen wird.

Bei der Wasseraufbereitung ist die **Spurenstoffelimination** derzeit ein zentrales Thema: Spurenstoffe sind Substanzen wie Arzneimittel, Hormone, Pflanzenschutzmittel oder industrielle Grundstoffe, die über das Abwasser und aus der Landwirtschaft als Partikel in das Wassernetz gelangen. Diese Mikroschadstoffe können selbst in geringer Konzentration toxisch auf aquatische Systeme wirken. Zur Illustration: 500 Nanogramm pro Liter – ein Tropfen auf einen Kubikmeter – des Arzneimittelwirkstoffs Diclofenac führen bei Fischen zu Gewebeeränderungen in Nieren, Leber und Kiemen. Die übliche Abwasserreinigung ist nicht in der Lage, solche Spurenstoffe restlos zu beseitigen. Dazu bedarf es spezieller Technologien wie die **Ergänzung einer Membran-Belebungsanlage durch eine Ozonanlage**. Dieses kombinierte Verfahren wird beispielsweise für die Reinigung des Abwassers des Kreiskrankenhauses Waldbröl (Nordrhein-Westfalen) eingesetzt. Dort sorgt die Ozonanlage der Stulz-Planaqua GmbH (Bremen) für einen hohen Eliminationsgrad bei den Rückständen von Arzneimitteln, Diagnostika etc.

Weitere Methoden der Wasseraufbereitung sind Aktivkohlefilter, Reinigung durch Hochozonisierung sowie die Behandlung mit UV-Strahlung: Die Verwendung von **Aktivkohlefiltern** ist vor allem für gelöste Stoffe geeignet, die sich durch andere Verfahren der biologischen Abwasserreinigung schwer oder gar nicht abbauen lassen. Durch Adsorption lagern sich die Stoffe, die aus dem Abwasser eliminiert werden sollen, an der Aktivkohle an; dazu gehören beispielsweise chlorierte Kohlenwasserstoffe, Farbstoffe und Öl.

VOR RISIKEN UND NEBENWIRKUNGEN WIRD GEWARNT

In deutschen Oberflächengewässern sind in den letzten Jahren immer wieder Arzneimittelwirkstoffe nachgewiesen worden. Sie gelangen über die Kanalisation in Flüsse und Seen, da sie die konventionelle Abwasserbehandlung in den Kläranlagen unbeschadet überstehen. Auch wenn diese Mikroschadstoffe in winzigsten Mengen vorkommen, schaden die Überreste von Medikamenten, Hormonen und Diagnostika vermutlich dem Ökosystem, weil sie in den sensiblen Hormonhaushalt von Fischen und Bodentieren eingreifen. In Laborversuchen hat sich gezeigt, dass Fische auf den Wirkstoff 17 β -Ethinylestradiol, der in einigen hormonellen Verhütungsmitteln und Wechseljahrspräparaten enthalten ist, mit einer reduzierten Fortpflanzung reagieren.

Quelle: Umweltbundesamt (2010e), S. 92

Ozonierung (Oxidation durch Ozon) wird zur Entkeimung und Desinfektion verwendet. Dieses Verfahren gilt als wesentlich umweltfreundlicher als die Chlorierung. Ozonierung kommt auch bei der Spurenstoffelimination zum Einsatz (siehe oben). Zur Filterung wird dem Abwasser Ozon zugesetzt. Das dreiatomige Sauerstoffmolekül (O₃) zerstört die Mikroschadstoffe.

Ebenfalls zur Desinfektion von Trinkwasser oder in Schwimmbädern dient die **Aufbereitung durch UV-Strahlung**. Dieses Verfahren kann auch zur Desinfektion von Abwasser eingesetzt werden. Dabei werden die zu eliminierenden Mikroorganismen im Wasser einer keimtötenden ultravioletten Strahlung ausgesetzt. Die UV-Bestrahlung bewirkt eine fotochemische Veränderung der Nukleinsäure der Mikroorganismen, die deren Zellteilung verhindert.

In der Praxis werden in einer Anlage zur Wasseraufbereitung mehrere Verfahren kombiniert. Ihre Anwendung richtet sich zum einen nach der Art und der Qualität des Rohwassers, zum anderen nach dem Bestimmungszweck des aufbereiteten Wassers: Brauchwasser für Kraftwerke oder die Industrie muss anderen Qualitätskriterien genügen als Trinkwasser.

Meerwasserentsalzung

Während in Deutschland Grundwasser in mehr als ausreichender Menge zur Verfügung steht, stellt in ariden Zonen die Wassergewinnung und -aufbereitung eine große Herausforderung dar. Dort kommt es darauf an, zusätzlich zum knappen Grundwasser noch andere Wasserquellen zu erschließen. Eine Option ist die Meerwasseraufbereitung durch Entsalzung.

Zur Meerwasserentsalzung werden unterschiedliche Prozesse angewendet: Gängige Methoden, um Salze und Mineralien aus dem Wasser zu entfernen, ist die Destillation mit einem vielstufigen Entspannungsverdampfer (Multiple Stage Flash Evaporator), die Umkehrosmose sowie der elektrochemische Prozess der Elektrodialyse.

Eine Anlage mit dem Verfahren der **Mehrstuften-Entspannungsverdampfung** betreibt beispielsweise Siemens bereits seit einigen Jahren in den Vereinigten Arabischen Emiraten. In Abu Dhabi versorgt eine kombinierte Kraftwerks- und Entsalzungsanlage die Einwohner des Emirats mit Strom und Wasser. Die Entsalzungsanlage besteht aus mehreren Kammern, die das Meerwasser nacheinander durchläuft. Die Abwärme des Kraftwerks bringt die Kammern auf eine Temperatur, bei der das Wasser unter vermindertem Druck teilweise verdampft. Der Dampf wird abgekühlt und wechselt dabei den Aggregatzustand wieder zu Wasser. Dieses Kondensat (destilliertes Wasser) wird mit Mineralien angereichert zu Trinkwasser.

Bei der **Umkehrosmose (Reversosmose)** wird das Meerwasser mit hohem Druck (60 bis 80 bar) durch eine halbdurchlässige Membran gepresst. Diesen „Filter“ können nur bestimmte Ionen und Moleküle passieren, sodass das Meerwasser demineralisiert wird.⁷ Die bei diesem Verfahren benötigten Hochdruckpumpen haben einen hohen Energieverbrauch.

Bei der **Elektrodialyse mit Ionenaustauschmembranen** werden mithilfe elektrischer Spannung Ionen aus dem Meerwasser entfernt. Bei diesem Verfahren ist der Energieaufwand proportional zum Salzgehalt. Bei hoher Salzkonzentration ist die Elektrodialyse deshalb bislang nicht wirtschaftlich. Erfolge bei der Lösung dieses Problems hat Siemens vorzuweisen. In einer 2010 in Betrieb genommenen Pilotanlage in Singapur ist es durch die Kombination von Elektrodialyse und Elektrodeionisation gelungen, den Energieverbrauch beim Entsalzen von Meerwasser im Vergleich zu anderen

Methoden um mehr als 50 Prozent zu reduzieren. Der nächste Schritt in Richtung Marktfähigkeit wird der Bau einer Demonstrationsanlage im Originalmaßstab sein, der bis 2013 erfolgt sein soll.⁸

Alle bisher üblichen **Verfahren zur Meerwasserentsalzung erfordern den Einsatz erheblicher Energiemengen**. Die Senkung des Energieverbrauchs ist deshalb ein wesentliches Ziel bei der Suche nach neuen Prozessen zur Trinkwassergewinnung aus dem Meer. Ein Ansatzpunkt ist dabei, die Energie für den Betrieb der Meerwasserentsalzungsanlagen aus regenerativen Quellen sicherzustellen. Hier spielt vor allem die Sonnenenergie eine wichtige Rolle, denn viele Meerwasserentsalzungsanlagen werden in Regionen mit starker Sonneneinstrahlung betrieben. Ein anderer Ansatzpunkt für energieärmere Wege der Demineralisierung ist die Osmose: Statt wie bei der Umkehrosmose das Salzwasser mit Druck gegen eine Membran zu pressen, wird dabei der **natürliche Prozess der Osmose** genutzt. Mit einer sogenannten Zuglösung - in ihr ist die Ionenkonzentration deutlich höher als in der Umgebung - wird das Meerwasser ohne künstlich erzeugten Druck durch eine Membran gelockt. Die Wassermoleküle können die Membran passieren, Salz und Schmutz bleiben an diesem Filter hängen.⁹ Um die noch hohen Kosten dieser Methode zu senken, hat ein Forscherteam der Universität Yale dieses Verfahren durch die Nutzung von Ammoniumbicarbonat als Zuglösung weiter verfeinert. Normalerweise dient diese Substanz als Backpulver.

Auch wenn die Energiebilanz bei der Frischwassergewinnung aus dem Meer dank neuer Technologien besser ausfallen wird als bisher: **Meerwasserentsalzungsanlagen sind aus ökologischer Sicht nicht unkritisch**, weil sie erhebliche Auswirkungen auf die aquatischen Systeme haben. Schließlich werden bei der Entsalzung Kupfer, Chlor und andere Substanzen ins Meer zurückgeleitet, was langfristig die Salzkonzentration und Temperatur in den umliegenden Gewässern ansteigen lässt.

Marktsegment Wasserverteilung

Zu diesem Marktsegment gehören **alle Komponenten des Wasserverteilungssystems**, die den Transport des Trinkwassers von der Wasseraufbereitungsanlage bis zum Wasserhahn des Verbrauchers bewerkstelligen: **Pumpen, Ventile, Armaturen, Leitungsrohre und Behälter**. **Der Wasserverteilung werden außerdem die Planung, Errichtung, Be-**

trieb und Instandhaltung des Wasserversorgungsnetzes zugerechnet.

Die Wasserverteilung erfolgt über ein Netz von großteils unterirdisch verlaufenden Rohrleitungen. Ihre Verlegung, Instandhaltung und Wartung ist aufwendig; etwa zwei Drittel der Investitionen der öffentli-

7 Vgl. Enercon (2011).

8 Vgl. innovations-report (2011).

9 Vgl. Czycholl, H. (2010).

chen Wasserversorgung entfallen auf das **Wasserverteilungsnetz**. Ähnlich wie das Stromnetz besteht es aus mehreren Ebenen: Fernleitungen bringen das Wasser bis zum Hochbehälter. Den Wassertransport vom Hochbehälter bis zum Ortsnetz übernehmen Zubringerleitungen. Innerhalb des Ortsnetzes wird zwischen Versorgungsleitungen und Anschlussleitungen unterschieden.¹⁰

Eine der wesentlichen technischen Herausforderungen beim Betrieb des Wasserverteilungsnetzes ist **der richtige Druck**: Er darf nicht zu hoch sein – das Maximum wird mit sechs bar angegeben¹¹ –, da andernfalls Leitungsteile überbeansprucht werden und Schäden an Leitungen und Armaturen auftreten. Der Druck darf jedoch nie zu niedrig sein; sonst tröpfelt beim Abnehmer ein Rinnsal aus dem Wasserhahn. Um den Druck auf dem gewünschten Niveau zu halten, ist für das Funktionieren eines Wassernetzes ein ganzes Arsenal von Pumpen, Schiebern und Armaturen nötig. Mithilfe sogenannter Druckerhöhungsanlagen lässt sich der Druck im Wassernetz erhöhen, beispielsweise bei Unterschreitung eines Mindestwerts oder zur Abdeckung eines Spitzenbedarfs beim Wasserverbrauch.

Die für **Wasserrohre** verwendeten Materialien und Werkstoffe haben sich im Lauf der Zeit verändert: Die Veteranen im Wassernetz sind mit einer Tauchteerung versehene Rohre aus Grauguss. Sie wichen nach und nach Rohren aus duktilen Gusseisen, die seit Ende der 1950er-Jahre hergestellt werden. In puncto Festigkeit, Bruchdehnung und Zähigkeit ist Stahl allen anderen Werkstoffen überlegen. Außerdem gibt es noch Faserzementrohre sowie Stahlbeton- und Spannbetonrohre. Auch Kunststoff wird für Wasserrohre eingesetzt, insbesondere für Druckrohrleitungen wird PVC sowie Polyethylen hart und Polyethylen weich verwendet.

Vom **Zustand des Rohrnetzes** hängt maßgeblich die Effizienz der Wasserverteilung ab. Je undichter das Rohr, beispielsweise durch Korrosion oder Schäden an den Verbindungen, desto mehr Wasser bleibt zwischen Quelle und Verbraucher auf der Strecke. In puncto Wasserverlusten durch Leckagen schneidet Deutschland im europäischen Vergleich mit 6,8 Prozent bestens ab. Vor allem in den mittel- und osteuropäischen Staaten bleibt ein großer Anteil des Frischwassers zwischen Wasserwerk und Endverbraucher auf der Strecke: Die Verluste durch Leckagen betragen in Bulgarien 50 Prozent, in Slowenien 40 Prozent, in Ungarn 35 Prozent und in Tschechien 32 Prozent. Aber auch in westeuropäischen Ländern gibt es Verbesserungsbedarf (Italien 28,5 Prozent; Frankreich 26,4 Prozent; Spanien 22 Prozent).¹²

„DRY RUN“ IM WASSERNETZ

Das Design und der Betrieb eines Wassernetzes gehören zu den Königsdisziplinen der Steuerungs- und Automatisierungstechnik. Mithilfe von Steuergeräten und Sensoren muss gewährleistet sein, dass Wassermenge, Druck und Durchflussgeschwindigkeit stimmen. Siemens hat ein Simulationsverfahren entwickelt, mit dem Wassernetze und ihre Komponenten in der Planungsphase getestet werden können. Dieses „virtuelle Engineering“ reduziert die Entwicklungszeit und erhöht die Energieeffizienz: Das Simulationsprogramm, das zur Planung neuer und Modernisierung bestehender Wassernetze eingesetzt werden kann, passt die Kapazität (Wassermenge, Pumpleistung etc.) genau an die Anforderungen an – was eine optimale Dimensionierung ermöglicht.

Quelle: Siemens AG (2010a)

Leckagen in Wasserleitungen können viele Ursachen haben und sind daher schwer zu identifizieren. Eine systematische Überwachung mit einem Registriermodule am Wasserzähler ermöglicht hingegen eine genaue Ermittlung der Verbrauchszahlen – man spricht auch von **Smart Metering**. Es zeichnet sich deshalb ab, dass die modernen Systeme zur Steuerung und zum Monitoring der Wasserverteilung zukünftig stark im virtuellen und so genannten intelligenten Markt zu finden sein werden.

So ist beispielsweise der **Ultraschallzähler** von Kamstrup in der Lage, den Wasserverbrauch mit hoher Genauigkeit zu messen. Leckagen würden also sofort auffallen. Außerdem enthält dieses Messgerät keine beweglichen Teile, was den Verschleiß mildert und ihn so zu einem langlebigen Instrument macht.

Genau und intelligent soll auch das umfassende Zählerangebot für das Erfassen der Verbrauchsdaten von Strom, Gas, Wasser und Wärme der KNX Association sein.¹³ Durch eine integrierte KNX Schnittstelle können sämtliche Werte zur Verfügung gestellt werden. Um diese zu einem späteren Zeitpunkt wieder abrufen zu können, speichert eine integrierte Logfunktion den Zählerstand im Abstand von 15 Minuten. Zudem wird dem Kunden gestattet, seine Verbrauchsdaten sparten- und herstellerübergreifend einzusehen.

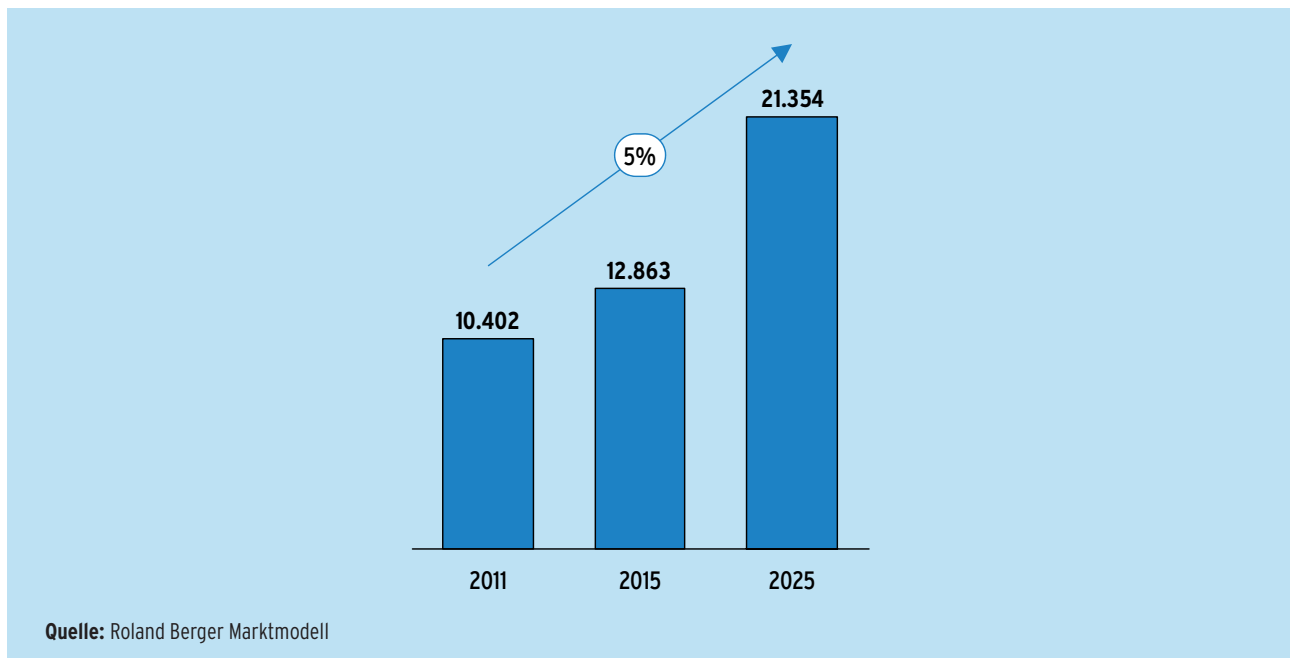
¹⁰ Vgl. Wasserwirtschaftsamt Ingolstadt (2010).

¹¹ Vgl. ebenda.

¹² Umweltbundesamt (2010e), S. 80.

¹³ KNX bezeichnet einen weltweiten Standard für Haus und Gebäudesystemtechnik zur Steuerung von Heizung, Beleuchtung, Jalousien, Belüftung und Sicherheitstechnik. Der internationalen KNX Association gehören über 100 Mitgliedsunternehmen an. Vgl. KNX Deutschland (2011).

Abbildung 66: Marktprognose Wasserverteilung 2011, 2015 und 2025 in Deutschland (in Millionen Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)



Marktsegment Effizienzsteigerung bei der Wassernutzung

Das **Marktsegment Wassereffizienztechnologien** hat eine große Bandbreite. Sie umfasst **Instrumente zur Wassermessung und Wassereffizienztechnologien im Haushalt sowie in Industrie und Gewerbe**. Der Erfolg der wassersparenden Technologien dieses Marktsegments lässt sich daran ablesen, dass die Wasserentnahme in Deutschland in den letzten zwei Jahrzehnten deutlich rückläufig ist. Seit 1991 hat sie um 30 Prozent abgenommen und lag 2007 bei 32 Milliarden Kubikmetern.¹⁴ Die effektivere Wassernutzung führt das Umweltbundesamt auf die „Technologieentwicklung, Mehrnutzungs- und Kreislaufsysteme“ zurück. Aber das Sparpotenzial beim Umgang mit der Ressource Wasser ist noch längst nicht ausgeschöpft. Es gibt hier einige Handlungsfelder, die sowohl beim Verbrauch von Frischwasser als auch bei der Vermeidung von Abwasser ansetzen.

Die Industrie hat unter allen Abnehmern mit einem Anteil von über 80 Prozent an der Entnahme den größten Bedarf an Wasser. Diese Relation unterstreicht die Bedeutung von Maßnahmen, die das **Wassermanagement von Industriebetrieben** verbessern. Und da Wasserversorgung und Abwasserentsorgung auch

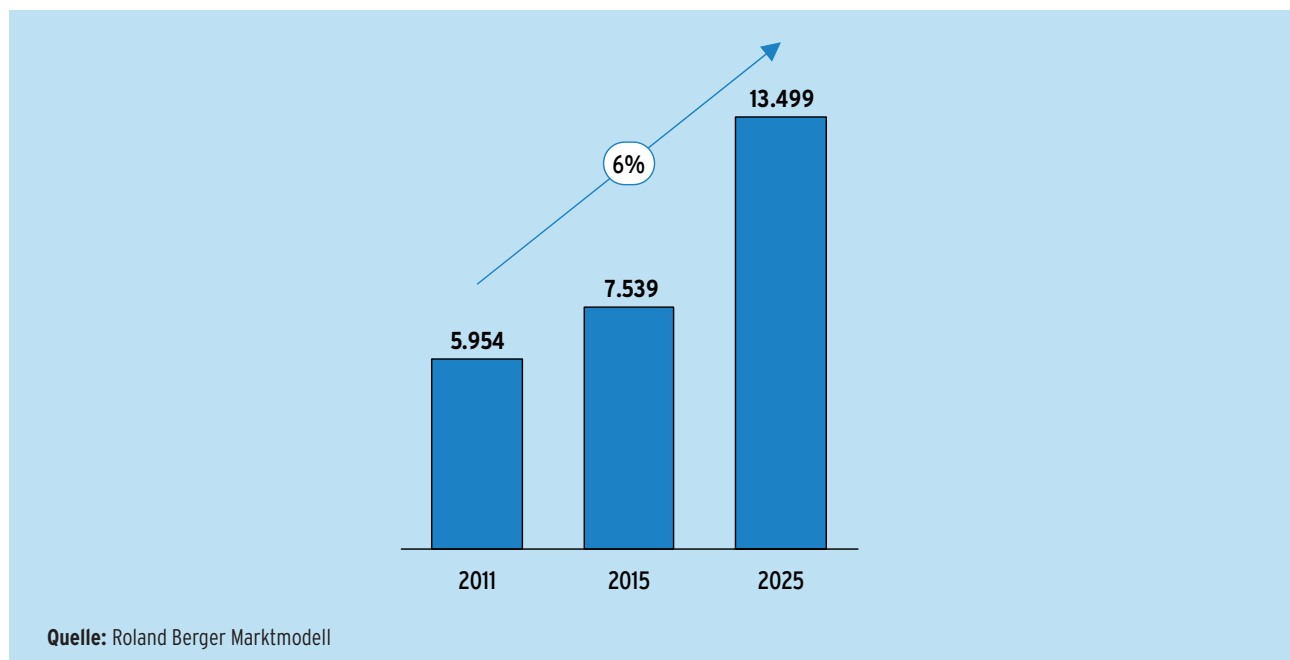
als Kostenfaktoren ins Gewicht fallen, sprechen für die Optimierung der Wassernutzung nicht nur ökologische, sondern auch ökonomische Argumente.

Im Rahmen seiner Strategie des konzernweiten Umweltschutzes minimiert BMW den Wasserverbrauch und das Abwasseraufkommen. Zwischen 2006 und 2012 sollen diese beiden Parameter um etwa ein Drittel zurückgehen. Der Automobilhersteller hat sich **nahezu abwasserfreie Produktionsprozesse als Ziel** gesetzt. Ein wichtiger Hebel dazu sind geschlossene Kreisläufe und Vermeidung des Frischwasserverbrauchs. So ermöglicht beispielsweise die biologische Wasseraufbereitung in der Fahrzeugwaschanlage, etwa 90 Prozent des Waschwassers wiederzuverwenden. Die Lackiererei, einer der größten Wasserverbraucher, soll künftig völlig abwasserfrei arbeiten. Im Werk Regensburg wird derzeit an Systemen gearbeitet, die das in der Lackiererei verwendete Wasser reinigen und wieder in den Produktionskreislauf zurückführen.

Vorangetrieben wird die Entwicklung von Verfahren, die auf den Einsatz der Ressource Wasser verzichten.

¹⁴ Vgl. Umweltbundesamt (2010e), S. 75.

Abbildung 67: Marktprognose Effizienzsteigerung bei der Wassernutzung 2011, 2015 und 2025 in Deutschland (in Millionen Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)



Ein Beispiel dafür sind Snowcleaning-Reinigungsanlagen. Im Werk Landshut wird zur Reinigung der Kunststoff-Exterieur-Komponenten kein Wasser verwendet; stattdessen wird der Schmutz mit CO₂-Schnee entfernt. Das Kohlendioxid ist dabei ein Abfallprodukt aus der Düngemittelherstellung. Durch solche Maßnahmen ist es BMW gelungen, seinen Wasser-Sparzielen um einiges näher zu kommen: Der Frischwasserverbrauch im Jahr 2010 lag mit 3,4 Millionen Kubikmetern um rund sieben Prozent niedriger als 2008 – bei steigenden Produktionsmengen. Der Wasserverbrauch pro Fahrzeug ist im selben Zeitraum um fast zehn Prozent gesunken, das Prozesswasseraufkommen um 6,5 Prozent.¹⁵

Ein anderes Beispiel für den sparsamen Umgang mit Wasser bietet die Neumarkter Lammsbräu (Bayern). Die Reduzierung des Wasserverbrauchs spielt innerhalb des Umwelt- und Nachhaltigkeitsmanagements der Ökobrauerei eine wesentliche Rolle. Ein Baustein dafür ist das **Regenwassersammelsystem**: Das auf dem Betriebsgelände anfallende Regenwasser läuft nicht in den Abfluss, sondern wird für die Kühlkondensatoren der Kälteanlage und zum Autowaschen, Hofreinigen etc. genutzt. Die Materialkosten für das Regenwassersammelsystem beliefen sich auf rund 5.000 Euro; je nach Wetterlage kommen pro Jahr 600 bis 800 Kubikmeter Regenwasser zusammen, was Wasserkosten von bis zu 3.000 Euro einspart.¹⁶

In den privaten Haushalten gibt es jedoch ebenfalls viele Möglichkeiten, den Wasserverbrauch zu senken. Allerdings bleibt hier selbst die ausgefeilteste Technologie ein stumpfes Schwert im Kampf gegen die Wasservergeudung, wenn sich das Verhalten der Endverbraucher nicht ändert. Wer beim Zähneputzen den Wasserhahn nicht zudreht, versenkt 5,2 Liter Trinkwasser im Abflussrohr. Wer stattdessen einen Becher benutzt, kommt mit 0,2 Litern aus. Das Wannenbad schlägt mit 150 Litern zu Buche, während eine Dusche nur 50 Liter verbraucht.

Durchflussregulierung bei Waschbecken- und Duscharmaturen kann den Wasserbedarf – und damit auch den Energiebedarf zur Erwärmung – erheblich senken. Beispielsweise können wassersparende Duschköpfe die benötigte Wassermenge halbieren.¹⁷

Haushaltsgeräte haben sich in puncto Wassereffizienz in den letzten Jahren enorm verbessert. Waschmaschinen und Geschirrspüler sind heute wesentlich weniger durstig als ihre Vorgängermodelle. Der Einsatz von Sensorik, intelligenten Mikroprozessoren und Motoren hat beispielsweise bei den Wasch- und Spülmaschinen der BSH Bosch und Siemens Hausgeräte GmbH den Wasserverbrauch seit Anfang der 1990er Jahre um etwa zwei Drittel reduziert. Die Effizienz-Champions der Spülmaschinen von Herstellern wie BSH, Miele oder AEG kommen mit acht bis zwölf Litern Wasser aus.

¹⁵ BMW AG (Hrsg.) (2010), S. 41.

¹⁶ Vgl. Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.) (2011); siehe auch Neumarkter Lammsbräu: Nachhaltigkeitsbericht 2010.

¹⁷ Vgl. Institut für Umweltverfahrenstechnik der Universität Bremen (2011).

BUDELN ÜBERFLÜSSIG

Rund 150.000 Kilometer des öffentlichen Kanalisationsnetzes in Deutschland sind bereits älter als 50 Jahre - und damit potenzielle Sanierungsanwärter. Bei der Verjüngungskur für marode Abwasserkanäle und -rohre kommt immer häufiger das Schlauchlining-Verfahren zum Einsatz. Diese Methode der Kanalsanierung hatte 1971 in London Premiere. Dabei wird ein mit Kunstharz getränkter Schlauch durch den Aufbau einer hydrostatischen Wassersäule in das sanierungsbedürftige Rohr eingestülpt, wo er aushärtet. Im Ergebnis ist das Kanalrohr so gut wie neu, das heißt Dichtheit, Abriebbeständigkeit, statische Tragfähigkeit, thermische und chemische Beständigkeit erfüllen die DIN-Vorschriften, nach denen ein saniertes System den Leistungsanforderungen eines neuen Systems entsprechen muss. Inzwischen werden bei der Innenbeschichtung der Schlauchlinge auch andere Materialien als Kunstharz eingesetzt, beispielsweise Glasfaser oder Karbonfaser.

Aufgrabungen sind beim Schlauchlining-Verfahren überflüssig. Weil die Kanalrohre nicht freigelegt werden müssen, geht diese Form der Sanierung wesentlich schneller vonstatten als konventionelle Methoden. Zu den führenden Anbietern dieses Verfahrens zählt in Deutschland die insituform Rohrsanierungstechniken GmbH.

Quelle: Insituform Rohrsanierungstechniken GmbH (2011)

Es muss nicht immer Trinkwasser sein, das mit erheblichem Energieaufwand für die höchste Qualitätsstufe der Wassernutzung aufbereitet wurde. Für einige Anwendungsbereiche würde der **Einsatz von Brauchwasser** ausreichen. Zum Beispiel ließe sich Regenwas-

ser als Prozesswasser in der Industrie, in Autowaschanlagen oder für die Toilettenspülungen von Flughäfen oder Fußballstadien benutzen.¹⁸

Auch die **Verwendung von Grauwasser** kann zum Wassersparen beitragen: Wasser in Trinkwasserqualität rauscht durch WC-Becken, benetzt den Rasen und wäscht das Auto. In deutschen Haushalten werden über 50 Liter Wasser pro Kopf und Tag für Zwecke verwendet, die auch Grauwasser erfüllen würde. Grauwasser ist leicht verschmutztes, fäkalienfreies Abwasser, wie es beispielsweise beim Duschen oder Händewaschen entsteht. Nach Filterung und Aufbereitung reicht die Qualität von Grauwasser fürs Wäschewaschen, Putzen, die Gartenbewässerung oder die Toilettenspülung aus. Durch die Verwendung von Grauwasser für die WC-Spülung ließe sich der Verbrauch von Frischwasser um fast die Hälfte reduzieren, die Abwassermenge würde um etwa ein Drittel sinken.

Anlagen für die Aufbereitung von Grauwasser gibt es etwa für Kreuzfahrtschiffe oder Hotels. Die Huber SE (Berching) hat beispielsweise ein **Grauwasser-Recycling-System** für die Aufbereitung von gering belastetem Grauwasser entwickelt. Die modulare Standardanlage wird in sechs Baugrößen angeboten und kann im Kellerraum von Gebäuden aufgestellt werden. Die Herstellerfirma aus der Oberpfalz rechnet für ein fiktives Berliner Vier-Sterne-Hotel mit 215 Betten vor, dass sich der Einsatz einer solchen Anlage nach circa sechs Jahren amortisiert. Die Ausgaben für die Anschaffung holen die Hoteleigentümer durch Einsparungen bei den Kosten für Frischwasser und Abwassergebühren wieder herein. Nach zehn Jahren – so die Modellrechnung – werden mit dem Grauwasser-Recycling-System rund 38.000 Euro erwirtschaftet. Sollten sich die Trinkwasserpreise erhöhen, verkürzt sich die Amortisationszeit und der erwirtschaftete Betrag fällt höher aus.

Marktsegment Abwasserentsorgung

Dieses **Marktsegment** der Nachhaltigen Wasserwirtschaft besteht aus mehreren Facetten: Neben der „klassischen“ Abwasserbehandlung mit dem **Betrieb von öffentlichen Kläranlagen** gehören dazu auch die **Verwendung von Klärschlamm als Energieträger, energieeffiziente Kläranlagen, die Nutzung von Abwasser als Ressource, etwa zur Wärmege-** **winnung oder zur Rückgewinnung von Stoffen, sowie Kleinkläranlagen.** Einen wichtigen Bereich dieses Marktsegments bildet auch das **Rohrnetz zum Abwassertransport.**

Die Abwasserentsorgung spielt einen entscheidenden Part für den Umweltschutz und die nachhaltige Bewirtschaftung der Wasserressourcen: Ohne Infrastruktur zur Reinigung und Aufbereitung des Abwassers wären sowohl die Gesundheit der Bevölkerung als auch die komplexen aquatischen Ökosysteme gefährdet. Die Umwelttechnik bietet **neue Verfahren für eine leistungsfähige und effiziente Abwasser-** **entsorgung.**

¹⁸ Vgl. Umweltbundesamt (2010e), S. 83.

Die Abwasserentsorgung umfasst zwei Etappen, die Ableitung des Abwassers über die Kanalisation und die Behandlung des Abwassers in Kläranlagen. Das Kanalisationsnetz in Deutschland hat eine Gesamtlänge von rund 480.000 Kilometern: Alle Abwasserrohre aneinandergereiht wären somit länger als die Entfernung zwischen Erde und Mond. Durch die Kanalisation ergossen sich 2007 rund zehn Milliarden Kubikmeter Abwasser in die fast **10.000 öffentlichen Kläranlagen**.¹⁹ Diese kombinieren mechanische, biologische und teilweise auch chemische Verfahren, um die Abwässer aus Industrie, Gewerbe und Haushalten in verschiedenen Stufen zu reinigen und anschließend in ein Gewässer zurückzuleiten.

Ein vielversprechendes, neuartiges Verfahren ist die **Abwasserbehandlung mittels Plasmabehandlung**:²⁰ Organische Schadstoffe im Wasser werden zerstört, indem eine elektrische Entladung im Wasser ausgelöst wird. Dabei werden gleichzeitig sogenannte Radikale, zum Beispiel Hydroxygruppen, und freie Elektronen erzeugt. Diese stark reaktiven Moleküle und Teilchen reagieren mit den organischen Bestandteilen – was diese nicht überleben. Außerdem wird UV-Licht emittiert, das ebenfalls Keime zerstört. Dass es ohne Chemikalien auskommt, ist der große Vorteil dieses Verfahrens. Seine Anwendung kommt vor allem bei Abwasserbehandlung direkt an verschmutzenden Punktquellen infrage, beispielsweise bei kommunalen Abwässern, industriellen Abwässern oder Krankenhäusern. Eine weitere Einsatzmöglichkeit der Plasmabehandlung ist die Frischwasseraufbereitung, insbesondere bei der Entnahme von Oberflächenwasser, das in Berlin und im Ruhrgebiet häufig als Rohwasserquelle dient.

Etwa ein Prozent der Bevölkerung in Deutschland ist nicht an die öffentliche Kanalisation angeschlossen. Dazu gehören beispielsweise abgelegene Grundstücke, die nur unter erheblichem Aufwand in das öffentliche Abwassernetz integriert werden könnten. Der Gesetzgeber verpflichtet die Eigentümer solcher Grundstücke, das Abwasser in **Kleinkläranlagen** zu reinigen. Diese **dezentralen Klärwerke** im Miniaturformat müssen den „Zulassungsgrundsätzen für allgemein bauaufsichtliche Zulassung für die Anwendung von Kleinkläranlagen durch das Deutsche Institut für Bautechnik“ genügen. Sie definieren die Leistungsfähigkeit von Kleinkläranlagen anhand von Ablaufklassen; ihr Spektrum reicht von C (Basisreinigung mit Entfernung des Kohlenstoffs) bis +H (Entfernung von Kohlenstoff und Stickstoff sowie zu-

ENTSCHLEUNIGUNG IN DER KANALISATION

Starke Regenfälle erweisen sich häufig als Problemfall in der Abwasserversorgung: Große Wassermassen überfordern die Kapazität mancher Kläranlagen, die Abwässer werden dann nicht ausreichend gereinigt, was zu Verunreinigung der Gewässer führt. Viele Kläranlagen setzen auf den Bau von Regenrückhaltebecken, was allerdings kostspielig ist. Diese teure Lösung soll durch eine Innovation der Güthler Ingenieurteam GmbH überflüssig werden: Das Unternehmen aus Waldshut-Tiengen (Baden-Württemberg) hat eine „Abflussbremse“ für Kanalsysteme entwickelt. Das wartungsfreie, mechanisch selbstregelnde System nutzt das Rückhaltevolumen in den Abwasserkanälen und reguliert den Abwasserfluss, was die Überlastung der Kläranlage verhindert. Die „HydroStyx“ Abwasserbremsen lassen sich nicht nur in neue Schächte einbauen, sondern eignen sich auch zur Nachrüstung bestehender Abwasserkanäle. Nach Angaben der Herstellerfirma ist die „Abflussbremse“ auch eine Kostenbremse: Im Vergleich zur Speicherung im Regenbecken ist der Einsatz von „HydroStyx“ um 90 Prozent günstiger.

Quelle: Deutsche Bundesstiftung Umwelt (2009)

sätzliche Hygienisierung mit Herausfiltern der Keime). Letztgenannte Spitzenklasse fordern die Behörden in der Regel nur für Karst- und Wasserschutzgebiete.²¹

Die heute verwendeten Kleinkläranlagen sind technologisch ausgefeilte Produkte, die mit den Sickergruben von einst nichts mehr gemeinsam haben. Die wesentlichen Verfahren für die dezentrale Abwasserbehandlung sind Festbett-Kläranlagen, SBR-Verfahren²² und Membrantechnik. Bei belüfteten Festbett-Kläranlagen in einer Drei-Kammer-Anlage befindet sich das „Festbett“ in der mittleren Kammer und wird vom Abwasser umströmt, das in Kammer Nummer eins bereits die mechanische Reinigungsstufe durchlaufen hat. Die Mikroorganismen siedeln sich auf dem Festbett an und bilden einen Biofilm. Dieser Prozess wird durch die genau dosierte Zugabe von Sauerstoff unterstützt. Überschüssige Bakterien werden in Kammer Nummer drei zur Nachklärung gespült und setzen sich dort als Bodensatz ab. Der wird mithilfe eines Drucklufthebers wieder zurück in Kammer Nummer eins befördert.²³

19 Vgl. Umweltbundesamt (2010e), S. 86.

20 Vgl. Cluster Umwelttechnologien.NRW (2011b), S. 35.

21 Vgl. Huber DeWaTec GmbH (2011a).

22 Sequentielle Biologische Reinigung.

23 Vgl. Huber DeWaTec GmbH (2011b)

Beim **SBR-Verfahren** wird das Abwasser in zwei Kammern gereinigt. In der ersten Kammer wird zunächst mechanisch vorgeklärt; in der zweiten Kammer befindet sich der biologische Klärbereich. Hier wird Sauerstoff zugesetzt, um den Mikroorganismen durch die Belüftung und die Belebung des Schlammes die Reinigungsarbeit zu erleichtern. Während der sogenannten „Ruhephase“ trennt sich das Wasser vom Klärschlamm; das gereinigte Abwasser wird abgeleitet und ein Teil des Belebtschlammes wird zurück in Kammer Nummer eins gepumpt.²⁴

Den Spitzenwert der Ablaufklassen +H erreichen **Kleinkläranlagen mit Membranfiltertechnik**. Sie arbeiten nach folgendem Prinzip: Zunächst wird das Abwasser mechanisch vorgeklärt; anschließend gelangt es in einen Membranbioreaktor, dem Sauerstoff zugeführt wird, um die „Abbauarbeit“ der Mikroorganismen anzuregen. Das auf diese Weise biologisch gereinigte Abwasser fließt dann durch Membranfilterplatten mit mikroskopisch kleinen Poren. In diesen Miniatur-Sieben bleiben Keime hängen; das Wasser ist hygienisch einwandfrei. Mithilfe der Ultrafiltration lässt sich das gereinigte Abwasser ohne zusätzliche chemische Behandlung wieder im Haushalt verwenden, beispielsweise für die Toilettenspülung.²⁵

Klärschlammbehandlung

In Deutschland fielen nach Angaben des Statistischen Bundesamts 2009 knapp zwei Millionen Tonnen Klärschlamm^{26,27} aus kommunalen Abwasseranlagen an. Die **Deponierung des Klärschlammes ist seit 2005 nicht mehr zulässig**, deshalb haben Alternativen zur „Endlagerung“ an Bedeutung gewonnen: Circa ein Drittel des Klärschlammes wird in Deutschland zur Düngung in der Landwirtschaft genutzt. Dabei stellen Grenzwerte für die zulässige Belastung von Klärschlämmen durch Schwermetalle und organische Schadstoffe sicher, dass kein Ackerboden kontaminiert wird. **52 Prozent des in Deutschland anfallenden Klärschlammes werden verbrannt (thermische Verwertung)**.

Da Kohle und Klärschlamm ähnliche Eigenschaften in Bezug auf Trocknung und Verbrennung aufweisen, wird **Klärschlamm häufig als „Beigabe“ für die Befuerung von Kohlekraftwerken** genutzt, um Strom beziehungsweise durch Kraft-Wärme-Kopplung

elektrische und thermische Energie für die Wärmeversorgung zu erzeugen. Ein Beispiel für die Klärschlamm-Mitverbrennung (KSMV) ist das Kraftwerk Lippendorf (Sachsen); dieses mit Braunkohle befeuerte Dampfkraftwerk in der Nähe von Leipzig besteht aus zwei Blöcken mit einer Bruttonennleistung von jeweils 933 Megawatt. Das Kraftwerk Lippendorf ist zertifiziert für die thermische Entsorgung von Klärschlamm; mit einem Anteil von maximal fünf Prozent wird er der Rohbraunkohle beigemischt. Jährlich können auf diese Weise bis zu 385.000 Tonnen Klärschlamm verbrannt werden – was eine Einsparung von über 40.000 Tonnen Braunkohle ermöglicht.²⁸

Energieeffiziente Technologie in Kläranlagen

Klärwerke haben einen sehr hohen Energiebedarf: Die rund 10.000 abwassertechnischen Anlagen in Deutschland verbrauchen jährlich etwa 4.400 Gigawattstunden und emittieren rund drei Millionen Tonnen CO₂.²⁹ Energieeffizienz hat deshalb einen hohen Stellenwert. Entsprechende **Sparpotenziale** sind beispielsweise durch eine **effizientere Belüftung, den Einsatz von Motoren und Pumpen der höchsten Energieeffizienzklasse** und eine **verbesserte Steuerung der Aggregate** zu realisieren. Würde die gesamte Palette dieser Maßnahmen umgesetzt, ließe sich in deutschen Klärwerken durchschnittlich ein Fünftel der bislang benötigten Strommenge einsparen – was eine CO₂-Minderung von 600.000 Tonnen bedeuten würde.³⁰

Das am Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB entwickelte Verfahren der **Hochlastfaulung** stellt eine energieeffiziente Methode dar, um Klärschlamm schneller und kostengünstiger in Biogas umzuwandeln. Bei der Hochlastfaulung lässt sich bei der Stabilisierung des Klärschlammes ein Netto-Energiegewinn erzielen; das bei dem Prozess entstehende Biogas kann als regenerative Energie genutzt werden, um den Bedarf der Kläranlage an thermischer Energie zu decken; weiterhin lässt sich die Energieeffizienz durch Kraft-Wärme-Kopplung steigern.³¹

Wie andere Kläranlagen in Deutschland setzte auch die Gruppenkläranlage Schozachtal (Baden-Württemberg) auf die Vorteile der Hochlastfaulung. So war bei der Initiierung des Projekts das Ziel, organische Substanzen des Klärschlammes weitgehend zu eliminieren, die

24 Vgl. Huber DeWaTec GmbH (2011c)

25 Vgl. Huber DeWaTec GmbH (2011d).

26 Trockenmasse in Tonnen; Stand 2009.

27 „Bezeichnung für den ausgefaulten beziehungsweise auf sonstige Weise stabilisierten Schlamm aus Kläranlagen. Klärschlamm aus häuslichen Abwässern enthält viele Nähr- und Humusstoffe und kann unter bestimmten Voraussetzungen als Düngemittel verwendet werden. Klärschlamm kann je nach Abwasserart und Behandlungsverfahren umwelt-/gesundheitsgefährdende Stoffe enthalten.“; Definition laut Umweltbundesamt (2010e), S. 141.

28 Vgl. BHKL Schlammmentwässerungs-OHG (2011)

29 Vgl. Umweltbundesamt (2010e), S. 91.

30 Vgl. ebenda.

31 Vgl. Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB (o. J.) S. 3.

Klärschlammmenge zu minimieren sowie die „Ausbeute“ an Biogas zu erhöhen, um schließlich Energiekosten zu sparen. Mit den Ergebnissen können die Betreiber zufrieden sein. Der Klärschlamm wird nicht nur schneller und effektiver zu Biogas versetzt, es wird zudem auch weniger Faulraum für diesen Prozess benötigt. Die beim Faulprozess gewonnene Energie aus Biogas wird genutzt, um den Energiebedarf des Kraftwerks zu decken. In Zahlen ausgedrückt: 400.000 Kilowattstunden „aus eigener Produktion“ kürzen die Stromrechnung um etwa 50.000 Euro.³²

Abwasser als Ressource

Es ist ein Umdenken zu registrieren: **Abwasser** wird nicht mehr ausschließlich als „Restmüll“ der Wasserversorgung wahrgenommen, sondern **als verwertbare Ressource**. Dies zeigen Verfahren zur Rückgewinnung von Stoffen bei der Abwasserbehandlung sowie Konzepte zur Nutzung der Abwasserwärme.

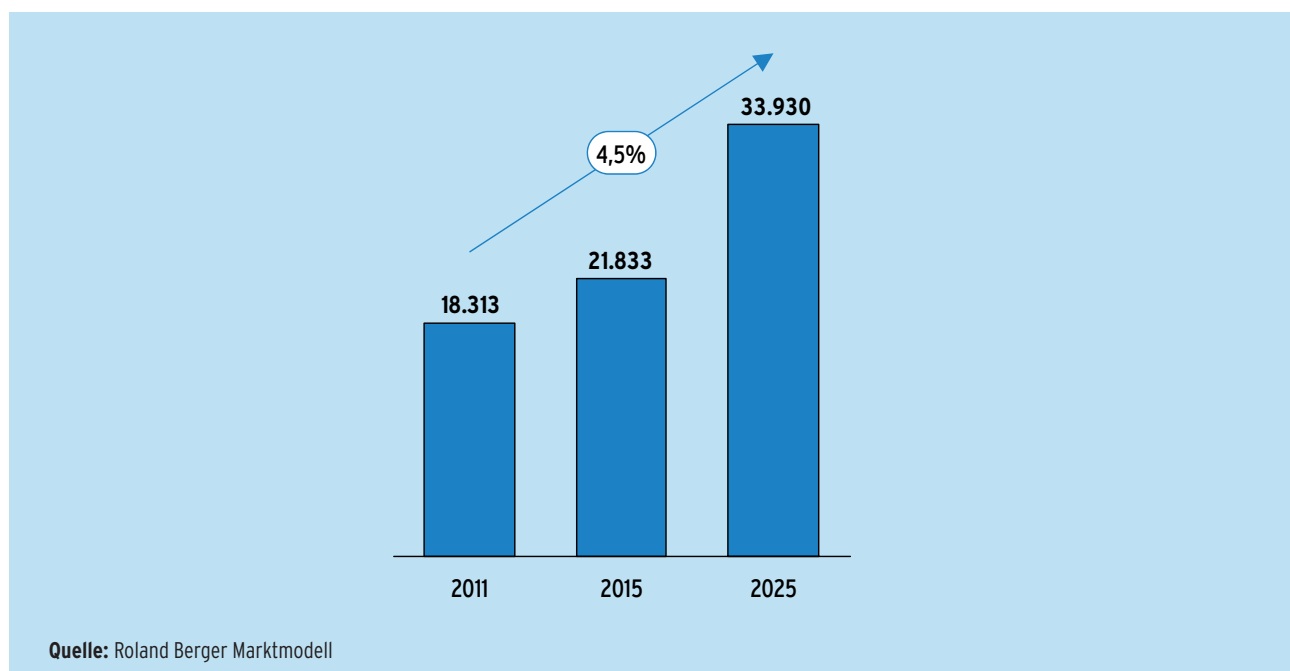
Aus Abwasser lassen sich zum Beispiel Metalle und Phosphat zurückgewinnen. Phosphate, die Salze der Phosphorsäure, werden unter anderem in Waschmitteln und Düngemitteln benötigt. Geraten Phosphorverbindungen in Gewässer, verursachen sie ein übermäßiges Wachstum von Wasserpflanzen, das letztlich zu einer Reduzierung des Sauerstoffgehalts und im schlimmsten Fall zum Umkippen eines Gewässers

führt. Um diese Eutrophierung zu vermeiden, muss die Phosphorbelastung durch eine entsprechende Abwasserbehandlung verringert werden.

Aber nicht nur ökologische Gründe sprechen dafür, sich mit dem Phosphor im Abwasser eingehend zu befassen, sondern auch wirtschaftliches Kalkül: Phosphor ist eine knappe, nicht substituierbare Ressource, bei der eine starke Importabhängigkeit besteht. Die Menge dieses chemischen Elements, die in Abwasser und Klärschlamm steckt, entspricht der Hälfte der Phosphorimporten. Davon lassen sich etwa 40 Prozent mit nasschemischen Verfahren als Magnesiumammoniumphosphat zurückgewinnen, das als Mineraldünger verwendet werden kann.³³ Eine höhere Ausbeute bei der Rückgewinnung – 90 Prozent der Zulaufmenge – verspricht die **Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm-Monoverbrennungsaschen**.

Abwasser lässt sich auch als Wärmequelle nutzen: Die Temperatur von Abwasser aus Haushalten und Gewerbe liegt selbst in der kalten Jahreszeit bei zehn bis 15 Grad Celsius. In Pilotprojekten in Deutschland wird derzeit das Abwasser in großen Abwasserkanälen als Wärmequelle für die Beheizung von Wohnhäusern und Betriebsgebäuden, einem Schwimmbad und einer Sporthalle genutzt. Dieses Konzept ließe sich ausweiten: Bei einer Anpassung der Gebäudetechnik würde die Heizenergie aus der Kanalisation bis zu zwei Drittel weniger CO₂ emittieren als konventionelle Heiztechnik.³⁴

Abbildung 68: Marktprognose Abwasserentsorgung Deutschland 2011, 2015 und 2025 (in Millionen Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)



³² Vgl. Nickel, N. (2009).

³³ Vgl. Umweltbundesamt (2010e), S. 90.

³⁴ Vgl. ebenda.



Die Umwelttechnik und Ressourceneffizienz als Modernisierungstreiber klassischer Wirtschaftszweige – Vier Transformationsfelder

Die fünf Megatrends demografische Entwicklung, Urbanisierung, Globalisierung, Ressourcenknappheit und Klimawandel werden in den nächsten Jahrzehnten weltweit die gesellschaftlichen, politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen prägen. Unter diesen Vorzeichen gibt es langfristig keine Alternative zu einer nachhaltigen Umgestaltung der Volkswirtschaft zu einer der Ökonomie, in der wirtschaftlicher Erfolg, sozialer Zusammenhalt, der Schutz der natürlichen Lebensgrundlagen und die Wahrnehmung internationaler Verantwortung ins Gleichgewicht gebracht werden. Diese Leitlinien der nachhaltigen Entwicklung sind die Orientierungspunkte bei der Transformation zu einer Green Economy.

Diese Green Economy wird von zwei Säulen getragen: einerseits von Unternehmen aus klassischen Wirtschaftszweigen, die eine Nachhaltigkeitsstrategie verfolgen, und andererseits von einer starken Green-Tech-Branche. Nach diesem Verständnis ist die Umwelttechnik und Ressourceneffizienz ein wesentlicher Treiber für die Entwicklung hin zur Green Economy. Diese These inhaltlich zu untermauern, ist der Anspruch der Kapitel *Aufbruch in die Green Economy, Dezentrale Energieversorgung, Smart Cities und Umwelttechnik-Dienstleistungen – Neue Herausforderungen, neue Geschäftsmodelle*. Anhand bereits heute sichtbarer Ansätze und Produktinnovationen wird aufgezeigt, wie die Umwelttechnik und Ressourceneffizienz konkrete Lösungen für drängende ökologische und gesellschaftliche Herausforderungen bietet.

Jedes der folgenden vier Kapitel beschreibt ein Transformationsfeld, das jeweils eine wichtige Etappe der nachhaltigen Entwicklung von Wirtschaft und Gesellschaft darstellt. Ein maßgebliches Kriterium für die Themenauswahl war die Leitfrage, inwiefern ein Transformationsfeld Lösungsansätze für die Herausforderungen bereithält, mit denen die Menschheit durch die fünf Megatrends konfrontiert wird. Dabei spannt das erste Kapitel *Aufbruch in die Green Economy* einen Rahmen, in den die anderen drei Transformationsfelder eingebettet sind.

Aufbruch in die Green Economy

Vor dem Hintergrund des globalen Bevölkerungswachstums gilt es, Klimawandel und Ressourcenknappheit zu bewältigen. Diese Megatrends werden die gesellschaftlichen und ökonomischen Rahmenbedingungen setzen. Unter diesen Vorzeichen gibt es langfristig **keine Alternative zu einer nachhaltigen Umgestaltung der Ökonomie**. Auf dem Weltwirtschaftsgipfel in Davos appellierte Ban Ki-moon eindringlich an die Teilnehmer, die Illusion eines grenzenlosen quantitativen Wachstums aufzugeben: „We believed in consumption without consequences. Those days are gone. In the twenty-first century, supplies are running short and the global thermostat is running high. Climate change is also showing us that the old model is more than obsolete. It has rendered it extremely dangerous. Over time, that model is a recipe for national disaster. It is a global suicide pact.“¹ Höchste Zeit, so die Botschaft des UN-Generalsekretärs, eine neue Ära einzuleiten: „We need a revolution. Revolutionary thinking. Revolutionary action. A free market revolution for global sustainability.“²

Nachhaltiges Wirtschaften in einem marktwirtschaftlichen Rahmen verfolgt „gleichzeitig wirtschaftlichen Erfolg, sozialen Zusammenhalt, den Schutz der natürlichen Lebensgrundlagen und die Wahrnehmung internationaler Verantwortung. Diese Ziele sollen in ein langfristig tragfähiges Gleichgewicht gebracht werden, um die gesamtwirtschaftliche Wohlfahrt zu steigern“ – so die Definition der Bundesregierung.³ Diese Leitlinien der Nachhaltigkeit führen auf den Entwicklungspfad zu einer Green Economy.

Der **Begriff der ‚Green Economy‘** und seine Inhalte sind jedoch nicht eindeutig bestimmt. Bekannte Ansätze wurden unter anderem vom **United Nations Environment Programme (UNEP)** erarbeitet sowie von der **International Chamber of Commerce (ICC)** formuliert. Einzelne Elemente einer Green-Economy-Definition werden zudem in der „Europe 2020“-Strategie der Europäischen Kommission aufgegriffen.⁴ Diesen Definitionen ist gemeinsam, dass wirtschaftliches Wachstum, soziale Verantwortung und ökologische

Belange als gleichberechtigte Ziele aufgefasst werden. Als wesentliche Eigenschaften einer Green Economy werden Ressourceneffizienz, Schutz der Biodiversität, Umweltschutz und Dekarbonisierung genannt.^{5 6}

Im Umweltwirtschaftsbericht 2011 des Bundesumweltministeriums wird die Green Economy anhand folgender Merkmale charakterisiert:⁷

- Kontinuierliche Reduktion schädlicher Emissionen und Schadstoffeinträge in alle Umweltmedien⁸
- Kreislaufwirtschaft, in der Stoffkreisläufe so weit wie möglich geschlossen werden
- Absolute Senkung des Ressourcenverbrauchs durch eine effizientere Nutzung von Energie, Rohstoffen und anderen natürlichen Ressourcen und die Substitution nichterneuerbarer Ressourcen durch erneuerbare Ressourcen
- Schutz des Klimas
- Energieversorgung, die langfristig ausschließlich auf erneuerbaren Energien basiert
- Erhaltung der Artenvielfalt und Wiederherstellung natürlicher Lebensräume

Auf Basis dieser Ansätze und nach Interviews, Befragungen und intensiven Diskussionsprozessen mit Akteuren aus der Wirtschaft lässt sich folgender **Bezugsrahmen und erweiterte Definition der Green Economy** bestimmen (siehe Abbildung 69): Die Green Economy ist eine Wirtschaftsform, die sich durch innovationsorientiertes, ökologisches und partizipatives Wachstum auszeichnet. Sie wird von zwei Säulen getragen: einerseits von einer starken Umwelttechnik-Branche, andererseits von Unternehmen aus klassischen Wirtschaftszweigen, die eine Nachhaltigkeitsstrategie verfolgen und diese in alle Ebenen ihres Managementsystems integriert haben („Sustainable Business“).⁹ Die Entwicklung der Green Economy wird vor allem von vier Anspruchsgruppen (Stakeholdern) beeinflusst: Politik, Kunden, Unternehmen und Investoren. Deren Erwartungen und Anforderungen werden wiederum maßgeblich von den globalen Megatrends Klimawandel, Ressourcenknappheit und Bevölkerungswachstum geprägt.

1 UN (2011).

2 Ebenda.

3 Bundesumweltministerium/Umweltbundesamt (2012), S. 67.

4 Vgl. dazu das Statement auf der Internet-Seite der EU-Kommission: „Europe 2020 is the EU's growth strategy for the coming decade. In a changing world, we want the EU to become a smart, sustainable and inclusive economy. These three mutually reinforcing priorities should help the EU and the Member States deliver high levels of employment, productivity and social cohesion.“

5 UNEP (2011).

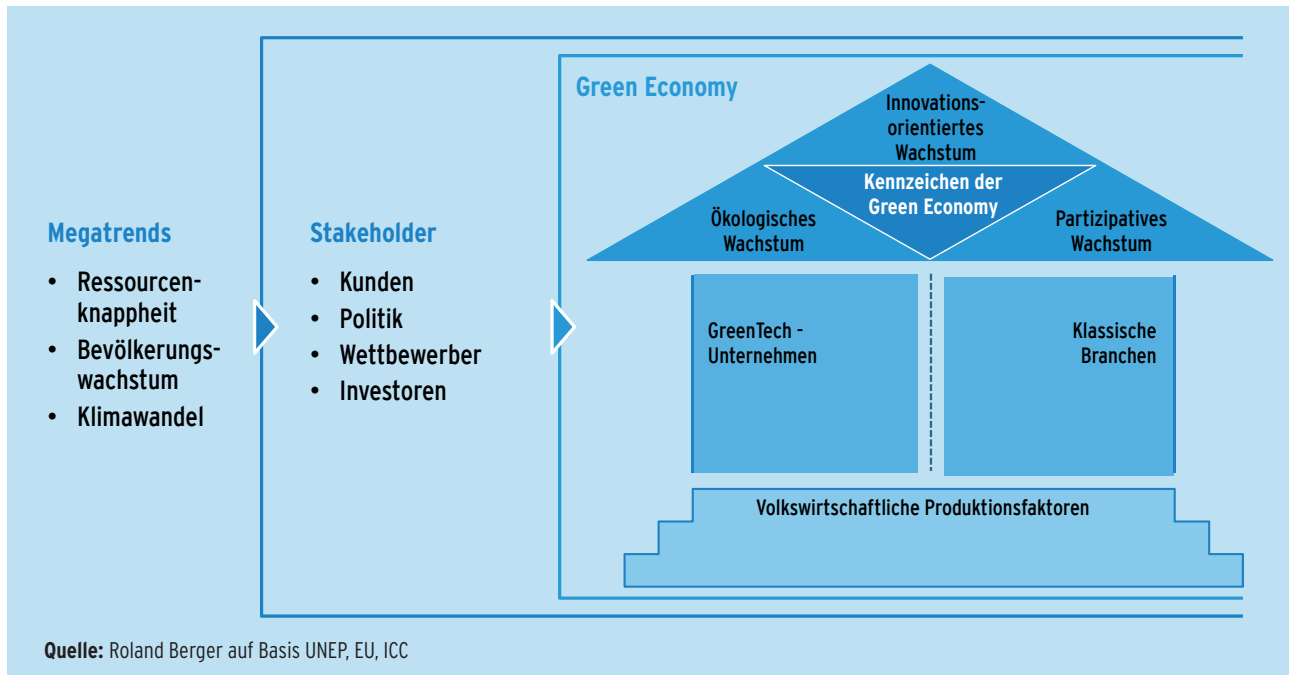
6 International Chamber of Commerce (2011).

7 Vgl. Bundesumweltministerium/Umweltbundesamt (2012), S. 68f.

8 Boden, Luft, Wasser.

9 Zum Begriff ‚Sustainable Business‘ vgl. Henzelmann, T. (2010), S. 21: „Sustainable Business ist die Handlungsmaxime eines ganzheitlichen Managements, das die drei Dimensionen Ökologie, soziale Verantwortung und Ökonomie in die Strategie und sämtliche Prozesse eines Unternehmens integriert.“

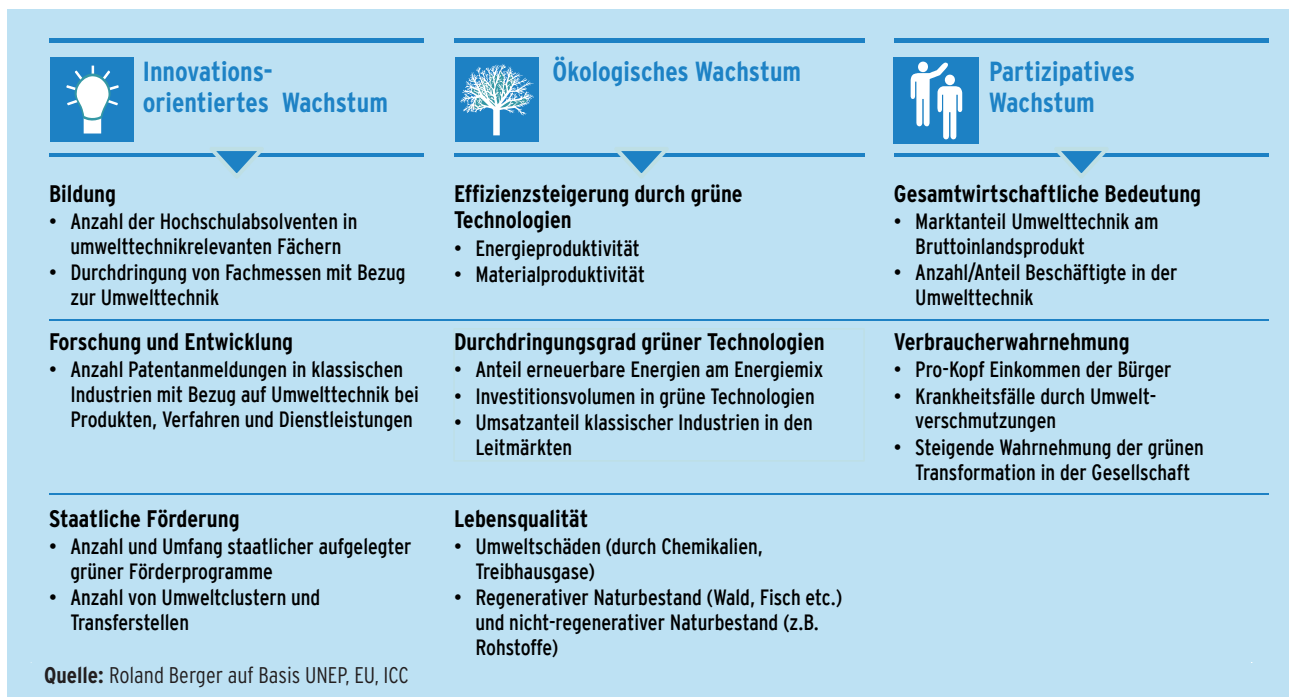
Abbildung 69: Bezugsrahmen und Merkmale der Green Economy



Die drei Kennzeichen der Green Economy (innovationsorientiertes Wachstum, ökologisches Wachstum und partizipatives Wachstum) fassen jeweils unterschiedliche Handlungsfelder zusammen (siehe Abbildung 70). Unter dem Oberbegriff ‚innovationsorientiertes Wachstum‘ werden unter anderem Innovationsfähigkeit, Wissen und Bildung oder digitale Gesellschaft subsumiert. Unter ‚ökologischem Wachstum‘ versteht man beispielsweise Handlungs-

felder wie Energie- und Ressourceneffizienz, Emissionsreduktion oder Biodiversität sowie nachhaltige Mobilität. Dem Oberbegriff ‚partizipatives Wachstum‘ werden die Handlungsfelder Beschäftigung, Teilhabe am grünen Wachstum, Lohngerechtigkeit und gesellschaftliche Vielfalt etc. zugeordnet. Alle drei Charakteristika der Green Economy und ihre Handlungsfelder lassen sich mit einer Vielzahl an Messgrößen greifbar und belegbar machen (siehe Abbildung 70).

Abbildung 70: Green Economy - Handlungsfelder und ihre Messgrößen



In der deutschen Volkswirtschaft hat der **Strukturwandel hin zur Green Economy** bereits begonnen. Eine wesentliche Rolle hat dabei eine aktive Umweltpolitik gespielt: „Die deutsche Umweltpolitik ist eine echte Erfolgsgeschichte. Wir haben viel für den Umwelt, Klima- und Naturschutz erreicht.“¹⁰ Wichtige Meilensteine sind die ambitionierten Ziele zur CO₂-Reduktion, zur Erhöhung der Energieeffizienz sowie die Energiewende, die bis 2050 einen Anteil der regenerativen Energien an der Stromversorgung in Höhe von 80 Prozent vorsieht.

Mit diesen Zielsetzungen gehört Deutschland in der internationalen Staatengemeinschaft zur Avantgarde beim Umwelt- und Klimaschutz. Diese Vorreiterrolle wäre ohne das in einem jahrzehntelangen Prozess gewachsene Umweltbewusstsein in der deutschen Gesellschaft nicht denkbar. Für Prof. Dr. Udo Kuckartz, Professor für Empirische Erziehungswissenschaften an der Philipps-Universität Marburg steht fest:¹¹ Das Thema Umwelt sei „auf einer grundlegenden Ebene in der Bevölkerung – und auch in der Führungsschicht – stark verankert. Es ist in der Mitte der Gesellschaft angekommen“, so der Spezialist für Umweltbewusstsein und Umweltbildung.¹²

Die Formulierung „in der Mitte ankommen“ impliziert eine Bewegung vom Rand ins Zentrum. Ursprung dieser kinetischen Energie ist das zunehmende Umweltbewusstsein, das heute alle Bereiche der Gesellschaft erfasst hat. Die „geheimnisvolle Genese“¹³ dieses Phänomens in allen Facetten nachzuzeichnen, ist an dieser Stelle zwar nicht machbar, aber eine **kurze Rückblende** soll jene Ära beleuchten, in der das erste Kapitel der Erfolgsgeschichte der deutschen Umweltpolitik geschrieben wurde.

Die „**Ökologische Revolution**“ findet Ende der Sechziger, Anfang der Siebziger Jahre statt:¹⁴ Rund um den Globus protestieren immer mehr Menschen gegen die rücksichtslose Ausbeutung der Ökosysteme. Auch in Deutschland gab es große Demonstrationen und Kundgebungen. Der Bau von Atomkraftwerken mobilisierte zahlreiche Kernkraftgegner, ihre Ablehnung der Kernenergie in Protestaktionen zu artikulieren.

Der Missbrauch der Natur und damit verbunden erhebliche Gesundheitsrisiken für die Menschen waren vor fünf Jahrzehnten mehr oder weniger an der Tagesordnung, wie einige Beispiele auf einer langen Liste der ökologischen Sündenfälle zeigen: In den USA wurden die Felder von Flugzeugen aus mit DDT bespritzt, Industriemüll und Dünnsäure wurde in den Ozeanen „entsorgt“, japanische Kinder starben an den Folgen von Photosmog und Quecksilbervergiftung, einige Flüsse in Deutschland waren derart verschmutzt, dass der Rhein als „Kloake“ bezeichnet wurde.

Vor diesem Hintergrund wuchs der Widerstand gegen den Raubbau an der Natur; die Protestbewegung fand ein Echo in den politischen Institutionen: 1968 erließ der Europäische Rat die „Wassercharta“ sowie die „Europäische Charta zur Reinhaltung der Luft“ und erklärte 1970 zum „Naturschutzjahr“. 1972 fand in **Stockholm** die **erste UN-Umweltkonferenz** statt, in deren Gefolge das United Nations Environmental Programme (UNEP) gegründet wurde. Gleichzeitig bildeten sich in Deutschland zahlreiche Bürgerinitiativen, die für den Schutz der Umwelt eintraten. Diese Bürgerbewegung war ein wichtiger Faktor, um die Umweltpolitik von Anfang an fest in der deutschen Gesellschaft zu verankern.¹⁵ Diese Entwicklung wirkte sich auch auf politischer Ebene aus: Im Juli 1974 wurde das Umweltbundesamt (UBA) als selbständige Bundesoberbehörde im Geschäftsbereich des Bundesministers des Innern gegründet.

Umweltpolitische Belange blieben auch in den 1980er Jahren ein wichtiges Thema auf der politischen und gesellschaftlichen Agenda. Die **Reaktor-katastrophe von Tschernobyl im April 1986** war ein Fanal, das die Umweltpolitik erneut ins Zentrum des gesellschaftlichen Diskurses brachte. Ein Indikator für die zunehmende Bedeutung des Umweltschutzes war die Gründung des Bundesumweltministeriums am 6. Juni 1986. Zu Beginn der 1990er Jahre stand Ökologie unmittelbar nach der Wiedervereinigung nicht immer in der ersten Reihe der Tagespolitik; dennoch ist sie niemals von der politischen Agenda und vom Radar der öffentlichen Aufmerksamkeit verschwunden. Im Gegenteil: Atomausstieg, erneuerbare Energien und Klimawandel waren und sind in Deutschland Themen von zentraler politischer Bedeutung.

10 Vgl. Umwelt spezial (2011), S. 3.

11 Vgl. Umwelt spezial (2011), S. 21.

12 Die Implikationen des wachsenden Umweltbewusstseins für Unternehmen werden im Abschnitt „Akteure der Green Transformation“ ab S. 138 detailliert dargestellt.

13 Vgl. Radkau, J. (2011), S. 161.

14 Darstellung nach Radkau (2011), S. 124ff.

15 Vgl. die Einschätzung von Hubert Weinzierl, 1969 bis 2002 Vorsitzender des Bund Naturschutz in Bayern: „Erst der gesellschaftspolitische Stimmungsumschwung Ende der 60er Jahre schuf den Nährboden für neue soziale Bewegungen und damit auch für eine tragfähige Ökologiebewegung. Mit dem Europäischen Naturschutzjahr 1970 kam eine ganzheitliche Sicht des Naturschutzes zum Durchbruch, die Erde wurde als gemeinsames Haus alles Lebendigen erkannt.“ Zitiert nach Radkau (2011), S. 135.

Die Akteure der Green Transformation

Auf diesem Fundament hat sich die deutsche Umweltpolitik entwickelt. Zu ihren Besonderheiten gehören die vielen „Autoren“, die an dieser Erfolgsgeschichte geschrieben haben. Die bisherigen Fortschritte auf dem Weg zur Green Economy in Deutschland waren nur möglich, weil unterschiedliche Akteure für ökologische Belange eintraten und auf diese Weise einen gesellschaftlichen **Konsens über den Stellenwert der Umweltpolitik** geschaffen haben. Gerade die Interaktion von Bürgern, Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Politik war der Katalysator, der die Umweltpolitik in Deutschland in den letzten Jahrzehnten vorangetrieben und aus der Nische in die Mitte der Gesellschaft befördert hat. Im Folgenden wird ein Panorama aufgespannt, das schlaglichtartig zeigen soll, wie Staat, Verbraucher, Finanzsektor, Unternehmen und Wissenschaft jeweils zur „grünen Transformation“ beitragen.

Staat – Impulsgeber für Innovationen und Investitionen

Schon seit Jahrzehnten zählt der Staat zu den wichtigsten Akteuren der Umweltpolitik in Deutschland, denn für Ressourcen wie sauberes Wasser und saubere Luft gibt es keinen sich selbst regulierenden Markt, in dem die „unsichtbare Hand“ nach den Gesetzen von Angebot und Nachfrage agiert. Hier ist der Gesetzgeber mit seinem **Instrumentarium aus ordnungspolitischen Maßnahmen und marktwirtschaftlichen Anreizen** gefordert. Umweltpolitik braucht auch einen institutionellen Rahmen; seine wichtigen Eckpfeiler in Deutschland waren 1971 die Gründung des Sachverständigenrats für Umweltfragen, die Gründung des Umweltbundesamtes 1974 und des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 1986.

So hatte die Politik an der Erfolgsgeschichte des Umweltschutzes in Deutschland maßgeblichen Anteil. Bereits in den Siebziger Jahren setzte die damalige Bundesregierung in puncto **Umweltgesetzgebung** Maßstäbe für andere europäische Industriestaaten. So wurde beispielsweise 1971 das Benzinbleigesetz verabschiedet, ein Jahr später das erste bundesweit geltende Abfallrecht; ihm folgten 1974 das Bundesimmissionsschutzgesetz und das Umweltstatistikgesetz.¹⁶

Auch in den Achtziger Jahren wurden zahlreiche Umweltgesetze erlassen, so 1983 die Großfeuerungsanlagen-Verordnung für die Emissionsbegrenzung von Staub, Schwefeldioxid und Stickstoffdioxid. Gemeinsam

mit der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) (1986) sorgte sie für die emissionsmindernde Nachrüstung von Neu- und Altanlagen und war das Vorbild für die 1988 verabschiedete Großfeuerungsrichtlinie der Europäischen Gemeinschaft. Die Novelle des Wasch- und Reinigungsmittelgesetzes (1987) setzte den Schaumgebirgen auf Flüssen ein Ende. Der Umweltverträglichkeit des Autoverkehrs dienten das Verbot von bleihaltigem Normalbenzin (1987) und die Verschärfung der Abgaswerte für Pkw (1988).

Schon damals zeigte sich die **Wechselwirkung zwischen ordnungspolitischen und umweltpolitischen Rahmenbedingungen einerseits und Innovationen sowie die Entstehung neuer Märkte andererseits**: Die Regulierungsvorschriften schraubten die Anforderungen an die Entwicklung neuer Technologien nach oben. Dieser Mechanismus manifestierte sich zunächst bei den „klassischen“ End-of-Pipe-Technologien: Neue Grenzwerte für die Luftreinhaltung erforderten leistungsfähigere Filter; neue Vorschriften zur Wasserreinhaltung verlangten nach Reinigungsverfahren, die imstande waren, die Belastung der Gewässer deutlich zu verringern. Auf diese Weise hat die Regulierung im Inland für einen erheblichen Investitionsschub gesorgt.

Durch ambitionierte Umweltgesetze standen deutsche Unternehmen früher als andere Anbieter vor der Herausforderung, nachhaltige Innovationen voranzutreiben und umweltfreundliche Produkte und Verfahren anzuwenden. Diese Notwendigkeit hat dazu beigetragen, der Umwelttechnik „made in Germany“ den **Vorsprung im internationalen Wettbewerb** zu verschaffen, von dem die Branche noch heute profitiert.

Die Weichen in Richtung Umweltschutz hat der Gesetzgeber in Deutschland jedoch nicht nur mithilfe von Geboten und Verboten gestellt, sondern auch durch die **aktive Unterstützung „grüner“ Wachstumsbranchen**. Der Aufschwung der regenerativen Energien wäre ohne die Förderung durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz nicht möglich gewesen. Mit diesem Rückenwind ist es deutschen Unternehmen gelungen, sich im Marktsegment der erneuerbaren Energien international an der Spitze zu setzen. Und ohne die Förderung der erneuerbaren Energien würden die Technologien heute vermutlich nicht den Reifegrad und das Kostenniveau aufweisen, die zum beschlossenen Umbau der Energieversorgung auf regenerative Quellen – Stichwort „Energiewende“ – notwendig sind. Das Erneuerbare-Energien-Gesetz

¹⁶ Vgl. Radkau, J. (2011), S. 128.

war ein wesentlicher Faktor, dass Deutschland eine Vorreiterrolle auf dem Weg der Industrieländer in eine nachhaltige, dekarbonisierte Energieversorgung einnehmen kann.

Verbraucher – Nachhaltigkeit als wichtiges Kriterium für die Beurteilung von Unternehmen und ihrer Produkte

In einer Zeitschrift wurde die PR-Managerin einer Naturkosmetik-Marke gefragt, ob der „grüne Lifestyle eine Modeerscheinung“ sei. Ihre Antwort war eindeutig: „Die Menschen sind kritischer geworden. Und ich denke, das werden sie bleiben. Klimawandel, Allergien und Lebensmittelskandale tun ihr Übriges. Bio ist in unserer Mitte angekommen.“¹⁷

Diesen Eindruck bestätigen die Werbeblöcke im Fernsehen: Zahlreiche Spots werben für Energieeffizienz. Der Privatsender ProSieben zelebriert einen „Green Day“ zu den Themen Klimaschutz und Energiesparen – klare Hinweise, dass Öko-Themen aus der Nische heraus- und im **Mainstream angekommen** sind. Immer mehr Verbraucher schauen ganz genau hin, ob Unternehmen Sozial- und Umweltstandards einhalten. Nachhaltigkeit wird zu einem wichtigen Kriterium bei der Beurteilung eines Unternehmens und seiner Produkte.

Dass die **Entdeckung der Nachhaltigkeit seitens der Konsumenten** keine schnell vererbende Modewelle darstellt, zeigen verschiedene Studien, die das Verbraucherverhalten über einen längeren Zeitraum erfassen. Zu ihnen gehören die Trendstudien zum ethischen Konsum, die die Otto Group seit 2007 alle zwei Jahre veröffentlicht. Die Trendstudie 2011 setzte den Schwerpunkt auf das Thema Verbrauchervertrauen. Das Ergebnis fiel eindeutig aus: „Ethische Prinzipien haben für die Konsumkultur entscheidend an Relevanz gewonnen.“¹⁸ Fast drei Viertel (72 Prozent) der im Rahmen der Studie interviewten Personen erklärten, „dass ethische Kriterien zu einem festen Bestandteil ihrer Kaufentscheidung geworden sind“.¹⁹ Lag der Anteil der Befragungsteilnehmer, die häufig „ethisch korrekt hergestellte Produkte“ kaufen, bei der Vorgängerstudie 2009 noch bei 26 Prozent, so hat sich dieser Anteil 2011 auf 41 Prozent erhöht.²⁰

Konsumgüterhersteller und Einzelhändler sollten sich diese Zahlen gut einprägen – und entsprechende **Konsequenzen für ihre Unternehmensführung**

ziehen, wie die Otto-Trendstudie unterstreicht: „Unternehmenswerte werden wichtiger als Markenwerte, denn die Menschen vertrauen eher einer unternehmerischen Praxis als einem Markenversprechen. Das bedeutet auch: Wirtschaftsethik ist kein Fall für CSR-Abteilungen oder eine reine Marketingaufgabe, sondern eine Frage der Unternehmenskultur.“²¹ Und die lässt sich eben nicht durch „grüne Fassadenkosmetik“ oder Broschüren aus der PR-Abteilung generieren. Greenwashing-Versuche werden heute von aufgeklärten Verbrauchern und ihren Organisationen schnell durchschaut – im Zeitalter des Web 2.0 werden nicht eingelöste Nachhaltigkeitsversprechen schnell zu dunklen Flecken auf der Image-Weste von Unternehmen. Netzwerkmedien erhöhen den Druck auf Unternehmen, es nicht bei Absichtserklärungen zu belassen, sondern ihre CSR-Richtlinien auch nachweislich in der Praxis zu leben.

Diese Transparenz macht das Internet zu einer wichtigen Plattform, um die Idee des nachhaltigen Konsums zunächst unter Gleichgesinnten im World Wide Web und dann in der Realität des Einkaufsverhaltens zu verbreiten. Diesem Ziel hat sich utopia.de verschrieben, mit über 65.000 Mitgliedern eine der großen Online-Plattformen für nachhaltigen Konsum in Deutschland: „Jeder Einzelne von uns kann einen wichtigen Beitrag leisten, aber gemeinsam haben wir einen großen Hebel.“²²

Die „Changemaker“ und andere Unternehmen, die Nachhaltigkeit als Teil ihrer Strategie begreifen, haben erkannt, dass es bei diesem Thema nicht nur darum geht, auf die Erwartungen der Öffentlichkeit zu reagieren. Die zunehmende **Sensibilisierung der Konsumenten** bietet auch die Chance, sich durch ethische Unternehmensführung Wettbewerbsvorteile zu verschaffen: Ein nachhaltiges Profil sticht aus der Masse der Anbieter heraus.

Zweifelsohne ist die Einsicht in die Notwendigkeit des nachhaltigen Handelns heute weiter verbreitet als noch vor einigen Jahren. Aber das Bessere ist auch hier der Feind des Guten. Wissenschaftler Udo Kuckartz wünscht sich bei den Bürgern „mehr Bewusstsein für die Folgen des eigenen Verhaltens: Man beschränkt sich auf symbolisches Handeln mit schwächerer Wirkung wie Müll zu trennen oder Energiesparlampen zu kaufen oder einen Fahrradausflug zu machen. Setzt sich dann aber in den Billigflieger, was – gemessen am CO₂-Ausstoß und weiteren Umweltbelastungen – alles andere zunichtemacht. Das muss stärker zusammen-

17 Sabine Kästner, Pressesprecherin von „Lavera“ in einem Interview der Zeitschrift Brigitte (Ausgabe 22/2011).

18 Otto Group (Hrsg.) (2011), S. 4.

19 Ebenda, S. 12.

20 Ebenda, S. 5.

21 Ebenda.

22 Utopia (2011a).

gedacht werden: der Zusammenhang von großen und kleinen Schritten, die wir natürlich auch brauchen.“²³

Finanzsektor – Nachhaltigkeitskriterien gewinnen an Bedeutung

Erste, noch zarte Konturen des Wandels zur Green Economy zeichnen sich auch im Finanzsektor ab: Nachhaltigkeit als Kriterium für Geldanlagen ist längst kein Randthema mehr, sondern hat sich sowohl für Privatleute als auch für professionelle Fondsmanger zu einem wichtigen Gesichtspunkt für Investitionen entwickelt. Dieser Trend wird sich in den nächsten Jahren weiter verstärken. Allerdings ist hier eine inhaltliche Klärung erforderlich: Wie verdienen Investitionen das Prädikat ‚nachhaltig‘? Seit die „grüne Welle“ auf den Finanzmarkt übergeschwappt ist, werden die Kriterien mitunter extrem großzügig gehandhabt, teilweise bis zur Grenze des Greenwashings und darüber hinaus. Gemäß der „Darmstädter Definition“ tragen **nachhaltige Geldanlagen**²⁴ zu einer „zukunftsfähigen Entwicklung“ bei: „Sie ermöglichen dies durch eine umfassende Analyse der Anlageobjekte. Diese Analyse berücksichtigt wirtschaftliche und soziale Leistungen, Naturverträglichkeit und gesellschaftliche Entwicklungen.“²⁵

Voraussetzung für diese „umfassende Analyse der Anlageobjekte“ sind allerdings Kriterien für eine nachhaltige Unternehmensführung, die sich erstens identifizieren und zweitens operationalisieren lassen. Hilfestellung dabei geben Nachhaltigkeitsindices, Kennzahlensysteme und Berichtsrahmen, die hier kurz vorgestellt werden.

In den letzten Jahren sind weltweit zahlreiche **Nachhaltigkeitsindices** entstanden, deren Portfolien die Nachhaltigkeit börsennotierter Unternehmen abbilden sollen. Grundsätzlich gibt es zwei Ansätze, um die Aufnahme in eine Index-Familie zu regeln: das sogenannte Best-in-Class-Prinzip und Positiv- und Negativ-Kriterien.

Nach dem **Best-in-Class-Prinzip** agieren der **MSCI World ESG Index** (Start 2010) und der **Dow Jones Sustainability Index** (Start 1999). Für die Aufnahme in den DJSI World, wohl die bekannteste nachhaltige Index-Familie, wählen die Analysten der Schweizer Sustainable Asset Management Group unter den 2.500

größten im Dow Jones Global Total Stock Market Index gelisteten Unternehmen der Welt diejenigen aus, die sie aus ökonomischer, ökologischer und sozialer Perspektive für besonders vielversprechend halten und die in ihren jeweiligen Branchen gemessen an Nachhaltigkeitskriterien zu den führenden zehn Prozent gehören.²⁶ Weil das Best-in-Class-Prinzip grundsätzlich zunächst keine Ausschlusskriterien anwendet, können auch Unternehmen aus der Ölindustrie, Betreiber von Atomkraftwerken und Tabakkonzerne in den Nachhaltigkeitsindex aufgenommen werden. Deshalb gibt es immer mehr Skeptiker, die davor warnen, die Zugehörigkeit zum DJSI als eine Art Gütesiegel der Nachhaltigkeit zu interpretieren. Beispielsweise war BP im DJSI als „Klassenprimus“ in der Ölindustrie gelistet; nach der Explosion der Bohrplattform Deepwater Horizon im April 2010 musste der Konzern den Index im Juli 2010 verlassen.²⁷

Andere Nachhaltigkeitsindices wählen „ihre“ Unternehmen anhand von Negativ- und Positiv-Kriterien aus; diesem Prinzip folgen zum Beispiel der **FT-SE4Good** oder der **Natur-Aktien-Index (NAI)**. Dieser 1997 vom Hamburger Finanzdienstleister Securita gestartete Index setzt sich aus 30 Unternehmen unterschiedlicher Größe aus verschiedenen Ländern und Branchen zusammen. Voraussetzung für die Aufnahme in den Index ist, dass die Unternehmen „global zur Entwicklung ökologisch und sozial nachhaltiger Wirtschaftsstile beitragen“.²⁸ Über die Aufnahme eines Unternehmens in den NAI entscheidet ein fünfköpfiger Ausschuss, dessen Mitglieder sich aus wissenschaftlichen Institutionen sowie aus Umweltorganisationen rekrutieren. Kandidaten müssen mindestens zwei von vier Positiv-Kriterien erfüllen: (1) Anbieter von Produkten und Dienstleistungen, „die einen wesentlichen Beitrag zur ökologisch und sozial nachhaltigen Lösung zentraler Menschheitsprobleme leisten“, (2) Vorreiterrolle innerhalb der Branche bei der Produktgestaltung, (3) „im Hinblick auf die technische Gestaltung des Produktions- und Absatzprozesses“ sowie (4) „im Hinblick auf die soziale Gestaltung des Produktions- und Absatzprozesses“.²⁹

Indices allein reichen jedoch zur Beurteilung der Nachhaltigkeit eines Unternehmens nicht aus. Zum einen können lediglich börsennotierte Aktiengesellschaften aufgenommen werden; zum anderen bilden die Indices nicht alle Informationen ab, die für Finanzanalysten und Investoren relevant sind. Sie ver-

23 Umwelt spezial (2011), S. 21.

24 An einigen Stellen des Textes werden ‚grüne Geldanlagen‘ in derselben Bedeutung wie ‚nachhaltige Geldanlagen‘ verwendet. Diese Gleichsetzung hat sich teilweise im Sprachgebrauch durchgesetzt, obwohl der Begriff Nachhaltigkeit neben der Ökologie auch die soziale und wirtschaftliche Dimension adressiert und deshalb weiter gefasst ist als das Attribut ‚grün‘.

25 Hoffmann, J./Scherhorn, G./Busch, T. (Hrsg.) (2004), S. 6.

26 Vgl. Dow Jones Sustainability Index (2012).

27 Dow Jones Sustainability Index (2010).

28 Vgl. Natur-Aktien-Index (2012a).

29 Natur-Aktien-Index (2012b).

langen nach Daten, die sowohl Chancen und Risiken in den Bereichen Umwelt, Soziales und Governance transparent machen als auch die Vergleichbarkeit mit anderen Unternehmen ermöglichen. Diesen Anspruch erfüllen spezielle **Leistungsindikatoren (Key Performance Indicators – KPI)**, die den Grad der Umsetzung der ESG-Kriterien ausdrücken. Zwar existiert noch kein verbindlicher Standard für eine einheitliche und zahlenbasierte Darstellung von Nachhaltigkeitskriterien, aber es gibt in der Praxis bereits KPI-Modelle. Zu ihnen gehört das „**KPI für ESG 3.0**“; dieses Modell hat die Deutsche Vereinigung für Finanzanalyse und Asset Management (DVFA) erarbeitet, um den steigenden Anforderungen an die Nachhaltigkeitsberichterstattung Rechnung zu tragen.³⁰

Beim Konzept der „**SD-KPI (Sustainable Development – Key Performance Indicators)**“, das von Axel Hesse im Auftrag des Bundesumweltministeriums und der Beratungs- und Prüfungsgesellschaft Deloitte ausgearbeitet wurde, werden für zehn Branchen jeweils zwei bis drei SD-KPI identifiziert, die als die bedeutendsten nichtfinanziellen Leistungsindikatoren für die nachhaltige Geschäftsentwicklung gelten.³¹

Für das betriebliche **Umweltmanagementsystem EMAS** wurden mit der EU-Verordnung 1221/2009 die verbindlichen Kernindikatoren Energie- und Materialeffizienz, Wasser, Abfall, biologische Vielfalt und Emissionen eingeführt.

Als **international akzeptierter Standard für Nachhaltigkeitsberichterstattung** haben sich die Richtlinien **Global Reporting Initiative (GRI)** durchgesetzt.³² Ende der Neunziger Jahre durch die Kooperation zwischen Nichtregierungsorganisationen, der UNEP und verschiedenen Stakeholder-Organisationen entstanden, hat sich die GRI inzwischen zu einem internationalen Netzwerk mit Aktivitäten in über 70 Ländern entwickelt. Im Jahr 2000 veröffentlichte die Organisation erstmals Richtlinien zur Nachhaltigkeitsberichterstattung; inzwischen ist mit den „**GRI 3.1 Guidelines**“ die dritte Fassung dieses Berichtsrahmens erschienen. Sie bestehen aus 56 „Kernindikatoren“, die folgende Kategorien umfassen:³³ Profil des Unternehmens (unter anderem Strategie, Organisationsprofil, Governance, Managementansatz und Leistungsindikatoren), ökonomische Leistungsindikatoren, ökologische Leistungsindikatoren und gesellschaftliche Leistungsindikatoren (Menschenrechte, Gesellschaft, Produktverantwortung, Arbeitsbedingungen).

Branchenspezifische Leistungsindikatoren ergänzen diese Kernindikatoren.

Bei der Berichterstattung über Treibhausgasemissionen auf Basis eines einheitlichen Reporting-Standards spielt das **Carbon Disclosure Project (CDP)** eine Schlüsselrolle. Das im Jahr 2000 gegründete CDP repräsentiert über 550 institutionelle Anleger mit einem Gesamtinvestitionsvolumen von 71 Billionen US-Dollar. Die unabhängige und gemeinnützige Organisation hat sich zum Ziel gesetzt, „maßgeblich zu Lösungsansätzen im Hinblick auf den Klimawandel beizutragen, indem es der Privatwirtschaft, der Politik und dem Finanzsektor relevante Informationen zur Verfügung stellt“.³⁴ Das CDP unterhält nach eigenen Angaben die größte Datenbank weltweit für unternehmensrelevante Klimainformationen.

Diese Entwicklungen und Initiativen signalisieren, dass Nachhaltigkeitsaspekte für Investoren heute eine wesentlich größere Rolle spielen als in der Vergangenheit. Dennoch: In absoluten Zahlen nimmt sich der **Anteil nachhaltiger Investments** nach wie vor bescheiden aus: In Deutschland, Österreich und der Schweiz waren zum Stichtag 30. Juni 2011 363 nachhaltige Publikumsfonds mit einem Volumen von rund 34 Milliarden Euro zum Vertrieb zugelassen. Um diese Zahlen besser einordnen zu können, hier zwei Referenzwerte: Insgesamt gibt es allein in Deutschland 6.600 Publikumsfonds, in denen 695 Milliarden Euro angelegt sind.³⁵ 1999 waren im deutschsprachigen Raum lediglich 17 nachhaltige Publikumsfonds gelistet; ihr Volumen lag bei 650 Millionen Euro.³⁶

Der **Sektor der alternativen Banken**, die vor allem in ökologische und soziale Projekte investieren und deren Geschäftspolitik bei der Finanzierung nach strikten, nachhaltigen Prinzipien ausgerichtet ist, hat in den letzten Jahren deutlich zugelegt. Dennoch kommen Banken wie die Umweltbank, Ethik Bank, GLS Bank, Triodos Bank etc. zusammen auf eine Bilanzsumme von rund 20 Milliarden Euro, und bleiben damit unter quantitativen Aspekten die Davids neben den Goliaths des Bankensektors.³⁷

Diese Werte lassen sich jedoch auf zwei Arten interpretieren: Misst man die Bedeutung der sogenannten „**Social Responsible Investments**“ (SRI) an den absoluten Zahlen, kann man den Eindruck gewinnen, dass nachhaltige Geldanlagen eine Marginalie auf den Finanzmärkten darstellen. Betrachtet man allerdings

30 Vgl. DVFA/EFFAS (2010).

31 Vgl. Bundesumweltministerium (2009e), S. 8.

32 Vgl. Carbon Disclosure Project (2011a), S. 63.

33 Auflistung entnommen aus dem Leitfadens zur Nachhaltigkeitsberichterstattung (Global Reporting Initiative (2011), S. 1).

34 Vgl. Carbon Disclosure Project (2011a), S. 73.28

35 Nach Angaben des Sustainable Business Institute (2011).

36 Vgl. Heintze, A. (2011), S. 87

37 Vgl. ebenda, S. 88.

die Entwicklung der SRI im deutschsprachigen Raum und in anderen europäischen Ländern, wird deutlich, dass die „grünen“ Investments längst den Weg aus der Öko-Nische in die Zentren der Finanzmärkte angetreten haben. „Inzwischen gilt man als Vertreter eines nachhaltigen Fonds nicht mehr als Exot, sondern findet immer öfter Gehör“, so die Erfahrung von Ingo Speich, der bei der Fondsgesellschaft Union Investment für nachhaltige Investments zuständig ist.³⁸

Offensichtlich ist das Thema Nachhaltigkeit beim Marsch durch die Finanz-Institutionen im Establishment angekommen: Die Manager der großen Fonds messen ökologischen und sozialen Kriterien sowie dem Aspekt der guten Unternehmensführung bei der Titelauswahl neben harten Finanzkennzahlen immer größeres Gewicht bei. Eine von der Union Investment in Auftrag gegebene Studie hat als europäische Premiere erstmals einen **Index „zur nachhaltigen Kapitalanlage deutscher institutioneller Investoren“** ermittelt. Dieses Stimmungsbarometer steht auf „hoch“: Auf einer Skala von -100 bis +100 wird ein Wert von +22 erreicht; er steht für eine „positive Einstellung“ der deutschen Großinvestoren. Dabei repräsentierten die Studienteilnehmer eine hochkarätige Mischung aus Pensionskassen, Versicherungen, Stiftungen, Banken und Großunternehmen, deren verwaltetes Gesamtvermögen sich auf 1.030 Milliarden Euro beläuft.³⁹

Die Chefetagen der Unternehmen sollten besonders hellhörig auf folgendes Teilergebnis der Union-Investment-Studie reagieren: Über 40 Prozent der Befragten, die sich als Verfechter des Nachhaltigkeitsgedankens bekannten, wollen diese Rolle als aktive Investoren wahrnehmen. Das heißt, sie nehmen gezielt Einfluss auf die Einhaltung ökologischer, sozialer und ethischer Grundsätze bei der Unternehmensführung. Noch vor dem Super-GAU von Fukushima hat RWE auf der Hauptversammlung 2009 in der Praxis erleben dürfen, wozu „aktive Investoren“ imstande sind. Fondsmanager Speich und andere Investoren kritisierten die Pläne des Energiekonzerns, zwei Kernkraftwerke in erdbebengefährdeten Regionen in Bulgarien und Rumänien errichten zu wollen. Die beiden Projekte wurden nicht realisiert.⁴⁰

Dem Trend zu mehr **Nachhaltigkeit in den Anlagestrategien der Großinvestoren** können sich die Unternehmen nicht verschließen, wie eine im September 2011 veröffentlichte Studie des Sustainable Business Institute und des Deutschen Aktieninstituts belegt:

Über zwei Drittel der börsennotierten Unternehmen gibt an, dass das Thema Nachhaltigkeit „einen hohen Stellenwert für die zukünftige Entwicklung des eigenen Unternehmens“ habe. Zum historischen Vergleich: 2003 war dieses Statement nur von circa 40 Prozent der Unternehmen zu hören.⁴¹

Mit gestiegenen Erwartungen an die nachhaltige Ausrichtung der Geschäftsstrategie müssen sich jedoch nicht nur Unternehmen auseinander setzen, die sich Kapital über die Börse besorgen wollen. Auch die Banken als traditionelle Hauptakteure der Unternehmensfinanzierung in Deutschland, vor allem für den Mittelstand, legen die Messlatte an die Erfüllung ökologischer, sozialer und ethischer Kriterien höher. Motivation ist hier nicht zuletzt das **Risikomanagement**: Vor dem Hintergrund knapper und teurer werdender Rohstoffe und des Klimawandels spielt es für die mittel- und langfristige Positionierung eines Unternehmens eine entscheidende Rolle, ob es seine Wertschöpfungskette energieeffizient und nachhaltig gestaltet. „Für Schlüsselindustrien, wie die Energieerzeugung, den Automobilbau, das Transportwesen, die Versicherungen, aber auch die Landwirtschaft wird der Klimawandel genauso wichtig wie Wechselkurs- oder Zinsrisiken“, diese Einschätzung stammt bereits aus dem Jahr 2007, hat aber nichts an Aktualität verloren.⁴²

Unternehmen – Schwarze Zahlen dank „grüner“ Konzepte

Es gibt Länder, in denen konservative politische Kräfte nach wie vor darauf beharren, am vermeintlichen Gegensatz zwischen Ökonomie und Ökologie festzuhalten. In Deutschland hat sich dieses Freund-Feind-Schema, das einen antagonistischen Widerspruch zwischen den Interessen der Wirtschaft und der Umwelt konstruiert, längst als überholt erwiesen. Zwar hatte die Öko-Bewegung der Siebziger Jahre noch wenig Herzensfreunde in den Führungsetagen deutscher Unternehmen, aber bereits in den Achtziger Jahren setzten sich mehr und mehr Unternehmen konstruktiv mit dem Umweltschutz auseinander, wie die Anfänge der betrieblichen Umweltberichterstattung und die Vorläufer der Öko-Audits zeigen. Spätestens nach Tschernobyl war klar geworden, dass dieses Thema ein langfristiger Trend war, der sowohl die Angebots- als auch die Nachfrageseite der Märkte erheblich beeinflussen würde.

38 Vgl. Schönwitz, D. (2011), S. 40.

39 Vgl. Union Investment (2011).

40 Vgl. Schönwitz, D. (2011), S. 40.

41 Vgl. Sustainable Business Institute/Deutsches Aktieninstitut (2011).

42 Vgl. Berenberg Bank (2007).

Inzwischen sind die Megatrends Ressourcenknappheit und Klimawandel sowie die Belange des Umweltschutzes noch deutlicher in das gesellschaftliche Bewusstsein vorgedrungen. Allmählich begreifen immer mehr Unternehmen, **dass die Megatrends Klimawandel und Ressourcenknappheit in den nächsten Jahrzehnten nicht nur die politischen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen neu gestalten, sondern auch die ökonomischen Spielregeln verändern werden.** Mit den Auswirkungen werden grundsätzlich alle Branchen konfrontiert, egal ob Schwerindustrie, Finanzdienstleistungen oder Einzelhandel; manche Wirtschaftszweige trifft es früher, manche später.

Die Phänomene Ressourcenknappheit und Klimawandel definieren die Anforderungen an Unternehmensstrategien neu, indem sie über die veränderten Erwartungen und Forderungen der anderen gesellschaftlichen Akteure – aus Sicht der Unternehmen Stakeholder – das Umfeld der Unternehmen erheblich beeinflussen: **Von Seiten der Kunden, Investoren und des Staats wächst der Druck auf die Firmen, ihre Geschäftsstrategie an den Anforderungen einer ressourceneffizienten und CO₂-armen Ökonomie auszurichten.** Das im Abschnitt über den Finanzsektor beschriebene Stimmungsbild hat bereits gezeigt, auf welche Weise Stakeholder ihren gestiegenen Anforderungen an Nachhaltigkeit Nachdruck verschaffen können.

Daran wird deutlich, dass der Wandel zur Green Economy die gesamte Unternehmenslandschaft einer Volkswirtschaft verändert und nicht ausschließlich die GreenTech-Unternehmen betrifft. In der hier zugrunde liegenden **Definition der Green Economy** (siehe Seite 137f.) werden ausdrücklich zwei tragende Säulen erwähnt: einerseits eine starke Umwelttechnik-Branche, andererseits Unternehmen aus klassischen Wirtschaftszweigen, die eine Nachhaltigkeitsstrategie („Sustainable Business“) verfolgen.

Um die Herausforderungen Klimawandel und Ressourcenknappheit zu meistern, müssen Unternehmen unabhängig von ihrer Branchenzugehörigkeit eine **Strategie definieren**, die das Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung auf der betrieblichen Ebene verankert. Dieser Ansatz wird als „Sustainable Business“ bezeichnet. Sustainable Business ist die Handlungsmaxime eines ganzheitlichen Managements, das die drei Dimensionen Ökologie, soziale Verantwortung und Ökonomie in die Strategie und sämtliche Prozesse eines Unternehmens integriert.⁴³ Dieses Konzept leistet einen maßgeblichen Beitrag zur Erreichung des Ziels einer Green Economy und geht dabei in der

Auseinandersetzung mit Klimawandel und Ressourcenknappheit weit über das Risikomanagement hinaus: Es umfasst auch die Dimension, inwieweit Unternehmen die Megatrends und deren Implikationen auf die Märkte für ihre Positionierung im Wettbewerb nutzen können. Der Weg zum „Sustainable Business“ lässt sich als **Green Transformation** beschreiben. Der Kern dieses tiefgreifenden Veränderungsprozesses besteht darin, dass jedes Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette Risiken und Chancen bewerten muss, die von den Megatrends auf das jeweilige Geschäftsmodell ausgehen. Auf Basis dieser Analyse gilt es dann, auf allen Ebenen und in allen Prozessen eines Unternehmens entsprechende Veränderungen vorzunehmen.

Umwelttechnik als Wachstumsbranche

Das wachsende Umweltbewusstsein hat den Anstoß für die Entwicklung der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz als völlig neuen Wirtschaftszweig gegeben, der sich auf Basis der Kernkompetenzen und der Innovationsstärke der in Deutschland starken „klassischen“ Industrien wie Maschinen- und Anlagenbau, Fahrzeugbau, Chemieindustrie und Elektroindustrie entfalten konnte. So brillierten deutsche Firmen auf den Weltmärkten schon bald als Anbieter von typischen Umweltschutztechnologien wie Müllverarbeitung, Recycling und Gewässerschutz. Seit die Brisanz der Megatrends Ressourcenknappheit und Klimawandel immer deutlicher wird, profitieren deutsche Unternehmen stark von der weltweit steigenden Nachfrage auf den Leitmärkten Energieeffizienz, Rohstoff- und Materialeffizienz, in den Bereichen erneuerbare Energie und Energiespeicherung sowie alternative Antriebstechnologien. In diesen Segmenten spielen viele **Akteure der deutschen Umwelttechnik-Branche in der Champions League** der internationalen Märkte.

Es spricht alles dafür, dass die Märkte für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz in den nächsten Jahren weiter wachsen. Ihr Volumen beträgt heute weltweit 2.044 Milliarden Euro, 2025 wird es bei 4.403 Milliarden Euro liegen. Von dieser Expansion sind **positive Impulse für den Standort** zu erwarten. Diese Einschätzung teilt die Deutsche Akademie für Technikwissenschaften (acatech), die für Deutschland eine führende Rolle auf den Märkten für Ressourceneffizienz und nachhaltiger Energieversorgung sieht.

43 Vgl. Henzelmann (2010), S. 21.

Wissenschaft – Forschung und Lehre als Ideenschmiede der Green Economy

Die Wissenschaft hat ebenfalls einen enormen Beitrag zum Erfolg der Umweltpolitik in Deutschland und zum „grünen Strukturwandel“ geleistet: zum einen als **wichtige Stimme im politisch-gesellschaftlichen Diskurs**, zum anderen durch ihre **Leistungen auf dem Feld der Forschung und Entwicklung**. Voraussetzung für den bisherigen und zukünftigen Erfolg von „GreenTech made in Germany“ ist die Innovationsstärke der deutschen Umwelttechnik. Trotz ihrer großen Potenziale sind die Unternehmen dabei auf die Kooperation mit Forschungseinrichtungen angewiesen, vor allem im Bereich der Grundlagenforschung und beim Transfer in die Anwendung. Insofern ist die vielfältige Forschungslandschaft ein Erfolgsfaktor für viele Unternehmen in den Leitmärkten der Branche Umwelttechnik und Ressourceneffizienz. Aus eigener Kraft hätten manche Akteure, vor allem in jungen Geschäftsfeldern wie den erneuerbaren Energien, die anstrengende Etappe von der Grundlagenforschung bis zur Marktreife nicht bewältigen können. Die Darstellung der GreenTech-Forschungslandschaft in Deutschland kann im Rahmen dieser Publikation nur beispielhaft erfolgen. Insofern erhebend die folgenden Ausführungen keinen Anspruch auf Vollständigkeit; sie wollen lediglich Eindrücke von der Vielfalt der wissenschaftlichen Aktivitäten im Bereich Umwelt- und Nachhaltigkeitsforschung vermitteln.

In Deutschland hat sich im Lauf der letzten Jahrzehnte eine **dynamische Forschungs- und Entwicklungstätigkeit im GreenTech-Bereich** etabliert, die maßgeblich von Forschungsinstituten vorangetrieben wird. Auf den Themenfeldern Energie und Wohnen sowie Produktion und Umwelt arbeitet ein großer Teil der 80 Forschungseinrichtungen der **Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.** Prominente Beispiele für die Profilierung der Fraunhofer im Umweltbereich sind das Fraunhofer UMSICHT (Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik) in Oberhausen, das Fraunhofer ISE in Freiburg (Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme), mit rund 1.100 Mitarbeitern das größte Solarforschungsinstitut in Europa, oder das Fraunhofer IWES (Fraunhofer-Institut für Windenergie & Systemtechnik) an den Standorten Bremerhaven und Kassel.

Zu den im In- und Ausland renommierten Adressen der Forschung zu den verschiedenen Facetten der nachhaltigen Entwicklung gehören das **Öko-Institut e.V.** und das **Wuppertal Institut**. Das Öko-Institut wurde 1977 in Freiburg gegründet und hat inzwischen auch

Dependancen in Darmstadt und Berlin. An den drei Standorten forschen mehr als 130 Mitarbeiter in den Arbeitsfeldern Chemikalienmanagement und Technologiebewertung, Energie und Klima, Immissions- und Strahlenschutz, Nachhaltigkeit in Konsum, Mobilität und Ressourcenwirtschaft etc.⁴⁴ Die Wissenschaftler des Öko-Instituts beraten politische Institutionen auf Ebene der Bundesländer, des Bundes sowie der Europäischen Union.

Das **Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH** wurde 1991 unter der Leitung von Prof. Dr. Ernst Ulrich von Weizsäcker gegründet. Den Schwerpunkt setzt die Forschungseinrichtung auf die anwendungsorientierte Nachhaltigkeitsforschung; der Ansatz ist dabei interdisziplinär. Dies spiegelt auch die Zusammenarbeit mit zahlreichen Universitäten und Instituten im Inland sowie im internationalen Rahmen wider.⁴⁵

Die Liste der in Deutschland ansässigen national und international bekannten Forschungsinstitute ließe sich noch lange fortsetzen. Weil der Anspruch auf Vollständigkeit an dieser Stelle jedoch das Format sprengen würde, seien hier – pars pro toto – nur noch zwei Institute erwähnt: Das **Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (ifeu)** wurde als unabhängiges ökologisches Forschungsinstitut 1978 von Wissenschaftlern der Universität Heidelberg gegründet. Die über 50 Mitarbeiter des Instituts rekrutieren sich aus unterschiedlichen Disziplinen der Natur- und Ingenieurwissenschaften und verwirklichen in zahlreichen Projekten das Anliegen der Institutsgründer, die einen „Raum für unabhängige Forschung zu umweltrelevanten Fragen“ schaffen wollten.⁴⁶

Das in Duisburg beheimatete **Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V. (IUTA)** zählt in Deutschland mit rund 150 Mitarbeitern zu den größten verfahrenstechnischen Instituten im Bereich der Energie- und Umwelttechnik.⁴⁷ Der Arbeitsschwerpunkt von IUTA liegt auf Forschungs- und Entwicklungsprojekten, in denen in Kooperation mit Partnern aus der Industrie innovative Produkte und Verfahren aus der Wissenschaft in die Praxis transferiert werden. Dabei legt das Institut großen Wert auf die Zusammenarbeit mit Universitäten und Hochschulen; insbesondere mit der Universität Duisburg-Essen besteht eine enge Kooperation.

Ausdruck der deutschen FuE-Stärke im Bereich Umwelttechnik ist nicht nur die vielfältige Forschungslandschaft, sondern auch die Patentstatistik: Patente sind ein wichtiger Indikator für die Forschungsleistung und Innovationsstärke eines Wirtschaftssektors. Die

44 Vgl. Öko-Institut e.V. (2011).

45 Vgl. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH (2012).

46 Vgl. Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (2011).

47 Vgl. IUTA e.V. (2011).

Umweltechnik erweist sich hier als **starker Innovationsstreiber**: So wuchs die Zahl deutscher Patentanmeldungen in diesem Sektor zwischen 2004 und 2007 um rund 19 Prozent pro Jahr auf 1.044 Patentanmeldungen. Auch in der internationalen Patentstatistik spielen deutsche Unternehmen eine führende Rolle. 2007 erteilte das Europäische Patentamt rund 23 Prozent aller im Bereich Umweltechnik neu vergebenen Patente an deutsche Unternehmen. Auf den Plätzen zwei und drei folgten Unternehmen aus den USA (22 Prozent) und Japan (19 Prozent). Besonders innovativ sind deutsche Umweltechnik-Unternehmen in den Bereichen Solarthermie und Windkraft. Dort erreichen sie sogar einen Anteil von jeweils rund einem Drittel der Patentanmeldungen.

Wissenschaft ist nicht nur in der Forschung und Entwicklung, sondern auch in der Lehre einer der Motoren, die den Weg in Richtung Green Economy beschleunigen. An deutschen Hochschulen und Universitäten sind in den letzten Jahren **zahlreiche Lehrstühle und Institute** entstanden, die sich intensiv mit den verschiedenen Disziplinen und Aspekten der Umweltechnik und des nachhaltigen Wirtschaftens

Ausblick

Es gibt keine Alternative zum Aufbruch in die Green Economy, denn die Losung „Weiter so“ bietet angesichts der Megatrends Klimawandel und Ressourcenknappheit keine langfristig tragfähigen Lösungen. Eine Gesellschaft, die von der Substanz der natürlichen Ressourcen zehrt und dabei die Lebensgrundlagen der kommenden Generationen vernichtet, hat keine Zukunft. **Es bedarf einer nachhaltigen Ausrichtung von Wirtschaft und Gesellschaft**, um Wachstum und Ressourcenverbrauch zu entkoppeln und damit die begrenzte Belastbarkeit der Ökosysteme zu akzeptieren.

Dieser Aufbruch in Richtung eines „grünen Strukturwandels“ hat in Deutschland bereits begonnen. Gerade noch rechtzeitig, wie Jeremy Rifkin meint: „Die gesamte industrielle Infrastruktur, die auf dem Fundament

beschäftigten.“⁴⁸ Die Absolventen dieser Studiengänge sind wiederum wichtige Multiplikatoren, die mit ihrem Know-how den „grünen Strukturwandel“ innerhalb der Wirtschaft fördern.

Auch jenseits der Hochschullandschaft gibt es im Rahmen der betrieblichen Weiterbildung vielversprechende Ansätze, Ressourceneffizienz in den betrieblichen Alltag zu verankern. Dazu gehört die **Qualifizierung zum „European EnergyManager (EUREM)“**, die 1999 als Trainingsmaßnahme „Energie Manager (IHK)“ von der Industrie- und Handelskammer Nürnberg initiiert wurde. Dieses Qualifizierungskonzept für Fach- und Führungskräfte haben zunächst andere IHK-Bezirke in Deutschland übernommen, dann auch 15 europäische Partner. Inzwischen hat sich daraus unter der Federführung der IHK Nürnberg das von der Europäischen Union geförderte Projekt „EUREM.NET“ entwickelt, in dessen Rahmen bislang mehr als 2.500 „European EnergyManager“ ausgebildet wurden. Jede Maßnahme, die diese Energiespar-Experten auf den Weg gebracht haben, hat im Durchschnitt pro Jahr 750 Megawattstunden Energie, 30.000 Euro und 200 Tonnen CO₂-Emissionen eingespart.⁴⁹

fossiler Energie errichtet wurde, erweist sich heute als baufällig. immer deutlicher zeigt sich, dass wir neue wirtschaftliche Leitbilder benötigen, die uns in eine gerechter und nachhaltiger gestaltete Zukunft führen.“⁵⁰ Der renommierte Wissenschaftler, Trendforscher und Berater zahlreicher Regierungen ist überzeugt, dass sich die Menschheit an einem **Wendepunkt der Wirtschaftsgeschichte** befindet, weil durch die neue Konvergenz von Informations- und Kommunikationstechnik und erneuerbaren Energien eine neue Energieordnung entsteht. Erste **Konturen dieser neuen Energieordnung** lässt die in Deutschland beschlossene Energiewende sichtbar werden. Ihre Bedeutung für das Ausmaß und Tempo der „grünen Strukturwandels“ ist immens.

48 Hier folgen einige Beispiele von Hochschulen und Universitäten, die Studienangebote zu den Themen Umwelt und Nachhaltigkeit entwickelt haben: Hochschule für nachhaltige Entwicklung (FH) Eberswalde, Institut für Umweltechnik und Management an der Universität Witten/Herdecke gGmbH; Universität Bremen artec; Institut für Umwelt- und Biotechnik Universität Bremen; Studiengang Energie- und Umweltechnik an der TU Hamburg-Harburg; Technische Universität Dortmund; Lehrstuhl Umweltechnik an der TU Dortmund; Lehrstuhl für thermische Verfahrenstechnik und Umweltechnik TU Dresden; Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft und Umweltechnik Ruhr-Universität Bochum; Umwelt-Campus Birkenfeld der Fachhochschule Trier.

49 Vgl. Industrie- und Handelskammer Nürnberg für Mittelfranken (2011).

50 Rifkin, J. (2011).

Dezentrale Energieversorgung



Vor dem Hintergrund der Megatrends Ressourcenknappheit und Klimawandel sowie einer wachsenden Weltbevölkerung und steigenden Energiebedarfs die Energieversorgung sicherzustellen, gehört zu den großen Herausforderungen der nächsten Jahrzehnte. Deshalb gebührt dem Thema dezentrale Energieversorgung ein hoher Stellenwert als einem der wesentlichen Transformationsfelder auf dem Weg zur Green Economy. Den politischen Rahmen bildet in Deutschland die im Juni 2011 mit großer Mehrheit vom Deutschen Bundestag beschlossene Energiewende. Sie sieht einen grundlegenden Wandel der Energieversorgung in Deutschland vor.

Das Gesetzespaket verbindet den zeitlich klar festgelegten Ausstieg aus der wirtschaftlichen Nutzung der Kernenergie mit einem Konzept für die **Steigerung der Energieeffizienz** und den **Ausbau der erneuerbaren Energien**. Deren Anteil an der Stromversorgung soll bis 2020 von derzeit rund 20 Prozent auf mindestens 35 Prozent steigen; bis 2050 soll er auf 80 Prozent wachsen – so das Energiekonzept der Bundesregierung.¹ In den nächsten Jahrzehnten werden also dezentrale Erzeugungssysteme in Deutschland einen immer größer werdenden Teil des Strombedarfs decken.

Diese Planung hat nicht nur eine quantitative Dimension, sondern wird zu einer **Transformation der Energieversorgung auf mehreren Handlungsfeldern** führen. Dazu gehören vor allem die Markt- und Systemintegration der erneuerbaren Energien, flexible Kraftwerke, Optimierung des Lastmanagements, Ausbau der Stromnetze und Speicherkapazität. In der Verknüpfung dieser komplexen Elemente besteht die große Herausforderung und das Revolutionäre der Energiewende. Dabei geht es um eine grundlegende Veränderung der Energiestruktur mit Erneuerbaren als Hauptquelle der Energieversorgung, mit dezentraleren Betreiberstrukturen, intelligenten Netzen und Speichertechnologien und einem europäischen Stromnetz, das den reibungslosen Transport von regenerativ erzeugtem Strom innerhalb von Europa ermöglicht.

„Revolutionär“ bedeutet, bisher gültige Praxis und Gepflogenheiten infrage zu stellen und neu zu ordnen. Der revolutionäre – und damit auch historische – Charakter der Energiewende wird besonders deutlich, wenn man das Konzept vor dem Hintergrund der

¹ Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie/Bundesumweltministerium (2010), S. 5.

bisherigen Strukturen der Energieversorgung betrachtet. Ausmaß und Tragweite der erforderlichen Veränderungen lassen sich nur im Kontrast zur Ausgangssituation ermessen. Deshalb skizziert dieses Kapitel zunächst die Entwicklung der letzten Jahrzehnte, ehe die aktuellen technologischen Möglichkeiten und Herausforderungen für den Wandel der Energieversorgung beschrieben werden.

Rückblick: Die historisch gewachsene Struktur der Energieversorgung

„Die technische Realisierung der Nutzung von Sonnenenergie ist in etwa der Schwierigkeit vergleichbar, die von 10 Millionen Flöhen aufbringbare Kraft dadurch nutzbar zu machen, dass man den Flöhen beibringt, alle zur gleichen Zeit in die gleiche Richtung zu hüpfen.“² – Wie die meisten Energiefachleute und Politiker in den Siebzigern hielt auch Dixy Lee Ray, 1973 Vorsitzende der US-Atomkommission, wenig von der Idee einer dezentralen Energieversorgung. Zu sehr stand dieses Konzept im Widerspruch zu einem Zeitgeist, dessen Mainstream auf zentralisierte Großtechnik setzte.

Die **Struktur der Energieversorgung** in Deutschland und anderen Industrieländern war zunächst von mittleren und großen fossilen Kraftwerken geprägt. Diese historischen Knoten des Stromnetzes waren in Städten und industriellen Ballungszentren entstanden und wurden von den Energieversorgungsunternehmen verknüpft. 1972 speisten westdeutsche Kernkraftwerke erstmals Strom ein. So entstand – im Zeitraffer zusammengefasst – ein Verbundnetz, das den Strom von mittleren und großen fossilen und nuklearen Kraftwerken über die regionalen und lokalen Verteilernetze transportiert (siehe Abbildung 71). Der Stromfluss in dieser Kaskade kannte nur eine Richtung, und zwar vom Erzeuger zum Verbraucher.

Mit dem Rückenwind einer erstarkenden Umweltbewegung, aus der Erfahrung mehrerer Ölkrisen und unter dem Eindruck der Tschernobyl-Katastrophe suchten Wissenschaftler nach alternativen Wegen der Energieversorgung. Das Jahr 1989 wurde dann nicht nur das historische Wendejahr des Mauerfalls, sondern markiert auch den **Anfang der Energiewende**: Damals „wurde als Stand der Technik anerkannt, dass sich dezentral vom Verbraucher erzeugte Energie ins Netz einspeisen lässt“.³

Anfänge und Treiber einer dezentralen Energieversorgung

Zu Beginn der 1990er Jahre lag der Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung in Deutschland bei marginalen 3,1 Prozent;⁴ im Juli 2011 wurde die 20-Prozent-Marke überschritten. Diese Eckdaten machen deutlich, in welchem Tempo sich der Ausbau der regenerativen Energien in Deutschland vollzogen hat. Zwangsläufig beschleunigte diese Entwicklung die **Dezentralisierung der Stromerzeugung**, denn regenerative Energien wie Sonne, Wind oder Biomasse sind in der Regel vor Ort verfügbar. Hinzu kommt, dass die Pioniere der erneuerbaren Energien zunächst vor allem auf die Selbstversorgung in autarken Systemen setzten. Insofern waren die frühen Phasen der Erneuerbaren-Ära ohnehin dezentral geprägt.

Auch politischer Rückenwind trug zur Erfolgsgeschichte der erneuerbaren Energien bei: Den Anfang machte das 1.000-Dächer-Programm, das 1990 „zur Bewertung des bereits erreichten Standes der Technik und zur Ableitung des noch erforderlichen Entwicklungsbedarfs bei netzgekoppelten Photovoltaikanlagen mit kleiner Leistung“ initiiert wurde.⁵ In diesem Feldtest wurden zwischen 1991 und 1995 die Erträge von 2.000 Photovoltaik-Anlagen auf Ein- und Zweifamilienhäuser ausgewertet. Deren Besitzer mussten trotz einer Förderung von 70 Prozent etwa 10.000 Euro für die Anlage zuschießen. 1991 wurde von der damaligen Bundesregierung das **Stromeinspeisegesetz** verabschiedet; künftig sollte der Strom vergütet werden, den private Anbieter aus erneuerbaren Energiequellen erzeugen. Mit diesem Modell setzte die deutsche Politik bei der Förderung der Erneuerbaren auf die Nachfrageseite – was für die Dezentralisierung der Energieerzeugung als Katalysator wirkte. Zum Vergleich: Die USA waren bei der Solartechnologie der Bundesrepublik in den 1970er Jahren um Längen voraus. Die US-Regierung entschied sich jedoch dafür, die weitere Entwicklung der Photovoltaik durch Subventionen an Energiekonzerne zu fördern.⁶ Heute ist Deutschland der Technologieführer.

Den entscheidenden Schub für den Ausbau der Stromerzeugung aus regenerativen Quellen brachte das **Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)**, das 2000 in Kraft getreten war und seitdem mehrfach novelliert wurde. Das EEG und sein Vorläufer, das Stromeinspeisegesetz, sicherten den kleinen, dezentralen Ökostrom-Produzenten den Zugang zu den Netzen der

2 Zitiert nach Radkau, J. (2011), S. 479

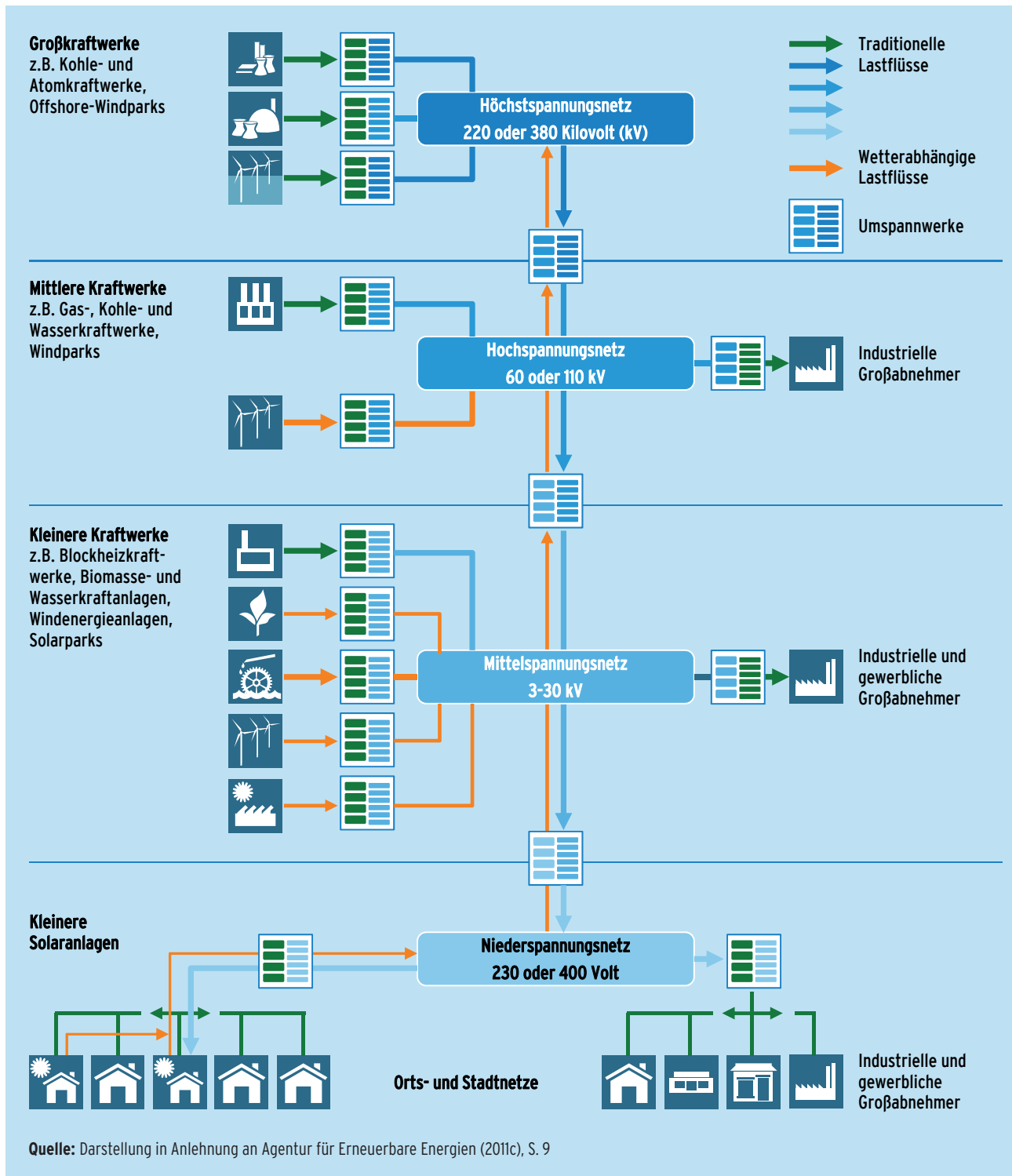
3 Ebenda, S. 482.

4 Bezogen auf den Bruttostromverbrauch; vgl. Bundesumweltministerium (2011d), S. 13.

5 Das vom Bundesministerium für Forschung und Technik aufgelegte 1000-Dächer-Programm trug die offizielle Bezeichnung ‚Bund-Länder-1000-Dächer-Photovoltaik-Programm‘. Vgl. Hoffmann, V. (2008).

6 Vgl. Radkau, J. (2011), S. 479f.

Abbildung 71: Ebenen des Stromnetzes



großen Energieversorger. Diese waren nun verpflichtet, den grünen Strom zu einer Mindestvergütung einzuspeisen.

Mit dieser Förderung der dezentralen Energieerzeugung aus erneuerbaren Quellen wurde in Deutschland schon frühzeitig das Fundament für die angesichts des Klimawandels und der zunehmenden Knappheit fossiler Ressourcen unumgängliche Energiewende gelegt. Vor allem drei Faktoren waren – und sind – das Motiv für diesen **Paradigmenwechsel in der Energiepolitik**: Erstens sind rund 80 Prozent aller Treibhausgasemissionen energiebedingt⁷ – das heißt, die fossilen Energieträger Kohle, Erdöl und Erdgas müssen weitmöglichst durch regenerative Energiequellen ersetzt werden. Ohne Dekarbonisierung der Energieerzeugung ist der Kampf gegen die globale Erwärmung nicht zu gewinnen. Zweitens bilden die Preisentwicklung sowie die sich abzeichnende Knappheit der fossilen Energieträger, vor allem des Erdöls, ein gewichtiges Argument für die Suche nach Alternativen. Und drittens kann der Ausbau der erneuerbaren Energien die Abhängigkeit Deutschland von Energieimporten mindern.

Die politische Förderung der dezentralen Energieversorgung aus erneuerbaren Quellen wäre jedoch ohne die große Resonanz bei den Anwendern verpufft. Bei den privaten Verbrauchern sind die Erneuerbaren auf immer stärkere Gegenliebe gestoßen. Neben der Überzeugung, **aktiv zum Umwelt- und Klimaschutz beitragen** zu wollen, sind für den Großteil der Anwender die steigenden Erdöl- und Stromkosten entscheidende Motive, in dezentrale Energieversorgungssysteme zu investieren. Auf diese Weise erwarten sie, sich vom absehbaren Aufwärtstrend der Preiskurve abzukoppeln.

Ein entscheidender Faktor, der die Dezentralisierung der Energieversorgung in den letzten Jahren beschleunigt hat, ist **der technologische Fortschritt**. Erst die Innovationen in allen Segmenten der Erneuerbaren haben den Durchbruch der regenerativen Energien aus der Nische in den Massenmarkt ermöglicht. Erst die Quantensprünge der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) haben die Voraussetzung geschaffen, die dezentrale Energieversorgung in das Stromnetz zu integrieren.

Der **Trend zur dezentralen Energieerzeugung** wird durch die Wechselwirkung zwischen der zunehmenden Nachfrage, dem technischen Fortschritt und der Preisentwicklung für die Erzeugung von Ökostrom weiter angeheizt. Beispiel Photovoltaik: Seit 2006

sind die Preise für Photovoltaik-Anlagen um mehr als die Hälfte auf knapp 2.200 Euro/kWp gesunken.⁸ Dieser Preissturz ist im Wesentlichen auf den höheren Wirkungsgrad der Module zurückzuführen, der durch Innovationen erheblich verbessert wurde. Hinzu kommt, dass größere Absatzmengen zu Skaleneffekten führen.

Auch wenn Skeptiker das Argument ins Feld führen, die dezentrale, kleinteilige Energieerzeugung sei ineffizient und deshalb zu teuer, bietet die Abkehr vom zentralistischen Modell **eine Reihe ökonomischer Vorteile**: Stromerzeugung in der Nähe des Verbrauchs trägt dazu bei, Leitungsverluste zu vermeiden. Außerdem werden die Übertragungsnetze entlastet, was den Bedarf an überregionalen Infrastrukturen senkt. Dies führt mittel- und langfristige zu einer Senkung der Systemkosten. Hinzu kommt, dass dezentrale Strukturen in der Energieerzeugung die regionale Wertschöpfung stärken: Gewinne für lokale Unternehmen und Arbeitsplätze vor Ort unterstützen das Ziel, ein Stadt-Land-Gefälle in puncto Wirtschaftskraft zu verhindern beziehungsweise auszugleichen.

Der Stromkonsument als Produzent – Kraftwerke im Keller, auf dem Dach und im Vorgarten

Die Dezentralisierung der Energieerzeugung hat auf der Nachfrageseite einen Rollenwechsel eingeläutet: Aus den reinen Stromkonsumenten von einst sind nun gleichzeitig potenzielle Produzenten geworden. Und immer mehr nutzen diese Möglichkeiten, durch die Installation eigener Systeme ihre Energieversorgung aus Sonne, Biomasse oder Wind sicherzustellen.

Photovoltaik und Solarthermie

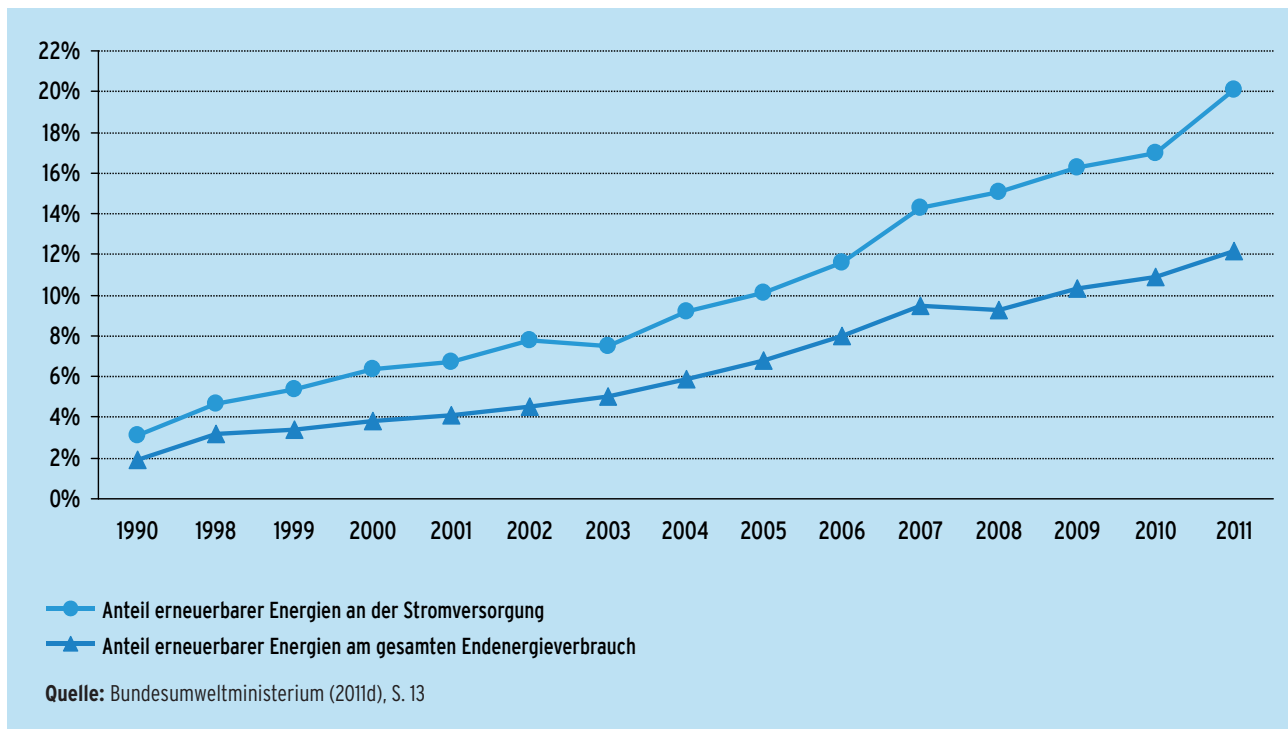
Etwa 2,3 Millionen Photovoltaik- und Solarthermie-Anlagen nutzen in Deutschland die unerschöpfliche Energie der Sonne zur Erzeugung von Strom und Wärme. Solarstrom hat sich binnen kurzer Zeit zu einer tragenden Säule der dezentralen Energieversorgung entwickelt: Im Jahr 2000 lag die installierte Photovoltaik-Leistung bei 75 MWp, Ende 2010 bei 17.320 MWp. Ebenso rasant ist in diesem Zeitraum die Stromerzeugung von Photovoltaik-Anlagen von 64 Gigawattstunden auf 12.000 Gigawattstunden gestiegen. Die Sonne hat 2010 den Strombedarf von mehr als 3,4 Millionen Haushalten in Deutschland gedeckt und damit einen CO₂-Ausstoß in Höhe von rund 6,2 Millionen Tonnen verhindert.⁹ Bis zum Jahr 2020 soll der Anteil des Solarstroms am Bruttostrom-

7 Vgl. Umweltbundesamt (2011c).

8 Durchschnittlicher Endkundenpreis für fertig installierte Aufdachanlagen bis 100 kWp (ohne Umsatzsteuer); vgl. Bundesverband Solarwirtschaft (2011b).

9 Vgl. Bundesverband Solarwirtschaft (2011b). Grundlage der Berechnung ist ein Drei-Personen-Haushalt mit einem Jahresstromverbrauch von 3.500 kWh.

Abbildung 72: Anteil der erneuerbaren Energie an der Stromversorgung und am gesamten Endenergieverbrauch



verbrauch von heute zwei Prozent auf zehn Prozent steigen. Rückenwind bekommt dieser Trend durch die sinkenden Kosten für den Sonnen-Strom: Im Zeitraum 2006 bis 2011 haben sich die Preise für fertig installierte Photovoltaik-Aufdachanlagen halbiert.

Bereits 2013 wird nach Einschätzung des Bundesverbands Solarwirtschaft (BSW) auf dem eigenen Dach erzeugter Strom günstiger sein als der Großteil der Haushaltsstromtarife vieler Energieversorgungsunternehmen. Schon 2017 – so die Einschätzung des BSW – könnten Photovoltaik-Anlagen auf Gebäuden mit einem hohen Selbstverbrauch ohne finanzielle Förderung rentabel betrieben werden. Der anhaltende **Sinkflug der Preise**, bedingt durch den technologischen Fortschritt und die Massenfertigung, fördert die Marktdurchdringung – so kommt eine Eigendynamik in Gang, denn je größer der Absatz von Solarmodulen, desto schneller wird der Solarstrom subventionslos wettbewerbsfähig.

Die Solarthermie – die Wärmeerzeugung durch Sonnenstrahlen – kann zwar nicht die enormen Wachstumsraten der Photovoltaik vorweisen; dennoch hat sich die **Solarwärme in Deutschland** beachtlich entwickelt: Zur Jahrtausendwende brachten es 350.000 Anlagen auf eine Kollektorfläche von 2,9 Millionen Quadratmetern; 2010 haben sich die Anlagenzahl auf 1,5 Millionen und die Kollektorfläche auf 14 Millionen Quadratmeter erhöht.¹⁰

Biomasse

Im Mix der regenerativen dezentralen Energieerzeuger nimmt inzwischen die Biomasse eine starke Position ein: Die Biomasse stellt über ein Drittel (33 Prozent) des gesamten Öko-Stroms in Deutschland. Insgesamt wurden 2010 aus Biomasse 33,5 Milliarden Kilowattstunden Strom produziert, etwa zehn Prozent mehr als im Vorjahr. Mit einem Anteil von 92 Prozent spielt die **Biomasse unangefochten die Hauptrolle bei der regenerativ erzeugten Wärme**. Im Mix der grünen Energiequellen zählt die Biomasse zu den regelbaren Energieträgern; diese Eigenschaft macht sie zu einer wertvollen Ergänzung der Energieerzeugung durch Sonne und Wind.

In Emlichheim in der Nähe der niederländischen Grenze entsteht das erste strohbefeuerte Heizkraftwerk Deutschlands. Mit 75.000 Tonnen Stroh pro Jahr erreicht das **Bioenergiekraftwerk Emsland**, das vom Bundesumweltministerium gefördert wird, eine Feuerungswärmeleistung von 49,8 Megawatt.¹¹ Der in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugte Strom fließt ins öffentliche Versorgungsnetz; von der Wärme profitieren zwei Abnehmer: Das Bioenergiekraftwerk Emsland wird die Emsland Group, die vor allem Kartoffelstärke und Stärkeveredelungsprodukte herstellt, mit Prozesswärme und Hochtemperaturdampf versorgen. Das bei der Stromproduktion anfallende heiße Wasser wird über eine drei Kilometer lange Leitung in ein

9 Vgl. Bundesverband Solarwirtschaft (2011b). Grundlage der Berechnung ist ein Drei-Personen-Haushalt mit einem Jahresstromverbrauch von 3.500 Kilowattstunden.

10 Vgl. Bundesverband Solarwirtschaft (2011a).

11 Vgl. Bioenergiekraftwerk Emsland (2011).

Schulzentrum gepumpt und dort für die Beheizung genutzt. Mit diesem effizienten Wärmekonzept wollen die Betreiber der Anlage einen Wirkungsgrad von bis zu 90 Prozent erreichen.

Windenergie

Windkraft spielt als regenerativer Energieträger auch jenseits von Großprojekten eine wichtige Rolle: In den letzten fünfzehn Jahren sind an vielen Orten in Deutschland sogenannte **Bürgerwindanlagen** entstanden; sie unterstreichen, dass sich der Gedanke der dezentralen Energieversorgung immer mehr durchsetzt. Bei diesem Modell investieren Gesellschafter, in der Regel aus einem Dorf oder einer Region, in eine oder mehrere Windturbine/n. Eine zweite Windkraft-Variante in der dezentralen Energieerzeugung sind Kleinwindenergieanlagen.

Während die Photovoltaik-Anlage auf dem Dach zumindest auf dem Land längst ein häufiger Anblick ist, hat die Windturbine im Garten noch Seltenheitswert. Aber künftig soll es mehr **Kleinwindenergieanlagen (KWEA)** geben, die derzeit nur einen Bruchteil der rund 21.600 Windkraftanlagen in Deutschland ausmachen. Das Spektrum dieser KWEA reicht von Anlagen mit einer Nennleistung von 1,5 Kilowatt („Mikrowindenergieanlagen“) bis zu 100 Kilowatt („Mittelwindenergieanlagen“). Bei der Windausbeute können die Davids allerdings nicht mit den Goliaths in großen Windparks an Land oder auf See mithalten, die es auf eine Nabenhöhe von 92 Metern und einem Rotordurchmesser von bis zu 126 Metern bringen: Zum einen ist die Windgeschwindigkeit bei einer Nabenhöhe von fünf bis dreißig Metern geringer, zum anderen gibt es in Bodennähe mehr Turbulenzen. Andererseits können die KWEA damit punkten, dass der dezentral produzierte Windstrom in den Selbstverbrauch des Anlagenbetreibers fließen kann. Mittelfristig versprechen die Kleinwindenergieanlagen deshalb ein großes Marktpotenzial, so die Einschätzung einer Studie, die der Bundesverband Windenergie (BWE) in Auftrag gegeben hat: Der Zubau von KWEA werde in den nächsten Jahren in Deutschland signifikant ansteigen.¹²

Mix aus regenerativen Energiesystemen

Die Mischung macht's – auf diesen plakativen Nenner lässt sich einer der wichtigsten Trends in der dezentralen Energieversorgung bringen: **Konzepte und Lösungen, bei denen unterschiedliche regenerative Energieträger zusammenspielen** und sich ideal ergänzen, sind stark im Kommen. Die Vorteile dieses Ansatzes werden besonders am Beispiel der

Plusenergiehäuser deutlich, bei denen verschiedene Komponenten für eine positive Energiebilanz sorgen. Ein Beispiel dafür ist die Hauptverwaltung der Werner & Mertz GmbH in Mainz. Durch ein ausgeklügeltes Energiekonzept deckt das Gebäude nicht nur den eigenen Strombedarf – rund 156 Megawattstunden pro Jahr –, sondern produziert darüber hinaus weitere 21 Megawattstunden pro Jahr. Das im Herbst 2010 eingeweihte Plusenergiehaus kombiniert Geothermie, Windkraft und Photovoltaik: Auf dem Dach des siebenstöckigen Gebäudes mit knapp 6.000 Quadratmetern Nutzfläche drehen sich 16 kleine Windräder, die im Jahr 123 Megawattstunden Strom produzieren können. Fast die gesamte Dachfläche von 350 Quadratmetern wird für eine Photovoltaikanlage genutzt, die 45 Megawattstunden Energie produziert. Geothermische Grundwassernutzung sorgt für die passive Kühlung des Gebäudes. Um den Heizbedarf gering zu halten, wurde die Fassade vierschichtig aufgebaut, sodass höchste Wärme-Dämmwerte erreicht werden. Das Familienunternehmen, bekannt durch die Marken „emsal“, „erdal“ und „Frosch“, investierte circa 14 Millionen Euro für das neue, emissionsneutrale Bürogebäude.¹³

Kraft-Wärme-Kopplung und Blockheizkraftwerke

Für den Ausbau der dezentralen Energieversorgung ist die Steigerung der Energieeffizienz ein entscheidender Faktor. Die besonders energieeffiziente Produktion von Strom und Wärme spielt deshalb eine wichtige Rolle, weshalb die Kraft-Wärme-Kopplung zu den wesentlichen technologischen Treibern der Dezentralisierung zählt.

Der Charme der Kraft-Wärme-Kopplung entfaltet sich besonders deutlich im Kontrast zur Stromproduktion in **konventionellen Kraftwerken**: Der Großteil der Stromerzeugung in Deutschland findet in sogenannten Kondensationskraftwerken statt, in denen Wärmeenergie über eine Dampfturbine in elektrischen Strom umgewandelt wird. Allerdings ist der **Wirkungsgrad eher bescheiden**: Nur etwa 30 bis 40 Prozent der zugeführten Primärenergie erlebt tatsächlich die Metamorphose zur Elektrizität; der überwiegende Teil des Rests – etwa 50 Prozent – ist als „Kondensationsverlust“ abzuschreiben. Bei Heizkraftwerken wird diese Abwärme genutzt, was die Energieausbeute erhöht. So versorgen Großkraftwerke häufig ein Fernwärmenetz. Allerdings bleibt auch bei diesem Konstrukt viel Energie – im wahrsten Sinn des Wortes – auf der Strecke.

¹² Vgl. Bundesverband WindEnergie e.V. (Hrsg.) (2010b), S. 14.

¹³ Vgl. Werner & Mertz GmbH (2011).

Anders bei den **dezentralen Blockheizkraftwerken (BHKW)**, die das Prinzip des Heizkraftwerks im Kleinformat umsetzen. Strom wird in unmittelbarer Nähe des Orts produziert, wo die bei der Stromerzeugung entstehende Wärme gebraucht wird. Da die thermische Energie nur kurze Wege zurücklegen muss, halten sich die Übertragungsverluste in Grenzen. Kleine Blockheizkraftwerke erreichen Wirkungsgrade von bis zu 90 Prozent und werden von Herstellern mit Verbrennungsmotor oder Stirlingmotor angeboten. Die Verbrennungsmotoren der meisten BHKW laufen mit Erdgas. Aber auch andere Brennstoffe kommen infrage, etwa Biogas, Rapsöl, Kohle, Biomasse und Abfälle.

Warmwasserspeicher machen es möglich, dass die Stromproduktion und die Nutzung der dabei entstehenden Wärme zeitlich versetzt stattfinden, etwa wenn der Strombedarf zwar hoch, der Wärmebedarf zu diesem Zeitpunkt jedoch gering ist. Ihre **Tauglichkeit als dezentraler Energiespeicher** macht die Blockheizkraftwerke beziehungsweise das ihnen zugrunde liegende Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung zu einem wichtigen Baustein bei der Integration der erneuerbaren Energien in das Stromnetz: Blockheizkraftwerke sind sehr flexibel und lassen sich schnell hochfahren beziehungsweise drosseln.

Blockheizkraftwerke gibt es in verschiedenen Größen – ihr **Leistungsspektrum** reicht von 0,8 Kilowatt bis 20 Megawatt. Anlagen mit einer Leistung zwischen zehn und 20 Megawatt werden als kleine oder mittelgroße Blockheizkraftwerke bezeichnet. Je nach Größe übernehmen sie die Wärmeversorgung von Gewerbegebieten, Krankenhäusern oder Wohnsiedlungen. Ein Beispiel für die gewerbliche Nutzung eines Blockheizkraftwerks ist die mit Biogas betriebene Anlage der Solon SE im Wissenschafts- und Technologiepark Adlershof, die 2010 zum „BHKW des Jahres“ gekürt wurde.¹⁴ Das BHKW mit einem Gesamtnutzungsgrad von 89,7 Prozent und einer Leistung von 386 Kilowatt elektrisch und 510 Kilowatt thermisch versorgt die Firmenzentrale des Photovoltaik-Unternehmens mit Wärme und Kälte, der erzeugte Strom wird ins Stromnetz eingespeist.¹⁵

Ebenfalls mit Bioerdgas wird das BHKW eines Hochhauses in Hannover betrieben. Die Anlage im Dachgeschoss versorgt die Bewohner des Gebäudes im Stadtteil Laatzen CO₂-neutral mit Wärme und Strom. Das Martin-Luther-Krankenhaus in Bochum setzt auf

die **Strom- und Wärmeerzeugung im eigenen Keller**: Das Blockheizkraftwerk mit einer Jahresleistung von über 2.800 Megawatt liefert der Klinik mit knapp 300 Betten die benötigte Energie.¹⁶

Sogenannte Mikro- oder Mini-BHKW („stromerzeugende Heizung“) haben eine Leistung von 0,8 bis zehn Kilowatt.¹⁷ Noch können diese Minis mit rund 8.000 Neuinstallationen pro Jahr allerdings nur geringe Absatzzahlen vorweisen.¹⁸ Aber die Anbieter registrieren ein **zunehmendes Interesse der Verbraucher**. Etwa zwei Drittel der Deutschen wollen unabhängiger in ihrer Energieversorgung werden – so das Ergebnis einer Umfrage des Meinungsforschungsinstituts TNS Emnid im Auftrag von Greenpeace-Energy.¹⁹

Der Öko-Energieversorger Lichtblick plant eine Vertriebsoffensive für ein „Zuhausekraftwerk“, eine stromerzeugende Gasheizung.²⁰ Bislang waren allerdings selbst die kleinsten Blockheizkraftwerke für Einfamilienhäuser überdimensioniert, aber inzwischen haben einige Hersteller diese Angebotslücke mit Mikro-Blockheizkraftwerke geschlossen. Schon heute leisten die Blockheizkraftwerke einen wichtigen Beitrag für die Energieeffizienz und den Klimaschutz in Deutschland. Für die weitere Verbreitung dieser Art der dezentralen Energieversorgung soll auch der technologische Fortschritt sorgen. Zum Beispiel will ein Projekt der EnBW Energie Baden-Württemberg AG und des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt beim Antrieb Neuland betreten: Geforscht wird an einem **„erdgasbasierten Mikroturbinen-Blockheizkraftwerk“**. Diese Technologie soll die Wirtschaftlichkeit der dezentralen Energieversorgungssysteme im Leistungsbereich bis 500 Kilowatt erhöhen. Der Turbinenantrieb emittiert weniger Schadstoffe und lässt sich besser warten als der Verbrennungsmotor.²¹

Noch in der Erprobungsphase befindet sich der Ansatz, Brennstoffzellenheizgeräte als Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen in Ein- und Mehrfamilienhäusern einzusetzen. Aus Erdgas gewinnen die Aggregate Wasserstoff, der durch eine elektrochemische Reaktion in Strom und Wärme umgesetzt wird. Bei einem hohen Wirkungsgrad punktet dieses Verfahren der dezentralen Energieerzeugung mit sehr niedrigen Emissionswerten. Im Rahmen von „Callux“ wird der Einsatz von Brennstoffzellen in der Energieversorgung von Eigenheimen erprobt. Dieser Praxistest

14 Diese Auszeichnung wird von einer Jury des Bundesverbandes Kraft-Wärme-Kopplung vergeben.

15 Vgl. Mühlstein, J. (2010).

16 Vgl. Buderus Thermotechnik GmbH (2011)

17 Vgl. Deutsche Energie-Agentur (2011c).

18 Zum Vergleich: 2009 wurden in Deutschland insgesamt über 420.000 Gas- und Öl-Brennwertkessel neu installiert; vgl. Diermann, R. (2010), S. 37.

19 Vgl. Erneuerbare Energien (2011).

20 Siehe auch Kapitel *Umweltechnik-Dienstleistungen – Neue Herausforderungen, neue Geschäftsmodelle*.

21 Vgl. EnBW (2010).

gehört zu den Leuchtturmprojekten des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP). Die Akteure dieses Modellprojekts, Laufzeit 2008 bis 2015, sind die Energieversorger EnBW, E.ON Ruhrgas, EWE, MVV Energie und VNG Verbundnetz Gas sowie die Gerätehersteller Baxi Innotech, Hexis und Vaillant. Das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW) übernimmt die Koordination.²²

Die Beteiligten wollen mit „Callux“ die **Weiterentwicklung der Brennstoffzellenheizgeräte** zu alltagstauglichen und damit marktreifen Systemen vorantreiben. Bereits über 100 Prototypen der Aggregate bewähren sich in den Heizungskellern von Eigenheimbesitzern. Die geografischen Schwerpunkte dieses Feldtests liegen im Südwesten und Nordwesten Deutschlands sowie im Großraum Berlin und im Ruhrgebiet. 2012 sollen bereits bis zu 800 Brennstoffzellengeräte in der Praxis erprobt werden, um damit der Markteinführung einen großen Schritt näher zu kommen.

Dezentrale und zentrale Energiesysteme zusammen im Netz: Nebeneinander, gegeneinander oder miteinander?

Die größte Herausforderung für die Energieversorgung der nächsten Jahrzehnte besteht darin, die dezentralen Energieerzeugungssysteme zu verknüpfen und in das Stromnetz zu integrieren. Um die **Netzstabilität** – und damit die Versorgungssicherheit – sicherzustellen, müssen Stromeinspeisung und Stromentnahme zu jedem Zeitpunkt im Gleichgewicht stehen; andernfalls droht ein Blackout. Da das Stromnetz selbst keine Energie speichern kann, muss der Ausgleich zwischen Stromerzeugung und Stromnachfrage bei sogenannten Lastspitzen oder Schwachlastzeiten durch andere Mechanismen erfolgen. Dies geschieht über die Frequenz der Wechselspannung, die mit einer geringen Toleranz bei 50 Hertz gehalten werden muss. Die Frequenz im Verbundnetz wird auf der Höchstspannungsebene und an den Kuppelstellen zu den Verteilnetzen geregelt. Bei sinkender Frequenz, also bei steigendem Verbrauch, wird die Energieerzeugung hochgefahren, indem Regelenergie zugeschaltet wird, etwa aus Pumpspeicherkraftwerken oder Gaskraftwerken. Diese Kraftwerkstypen lassen sich schnell anfahren und eignen sich deshalb besonders gut als flexible Reserve.

Wesentlich träger reagieren dagegen Kohlekraftwerke und Kernkraftwerke, deren Leistung sich aus wirtschaftlichen und technischen Gründen nicht beliebig hoch- und runterfahren lässt. Diese Kraftwerkstypen sollen vor allem die sogenannte **Grundlast** decken, die in Deutschland zwischen 35 und 40 Gigawatt liegt. Die Lastspitzen, die vor allem morgens, zur Mittagszeit und am frühen Abend auftreten, betragen bis zu 80 Gigawatt. Weil diese Grundlastkraftwerke „durchheizen“ müssen, ist es in Schwachlastzeiten und bei einer hohen Einspeisung aus regenerativen Quellen – etwa bei starkem Wind – zum Phänomen der „negativen

Strompreise“ gekommen. Das Überangebot von Strom führt zu der paradoxen Situation, dass die Stromabnehmer von den Erzeugern Geld erhalten.

Höhere Komplexität

Die Anpassung der Stromerzeugung an das Lastprofil – die Höhe des Strombedarfs im Tagesverlauf – war technisch innerhalb der zentralistischen, klar fossil dominierten Struktur relativ einfach zu bewerkstelligen. Aber die steigende Einspeisung von regenerativer Energie stellt die **Netzinfrastruktur** und das **Netzmanagement** vor Herausforderungen: Öko-Strom ist nur begrenzt regelbar, denn Sonne und Wind lassen sich nicht so einfach „zu- und wegschalten“. Zu den zentralen Problemen bei der Integration des zunehmenden Anteils der erneuerbaren Energien im Strommix zählt deshalb zum einen die **Reserveleistung**, wenn bei Flaute oder trübem Himmel die Erneuerbaren wenig Strom einspeisen. Zum anderen kann die Netzstabilität wanken, wenn Photovoltaik- und Windturbinen bei strahlendem Sonnenschein oder einer besonders steifen Brise mehr Strom einspeisen, als aktuell gebraucht wird.

Erneuerbare Energien erhöhen also zunächst die **Komplexität im Energiesystem**, weil die Stromeinspeisung von Windenergieanlagen und Photovoltaik-Anlagen fluktuieren. Das Kraftwerk Sonne ist nachts offline; die Stromausbeute der Windkraft schwankt je nach Wetterlage. Die Photovoltaik erreicht den Zenit der Einspeisung logischerweise im Sommer und in der Übergangszeit, dagegen laufen die Windräder im Winter auf Hochtouren.

22 Vgl. NOW GmbH (2011), S. 60f.

Hinzu kommt, dass die **Struktur der Übertragungs- und Verteilnetze** noch auf das Energieversorgungskonzept der Vergangenheit ausgelegt ist. Zur Illustration: Die industriellen Zentren in Deutschland und anderen Ländern sind in der Regel dort entstanden, wo es die notwendigen Energieressourcen für die Produktion gab. Die rauchenden Schloten der Stahlhütten im Ruhrgebiet sind nicht von ungefähr gleich neben den Kohlebergwerken in den Himmel gewachsen. Heute klaffen mitunter große Distanzen zwischen dem Erzeugungsort regenerativer Energien und den Lastzentren: Während die größten Mengen Windstrom im Norden und Osten Deutschlands produziert werden, befinden sich die großen Verbrauchszentren im Süden und Westen Deutschlands.

In den Verteilernetzen, ursprünglich als Einbahnstraßen für den Stromtransport „auf der letzten Meile“ zum Verbraucher gedacht, herrscht jetzt Gegenverkehr: Durch die zunehmende dezentrale Einspeisung sind **bidirektionale Lastflüsse** zu bewältigen.

Intelligente Lösungen

Diese Herausforderungen lassen sich meistern – vorausgesetzt, die Weichen für den Umbau und Ausbau der Infrastruktur werden richtig gestellt. In den nächsten Jahrzehnten liegen die entscheidenden Lösungsansätze in der Kombination aus zentraler und dezentraler Energieerzeugung. Um Stromangebot und Stromnachfrage im Netz auszubalancieren, ist ein **Lastmanagement auf der Nachfrageseite** nötig; dies wiederum gelingt nur durch die intelligente Einbindung der Energieverbraucher. Eine weitere Komponente für das Energiesystem der Zukunft ist der Ausbau von zentralen und dezentralen Speicherkapazitäten, die zum Ausgleich zwischen schwankender Stromerzeugung und Strombedarf beitragen.

Diesen Anforderungen ist nur ein **Smart Grid, ein „intelligentes Netz“**, gewachsen, das sämtliche Register der aktuell verfügbaren Informations- und Kommunikationstechnik zieht. Unter den Begriff ‚Smart Grid‘ werden alle Maßnahmen einer intelligenten Koordination und Steuerung der am Stromnetz angegliederten Komponenten gefasst. Dazu gehören im Wesentlichen die Bereiche Energiemanagement, Netzstabilisierung und Netzautomatisierung, intelligente Stromübertragung und -verteilung, Steuerung des Energieverbrauchs und Vorhalten von Speicherkapazitäten.

Smart Grid I: Speicher auf vier Rädern

Nach den Plänen der Bundesregierung werden 2020 eine Million Elektrofahrzeuge auf deutschen Straßen rollen; zehn Jahre später bereits sechs Millionen.²³ Diesen Autos ist im Stromnetz der Zukunft ein wichtiger Part zugeordnet: Als dezentrale Speicher auf vier Rädern können die Batterien der E-Fahrzeuge dazu beitragen, Schwankungen im Stromnetz auszugleichen: Wenn aufgrund der fluktuierenden Einspeisung der erneuerbaren Energien kurzfristig zu viel Strom im Netz ist, etwa bei starkem Wind oder gleißendem Sonnenschein in der Mittagszeit, können die Elektroautos dieses „Überangebot“ aufnehmen – und umgekehrt bei hoher Netzlast wieder abgeben. Diese **Pufferfunktion der Fahrzeugbatterien** setzt allerdings eine Technologie voraus, die die Kommunikation zwischen Elektroauto und Stromnetz ermöglicht. Das Geben und Nehmen der dezentralen Speicher lässt sich nur mit der entsprechenden Soft- und Hardware steuern. An solchen **Vehicle-to-Grid-Lösungen** wird bereits intensiv gearbeitet.

Natürlich sind auch Lösungen denkbar, das Elektroauto in der Garage nicht ausschließlich über das Netz mit Strom zu versorgen, sondern die Batterien mit regenerativer Energie aus dem „eigenen Kraftwerk“ aufzuladen. Diesen Ansatz erprobt derzeit ein Projekt des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) in der Praxis.²⁴

„Mein Haus – Meine Tankstelle“ – unter dieses Motto hat das BMVBS einen Wettbewerb zur **Integration von Plusenergiehaus und Elektromobilität** gestellt. Die Grundidee der „E-Moblie“: Ein nachhaltig gebautes und energieeffizientes Wohnhaus soll genug Energie aus regenerativen Quellen erzeugen, um nicht nur den Strom- und Wärmebedarf seiner Bewohner zu decken, sondern auch deren Elektro-Fahrzeugflotte aus zwei Autos und einem Roller zu versorgen.

Gewonnen hat den Wettbewerb von Hochschulen in Zusammenarbeit mit Ingenieurbüros der Entwurf, den Prof. Werner Sobek mit dem Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren (ILEK) der Universität Stuttgart eingereicht hat. Am Projekt „Effizienzhaus Plus mit Elektromobilität“ waren unter Leitung des ILEK der Lehrstuhl für Bauphysik LBP, das Institut für Gebäudeenergetik IGE und das Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement IAT beteiligt.²⁵

Das Gebäude des Stuttgarter Forscherteams ist eine **Hightech-Immobilie**, die für ein Maximum an Ener-

23 Vgl. Regierungsprogramm Elektromobilität (2011), S. 10.

24 Vgl. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2011b).

25 Vgl. Erneuerbare Energien (2010).

gieeffizienz und Wohnkomfort seiner Bewohner sorgt. Durch einen Pufferspeicher aus wiederverwertbaren Fahrzeugbatterien ist das Haus energieautark. Dieser Zukunftsentwurf des Wohnens soll nicht nur auf dem Papier zu bewundern sein, sondern „live und in Farbe“ im Berliner Stadtteil Charlottenburg in der Fasanenstraße 87. Dort wird 2012 eine vierköpfige Familie in das 130 Quadratmeter große „Effizienzhaus Plus mit Elektromobilität“ einziehen und die Alltags-tauglichkeit der „E-Mobilität“ prüfen. Diese 15-Monate-lange Testphase wird von der Fraunhofer-Gesellschaft und vom Berliner Institut für Sozialforschung wissen-schaftlich begleitet.

Smart Grid II: Intelligente Zähler

Die Zählerablesung einmal pro Jahr war bislang ein fester Brauch der Stromkunden. Smart Meter werden dieses Ritual allmählich verdrängen: Die intelligenten Zähler gehören zu den wichtigsten Komponenten des Smart Grids; sie sollen helfen, das Gleichgewicht zwischen Stromerzeugung und Last auszubalancieren; der Verbrauch soll sinken und nach Möglichkeit aus laststarken in lastschwache Zeiten verlagert werden. Dabei setzen **Smart Meter** vor allem auf der Nachfra-geseite an: Das Instrument misst Verbrauchsdaten und überträgt sie auf einen Computerbildschirm oder ein Display eines Smartphones. Die schlaun Zähler können nicht nur die aggregierten Daten eines Haushalts erfassen, sondern sogar feststellen, wie viel Strom der Kühlschrank, der Fernseher oder die Es-pressomaschine schluckt. „Stromfresser“ haben keine Chance, unentdeckt zu bleiben. Als kommunikatives Bindeglied zwischen Stromverbraucher und -anbieter meldet der Smart Meter die Verbrauchsdaten in kurzen Zeitintervallen an das Energieversorgungs-unternehmen. Von ihm erhält der **intelligente Zähler** die Informationen über zeit- und lastvariable Tarife. Dank dieser Datenübertragung können Hightech-Smart Meter eben nicht nur dokumentieren, sondern auch steuern: Beispielsweise indem sie das günstigste Zeitintervall ermitteln, um Waschmaschine oder Ge-schirrspüler zu starten.

Das Startkommando gibt der Smart Meter dann idealerweise selbst. Damit die Haushaltsgeräte diesen Befehl auch „hören“, brauchen sie eine Steuerung, die mit dem Smart Meter kommunizieren kann. Erst in diesem Dialog sind die intelligenten Zähler in der Lage, tatsächlich **Lastmanagement auf der Nach-frageseite** zu betreiben. Die Hersteller von Weißer Ware sind dabei, entsprechende Haushaltsgeräte zu konzipieren. Miele hat dafür das Label „SG Ready“ – reif für's Smart Grid – entwickelt. Waschmaschine, Wäschetrockner und Geschirrspüler legen dann los,

wenn der Strom am günstigsten ist. Das Startkomman-do erhalten die schlaun Haushaltshelfer über den „Miele@home-Gateway“, der wiederum mit einem Router verbunden ist. Auf den Gateway fließen die Ta-rifoptionen des Stromanbieters entweder in Echtzeit oder werden dort gespeichert.²⁶

Auf der IFA im September 2011 präsentierte das Unter-nehmen aus Gütersloh einen neuen Typ der SG Ready Technologie: Haushaltsgeräte, die automatisch dann starten, wenn die Solarmodule auf dem Dach genug Strom liefern. Dazu ist ein sogenannter **Energiemana-ger als Schnittstelle zwischen Photovoltaik-Anlage und Haushaltsgeräten** nötig. Dieser Energiemana-ger fungiert via Internet-Verbindung als Hightech-Wetterfrosch, der den Sonnenschein und damit die zu erwartende Leistung der Solarzellen vorhersagt. Als virtueller Ansprechpartner auf der Geräteseite teilt der Miele-Gateway dem Energiemanager mit, welche Geräte mit welchen Programmen gerade startklar sind. Die Oberhoheit über die Geräte behält natürlich der Nutzer: Er legt fest, wann welche Funktion beendet sein muss. Lautet sein Befehl, dass der Geschirrspüler bis 19 Uhr durchgelaufen sein soll, wird der Energiemanager diese Order auch bei dunklen Regenwolken ausführen: Falls der Solarstrom für diesen Job nicht ausreicht, schaltet er um auf Netzbetrieb.

Das eben beschriebene Zusammenspiel von Weißer Ware, Steuereinheit und Energieerzeugung in einem Haushalt macht deutlich, wie ein sogenanntes Smart Micro Grid funktioniert. Dieses intelligente **Mikro-Stromnetz** kann nicht nur ein Einfamilienhaus umfas-sen, sondern auch eine Schule, ein Büro- oder Fabrik-gebäude oder ein ganzes Dorf. Es bietet sowohl die Möglichkeit des Inselbetriebs als auch einer nahtlosen und synchronisierten Anbindung in das (übergeord-nete) Versorgungsnetz.

Seit Anfang 2010 ist die Installation der intelligenten Zähler in Neubauten und bei Totalsanierungen vor-geschrieben. Der flächendeckende Ersatz der rund 42 Millionen Stromzähler in Deutschland durch smarte Nachfolgegeräte ist jedoch noch in weiter Ferne. Aber es gibt zahlreiche Projekte, in denen die intelligenten Zähler erprobt und ihre Effekte ausgewertet werden. Dazu gehört das E.ON 10000-Smart-Meter-Programm. Während der Laufzeit von 18 Monaten ist der Ener-gieverbrauch der teilnehmenden Haushalte um bis zu zehn Prozent gesunken.²⁷

An dem Projekt „Intelliekon – Nachhaltiger Energie-konsum von Haushalten durch intelligente Zähler-, Kommunikations- und Tarifsyste-me“ haben 2.000

²⁶ Vgl. smartmeter (2011).

²⁷ Vgl. E.ON AG (2010).

Haushalte aus Deutschland und Österreich teilgenommen. Die Feldphase dieses Projekts, das unter anderem von den Fraunhofer-Instituten für Solare Energiesysteme (ISE) und für System- und Innovationsforschung ISI durchgeführt wurde, dauerte ebenfalls 18 Monate. Die Auswertungen haben gezeigt, dass Privathaushalte mithilfe intelligenter Zähler ihren Stromverbrauch durchschnittlich um 3,7 Prozent kappen können. Rechnet man dieses Ergebnis auf Deutschland hoch, lassen sich etwa fünf Terawattstunden Strom im Gegenwert von einer Milliarde Euro einsparen.²⁸

Smart Grid III: Virtuelle Kraftwerke

Das Ganze kann mehr sein als die Summe seiner Teile: Kleine und mittelgroße dezentrale Stromerzeuger wie Wind- und Solarparks, Wasserkraftwerke und Biogasanlagen tun sich zusammen und bilden ein – virtuelles – Kraftwerk. Der Zusammenschluss macht aus vielen kleinen einen großen Akteur, der das nötige Gewicht für den Auftritt am Strommarkt in die Waagschale werfen kann. Im Verbund können die dezentralen Erzeuger ihre Kapazitäten an der Strombörse verkaufen oder den Netzanbietern als Regelreserve anbieten. Diese **Vernetzung zum Virtuellen Kraftwerk (VK)** haben erst die Fortschritte der Informations- und Kommunikationstechnik möglich gemacht. Ausgefeilte Software für das Netzleitsystem stellt sicher, dass alle Informationen über Kapazität und Auslastung der dezentralen Erzeuger in der Leitzentrale zusammenlaufen. Dieses „Gehirn“ des Virtuellen Kraftwerks steuert die verschiedenen Einheiten. Die einzelnen Akteure eines Virtuellen Kraftwerks müssen nicht zwangsläufig aus derselben Gegend stammen. Unter dem virtuellen Dach sind auch überregionale Partnerschaften verschiedener dezentraler Erzeuger möglich.

Die **2.0-Variante der Virtuellen Kraftwerke** beschränkt sich nicht mehr auf die Steuerung und Vermarktung der Stromerzeugung. Die jüngste VK-Generation integriert auch die Verbraucherseite – und leistet damit einen wichtigen Beitrag, um Angebot und Nachfrage im Stromnetz im Gleichgewicht zu halten. Wie dieser Balanceakt in der Praxis gelingen kann, zeigt der virtuelle Kraftwerksverbund von Vattenfall in Berlin.²⁹

Im Virtuellen Kraftwerk von Vattenfall sind **Blockheizkraftwerke und Wärmepumpen als dezentrale Energieerzeuger zusammengeschlossen**. Der Verbund gleicht Schwankungen bei der Energiebereitstellung der einzelnen Akteure aus und unterstützt die Integration von Windstrom ins Netz. Das Herzstück des Virtuellen Kraftwerks ist die zentrale Leitstelle,

die über eine Funkverbindung mit Blockheizkraftwerken und Wärmepumpen kommuniziert. Die Befehle variieren je nach Windstärke: Wird bei Flaute wenig Windstrom ins Netz eingespeist, aktiviert die Leitzentrale die Gebäude mit Blockheizkraftwerken (BHKW), die Strom und Wärme produzieren können. Der Strom kann ins Netz eingespeist werden, während die Wärme im Wärmespeicher geparkt werden kann. Auf diese Weise wird die fehlende Windenergie kompensiert. Treibt dagegen eine steife Brise die Rotorblätter der Windanlagen zu Höchstleistungen, funkt die Kommandozentrale des Virtuellen Kraftwerks die Wärmepumpen an. Sie nutzen die Windstrom-Überproduktion zur Erzeugung von Wärme, die für die Heizung und die Warmwasser-Versorgung verwendet wird. Wärme, die nicht sofort gebraucht wird, wird einstweilen im Wärmespeicher deponiert. Betreiber Vattenfall plant, im Lauf des Jahres 2012 rund 100.000 Wohnheiten an das Virtuelle Kraftwerk anzuschließen.

Smart Grid XXL: Super Grid

Selbst wenn in den nächsten Jahrzehnten die Dezentralisierung voranschreiten wird: Auch ein Energiesystem, das sich überwiegend aus erneuerbaren Quellen speist, wird nicht ohne zentrale Elemente auskommen. Insofern besteht trotz Dezentralisierung **Bedarf am weiteren Ausbau des Übertragungsnetzes**. Der ist allerdings nicht allein der Steigerung des Ökostrom-Anteils geschuldet. Auch die Zielvorgabe, einen gemeinsamen europäischen Strombinnenmarkt zu schaffen, verlangt nach neuen Höchstspannungsleitungen und Investitionen in grenzüberschreitende Infrastruktur.

Dem Ausbau der erneuerbaren Energie kommt eine Verbesserung des europäischen Stromnetzes ebenfalls zugute. Ein solches „Super Grid“ könnte bei der fluktuierenden Einspeisung entstehende regionale Engpässe oder Überschüsse besser abfedern. Hinzu kommt, dass regionale Energieerzeugungssysteme durch Großprojekte wie Offshore-Windanlagen oder solare Kraftwerke ergänzt werden müssen. Der Strom von den Windparks auf See lässt sich nur über entsprechend **leistungsstarke Trassen** in die Verbrauchszentren im Binnenland leiten. Auch in Süd-Nord-Richtung bedarf es ausreichender Übertragungskapazitäten, um die in Südeuropa reichlich vorhandene Sonnenenergie zu transportieren. Das Projekt „Desertec“, bei dem bis zum Jahr 2050 solarthermische Kraftwerke in den Wüsten Nordafrikas ein Viertel des europäischen Strombedarfs decken sollen, lässt sich nur realisieren, wenn eine Hochspannungs-Gleichstromübertragung die Energie verlustarm nach Europa transportiert.

28 Vgl. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (2011).

29 Vgl. Vattenfall Europe AG (2011c).

Der Aufbruch zum Energiesystem der Zukunft

Das Energiekonzept der Bundesregierung lässt keinen Zweifel daran, dass die „Energiewende“ hin zu einer dezentralen und erneuerbaren Energieerzeugung eine Herkulesaufgabe ist: „Die heutigen Energieversorgungsstrukturen müssen deshalb mittel- bis langfristig grundlegend umgebaut werden, damit wir Versorgungssicherheit, Preiswürdigkeit sowie die Klimaschutzpolitischen Ziele erreichen.“ Bis dieser Umbau abgeschlossen sein wird, befindet sich das Energiesystem in einer „Hybridphase“³⁰, in der dezentrale und zentrale Elemente gemeinsam die Energieversorgung Deutschlands sicherstellen müssen. Die **Etappe des Übergangs hin zu einem dekarbonisierten Energiesektor** konfrontiert alle Beteiligten – Energieversorger, Netzbetreiber, gewerbliche und private Energieverbraucher – mit völlig neuen Herausforderungen. Durch die Integration der dezentralen, erneuerbaren Energien steigt die Komplexität des Energiesystems. Letztendlich gibt es aber unter den Vorzeichen des Klimawandels und der Ressourcenknappheit keine Alternative zum Betreten dieses Neulands.

Auf diesem Weg gehört Deutschland zur Avantgarde; andere Staaten werden mittelfristig ebenfalls den Weg zu einer CO₂-freien beziehungsweise CO₂-armen Energieversorgung einschlagen (müssen). Dies birgt ein **großes Potenzial**: Wenn die deutschen Forschungseinrichtungen und Unternehmen zeigen, dass ein komplexes System der dezentralen und erneuerbaren Energieerzeugung, Speicherung und Verteilung funktioniert, liegt darin die große Chance für den Standort Deutschland, dieses **Know-how als gefragten Exportartikel zu vermarkten**.

30 Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie/Bundesumweltministerium (2010), S. 3.



Smart Cities

Das „Jahrtausend der Städte“ hat begonnen: ¹ 2050 werden über sechs Milliarden Menschen, etwa 70 Prozent der Weltbevölkerung, in Städten leben. Wo werden sie wohnen, arbeiten, ihre Freizeit verbringen? Was werden sie essen? Woher nehmen sie die Energie für Strom und Wärme? Mit dem **Megatrend Urbanisierung** sind drängende Fragen und zahlreiche Herausforderungen verknüpft. Es steht fest, dass die Umweltechnik und Ressourceneffizienz ein maßgeblicher Faktor ist, um künftig die **Lebensqualität in den Städten** herzustellen beziehungsweise zu erhalten. Die folgende Beschreibung des Transformationsfeldes „Smart Cities“ zeigt auf, welche konkreten Beiträge GreenTech leisten kann, um die Urbanisierung unter ökologischen und sozialen Aspekten akzeptabel zu gestalten.

Wie sich der Alltag in den Metropolen der Zukunft gestaltet, war seit jeher ein faszinierendes Thema: Architekten, Ingenieure, Philosophen, Schriftsteller und Filmemacher haben **Bilder der urbanen Zukunft** entworfen, sowohl Idylle als auch Apokalypse. New York war dabei als Projektionsfläche prädestiniert: Der

Architekt und Designer Richard Buckminster Fuller ² präsentierte 1960 das Modell des „Dome over Manhattan“. Eine durchsichtige Kuppel mit einem Durchmesser von zwei Meilen wölbte sich über Manhattan. ³ Wie ein Kokon sollte die Hülle ihre Insassen vor der feindlichen Umwelt schützen und den Energieverbrauch reduzieren: „Von drinnen wird man ungestörten Kontakt nach draußen haben. Die Sonne und der Mond werden auf die Landschaft scheinen, der Himmel wird vollständig sichtbar sein, aber die unangenehmen Auswirkungen des Klimas – Hitze, Staub, Ungeziefer, grelles Licht etc. – werden durch die Hülle moduliert, so daß im Inneren ein Garten Eden entsteht.“ ⁴

Als Garten Eden stellt sich auch der belgische Architekt Vincent Callebaut sein futuristisches Projekt „Dragonfly“ vor: Vertikale Landschaften, deren Form vom Außenskelett einer Libelle inspiriert sind, sollen als **autarke Ökosysteme** die Stadtbewohner mit erneuerbarer Energie und Nahrung versorgen. „Dragonfly“ bietet in seinen Glasflügeln Platz für Pflanzen und Tiere. ⁵ Ob sich die Zukunft des blauen Planeten unter

1 Diesen Begriff prägte der damalige UN-Generalsekretär bei der Konferenz „Urban 21“ im Juni 2000 in Berlin. Vgl. Eberl, U. (2000).

2 Richard Buckminster Fuller (1895-1983), Architekt und Universaldesigner. Erfinder der geodätischen Kuppel. Prägte den Begriff „Raumschiff Erde“. Vgl. Borries, F. (2010).

3 Vgl. Design Museum (2011).

4 Zitiert nach von Borries, F. (2010), S. 92.

5 Vgl. Allianz (2011).

den Vorzeichen von Klimawandel und Ressourcenknappheit derart idyllisch oder alptraumhaft gestaltet, wird im Wesentlichen in den Städten entschieden. Sie spielen eine ambivalente Rolle als ökonomische Kraftzentren einerseits und ökologische Risikozonen andererseits. Etwa 85 Prozent des europäischen Bruttoinlandsprodukts wird in den Städten erwirtschaftet. Weltweit sind die Städte für vier Fünftel der Treibhausgasemissionen verantwortlich – was sie zu einem wesentlichen Faktor für die weitere Entwicklung des Klimawandels macht.

Dabei sind die urbanen Zentren **Verursacher und Leidtragende der globalen Erwärmung**. Durch ihren erheblichen Anteil am globalen CO₂-Ausstoß zählen Städte zu den größten Treibhausgas-Emitenten; gleichzeitig werden ihre Bewohner massiv unter den Folgen der globalen Erwärmung wie Dürren, Überflutungen oder anderen Folgen von Extremwetterlagen zu leiden haben: „In this new urban age, the mega-cities therefore loom as giant flood and disaster traps.“⁶ Infolge des Klimawandels steigende Meeresspiegel würden Küstenstädte wie Buenos Aires, New York, Mumbai, Dhaka, Shanghai etc. bedrohen. Allerdings eröffnet die hohe Bevölkerungsdichte in Ballungsräume neue Möglichkeiten der effizienten Ressourcen-Allokation: Güter und Dienstleistungen können mit relativ geringem Aufwand und Pro-Kopf-Kosten bereitgestellt werden.

Der **Megatrend der Urbanisierung** wird vor allem von den Entwicklungen in Afrika und Asien getrieben. Bis 2050 wird sich die Einwohnerzahl Afrikas voraussichtlich auf 2,2 Milliarden verdoppelt haben. In Asien werden 2050 über fünf Milliarden Menschen leben, eine Milliarde mehr als heute. Dagegen wird Europa vermutlich 19 Millionen weniger Einwohner zählen als gegenwärtig.

Analog zur unterschiedlichen demografischen Entwicklung der Schwellen- und Entwicklungsländer einerseits und der Industriestaaten andererseits vollzieht sich **Urbanisierung unter völlig unterschiedlichen Vorzeichen**. In den Metropolen und Kommunen der hochentwickelten Länder stellen sich ganz andere Herausforderungen als in den Agglomerationen der Schwellen- und Entwicklungsländern.

Dort nimmt der Druck auf die Ökosysteme immens zu. Die ohnehin nur rudimentär vorhandene Infrastruktur kann den Ansturm der Zuzügler nicht bewältigen: Die wenigsten Stadtviertel in den Agglomerationen sind an die Wasserversorgung oder Abwasserentsorgung angeschlossen: Etwa 80 Prozent der **Abwässer**

in den Entwicklungsländern fließen unbehandelt in Flüsse oder Meere beziehungsweise versickern im Boden. Eine geregelte Abfallentsorgung ist quasi nicht existent, unregelmäßige Lagerung, **illegale Deponien** und Verbrennung unter freiem Himmel sind an der Tagesordnung. Verunreinigungen des Bodens, des Grundwassers und der Luft sind die Konsequenzen und bergen erhebliche Gesundheitsrisiken. Als weiteres Problem der Ballungszentren kommt die **Verschmutzung der Luft** durch Abgase aus Industrie und Verkehr hinzu. Insbesondere den Metropolen in den Schwellenländern droht durch den zunehmenden Motorisierungsgrad der Bevölkerung der Verkehrskollaps.

Während es in den meisten Großstädten der Schwellen- und Entwicklungsländer darum geht, eine bis dato nicht vorhandene, leistungsfähige Infrastruktur aufzubauen, sind die Herausforderungen in den Industriestaaten ganz anders gelagert: Hier geht es in erster Linie darum, die vorhandenen Infrastrukturen den **Anforderungen der Nachhaltigkeit und des Klimaschutzes** entsprechend „nachzurüsten“ und so die Arbeits- und Lebensqualität in den Ballungszentren zu erhöhen. Zum Beispiel kann in der Wasserwirtschaft selbst in hochentwickelten Ländern noch längst keine Rede von einer effizienten und nachhaltigen Allokation von Ressourcen sein; in Europa versickert etwa ein Drittel des Wassers aufgrund undichter Leitungen im Boden; in den USA gehen rund 26,5 Millionen Kubikmeter (15 Prozent der Gesamtmenge) verloren.⁷ Der zunehmende Individualverkehr bedroht vielerorts die Lebensqualität der Stadtbewohner und belastet durch Schadstoffemissionen die Umwelt. Und der Gebäudesektor zählt nach wie vor zu den größten CO₂-Emissionsquellen.

Trotz dieser ganz verschiedenen Ausgangssituationen in den unterschiedlichen Regionen der Welt versprechen **intelligente Konzepte** sowohl in Industriestaaten als auch in Schwellen- und Entwicklungsländern Lösungen für drängende Probleme – Stichwort ‚Smart City‘. Die Smartness besteht gerade darin, die Lösungen individuell auf die konkreten Gegebenheiten und Bedürfnisse der jeweiligen Stadt zuzuschneiden. Dabei besteht vor allem in den Metropolen der Schwellen- und Entwicklungsländer akuter Handlungsbedarf: Das aktuelle Wachstumsmuster dieser Agglomerationen überfordert die Ökosysteme und droht, die Lebensgrundlage der nachfolgenden Generationen zerstören. Um diese Entwicklung zu stoppen, bedarf es Lösungsansätze, die eine Entkopplung der steigenden Einwohnerzahl vom Ressourcenverbrauch ermöglichen. Das **Konzept der „Smart Cities“**, bei

6 UN-Habitat (2006).

7 Deutsche Bank Research (2010), S. 14.

dem der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) eine Schlüsselrolle als Enabler zufällt, bietet eine Option auf eine lebenswerte urbane Zukunft.

Informations- und Kommunikationstechnologie als Navigator und Steuermann im komplexen Netzwerk der Ballungsräume

Das Englisch-Wörterbuch übersetzt ‚smart‘ mit ‚schlau, clever‘ – Attribute, die man zunächst nicht unbedingt auf eine Stadt beziehen würde. Was steckt also hinter dem Begriff der ‚Smart City‘? Anhaltspunkte liefert die Definition der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (acatech): „Smarte Technologien können innovative Lösungen für aktuelle und zukünftige Herausforderungen von Städten und Kommunen in verschiedenen Lebens- und Arbeitsbereichen bieten. Aus technischer Perspektive ist eine Smart City intelligent, integriert und vernetzt.“⁸ Charakteristisch für Smart Cities ist die **Vernetzung innerhalb und zwischen den Subsystemen**, die einen urbanen Raum ausmachen, etwa Verkehr, Energieversorgung, Gebäude, Produktionsstätten, Gesundheitssystem etc. Aus diesen Bereichen lassen sich die weit gefassten Themenbereiche und Handlungsfelder einer Smart City ableiten:⁹

- Bevölkerungsentwicklung – Zuzüge und Wegzüge, Nationalitäten, Altersgruppen
- Mobilität – Verkehrsinfrastruktur, Transportmittel, Logistik
- Energie – Integration und Vernetzung unterschiedlicher Quellen der dezentralen Energieversorgung und zentralen Einspeisung
- Umwelt – Energieeffiziente und klimaschonende Lösungen
- Sicherheit – mehr Lebensqualität durch Sicherheitsgefühl der Bürger; Datenschutz und Sicherheit für Infrastruktureinrichtungen
- Kommunikation – Verbesserung von Produkten, Systemen und Dienstleistungen durch intelligente Netze
- Gesundheit – Qualitativ hochwertige Gesundheitsleistungen, Verbesserung der Prävention und Trend zu individualisierten Versorgungskonzepten
- Verwaltung – Vereinfachung der Kommunikation und Interaktion zwischen Behörden sowie Bürgern und Unternehmen durch „E-Government“
- Bildung – Vernetzung der Bildungseinrichtungen und Schaffung von Bildungsplattformen

Die Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) ist der Enabler für die Steuerung dieser einzelnen

Felder des komplexen Systems Stadt: Intelligente Technologien bilden die Grundlage für **effiziente und vernetzte Infrastrukturen**. Um mehr Smartness in den urbanen Alltag zu bringen, bedarf es einer Reihe von intelligenten Schlüsseltechnologien.¹⁰ Dazu zählen insbesondere Hochleistungsdatennetzwerke auf Basis von Breitbandtechnologie, Smart Grids für die Steuerung der Energieversorgung, Sensornetze als Voraussetzung für die Vernetzung von Geräten, eine hochskalierbare, extrem leistungsfähige IT-Infrastruktur (Stichwort „City Data Cloud“) und Systemintegration aller städtischen Infrastrukturen.

Deutschland hat nach Einschätzung der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (acatech) das Potenzial, sich bei diesen **Schlüsseltechnologien für intelligente urbane Infrastrukturen international als Leitanbieter und Leitmarkt** zu profilieren. Gerade die Kompetenzen deutscher Anbieter bei der Systemintegration seien dabei ein wichtiger Vorteil im internationalen Wettbewerb.¹¹ Zu den Orten, die den Anspruch eines Leitmarktes für Hightech im Kontext Smart City künftig einlösen sollen, zählt Bottrop (Nordrhein-Westfalen). Die Stadt im Ruhrgebiet ging als Siegerin aus einem Wettbewerb des Initiativkreises Ruhr hervor und trägt nun offiziell den Titel „InnovationCity“. Bottrop soll in einer Pilotregion innerhalb des Stadtgebietes – Innenstadt und Teile des südlichen Stadtgebietes, 67.000 Einwohner – binnen zehn Jahren zeigen, wie durch den Einsatz innovativer Technik und Projekte eine Modellstadt mit Vorbildcharakter für andere Kommunen entstehen kann. Der Fokus der InnovationCity liegt auf der Energieeffizienz und erneuerbaren Energien.

In ihrer Idealform integriert die Smart City mithilfe der genannten Schlüsseltechnologien die einzelnen Themen und Handlungsfelder zu einem Gesamtkonzept. Im realen Leben ist die ganzheitliche Verwirklichung einer solchen Vision allerdings noch nirgendwo auf dem Globus zu finden. Jedoch sind in einzelnen Handlungsfeldern Entwicklungen zu verzeichnen, die bereits die Konturen und Chancen des Smart-City-Konzepts deutlich sichtbar machen. Diese technologischen Quantensprünge sollen in diesem Kapitel vorgestellt werden. Der Schwerpunkt liegt dabei auf den Themen Smart Mobility und Smart Buildings. Diese Auswahl ist inhaltlich legitimiert, weil der Gebäudesektor und die Mobilität als große CO₂-Emittenten entscheidend für den Kampf gegen die globale Erwärmung sind. Die Treibhausgas-Reduktion in diesen Bereichen in den Griff zu bekommen, ist eine wesentliche Voraussetzung für den Klima-

8 Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (Hrsg.) (2011), S. 9.

9 Diese Auflistung erfolgt nach der Identifizierung der Handlungsfelder nach Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (2011), S. 13ff.

10 Vgl. ebenda, S. 15f.

11 Vgl. ebenda, S. 10.

schutz. Als weiteres Argument für die **Fokussierung auf Smart Mobility und Smart Buildings** lässt sich anführen, dass innerhalb dieser Segmente besonders deutlich wird, welche immens wichtige Rolle die Umwelttechnik als Querschnittsbranche in der Praxis

spielt. Der Blick in die Handlungsfelder Verkehr und Gebäude zeigt, wie die in den Leitmärkten vorgestellten „grünen“ Produkte und Verfahren dazu beitragen, Lösungen für lebenswerte und umweltverträgliche Metropolen bereitzustellen.

Smart Mobility – Flexibel, intelligent, zukunftsfähig

Um die Jahrtausendwende waren weltweit etwa 700 Millionen Pkws unterwegs; 2030 werden es voraussichtlich 1,3 Milliarden sein. Für 2050 rechnen die Verkehrsexperten mit 2,5 Milliarden Autos rund um den Globus. Dabei steht bereits heute die **Verkehrsinfrastuktur vieler Städte am Rande des Zusammenbruchs**: „100 Kilometer Stau vor Pekings Toren“ – Die Schlagzeilen im Sommer 2010 warfen ein grelles Licht auf die Verkehrssituation in der chinesischen Hauptstadt: Während der Rushhour kriechen die Autos teilweise mit einer Geschwindigkeit von sieben Stundenkilometer voran. 2010 verzeichnete Peking den Rekordwert von 700.000 Neuzulassungen, sodass die Metropole von der wachsenden Blechlawine überrollt zu werden droht. Inzwischen hat die Stadtregierung die Reißleine gezogen und die Zahl der Neuzulassungen für das Jahr 2011 auf maximal 240.000 gedeckelt. Das Los entscheidet, wer ein Nummernschild bekommt. Weitere Maßnahmen, um den Verkehrskollaps abzuwenden, sind obligatorische Ruhetage: Jedes Pekinger Auto hat einen Tag pro Woche Zwangspause; der Wochentag richtet sich nach dem Kennzeichen. Um den derzeitigen und künftigen Pekingern Autobesitzern den Umstieg auf öffentliche Verkehrsmittel zu erleichtern, investiert die Stadtregierung in den Ausbau des öffentlichen Personennahverkehrs: So wurden Ende 2010 fünf neue U-Bahnlinien eingeweiht.

Der Verkehrsinfarkt droht nicht nur Peking, sondern auch vielen anderen Metropolen rund um den Globus: Auf den vielspurigen Hauptverkehrsadern Moskaus gehören Staus und zähfließender Verkehr zum Alltag. In Sao Paulo reiht sich bisweilen Auto an Auto zu einem 300 Kilometer langen Stau.

Diese Extrembeispiele zeigen, dass der motorisierte Individualverkehr in seiner bisherigen Form alles andere als smart im Sinne von intelligent und zukunftsfähig ist. Es gilt, innerstädtische Mobilität auf **umweltverträgliche Alternativen zum Autoverkehr** auszurichten. Das Lösungswort dafür lautet „Multi-Modalität“ oder „Patchworkmobilität“: Sie gestattet den Stadtbewohnern durch die Nutzung unterschiedlicher Verkehrsmittel ein hohes Maß an Flexibilität. Möglich werden solche Konzepte durch das Zusammenspiel aus nachhaltiger Stadtplanung, Vernetzung durch Informations- und Kommunikationstechnik sowie durch neue Technologien.

In dieser Patchworkmobilität spielt der sogenannte „Umweltverbund“ der Verkehrsträger Öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV), Fahrrad und Füße eine Schlüsselrolle – mit Unterstützung der Stadtplanung. Statt wie einst die Funktionsbereiche Arbeit, Wohnen und Freizeit in unterschiedlichen Stadtquartieren zu separieren, gilt nun die Devise „kurze Wege“. Wird dieses Prinzip konsequent umgesetzt, verliert das eigene Auto als Fortbewegungsmittel an Bedeutung. Dieser Trend deutet sich in den urbanen Zentren Westeuropas bereits an, verstärkt durch steigende Spritpreise und zunehmendes Umweltbewusstsein: Das eigene Auto hat für die „Digital Natives“ den Glanz des Statusymbols eingebüßt. Bei dieser Generation herrscht eher eine **funktionale Sichtweise auf Mobilität** vor. Wenn überhaupt Auto, dann steht die Nutzung im Vordergrund, nicht das Eigentum. Aufgrund des Wertewandels stehen Attribute wie ‚innovativ‘, ‚nachhaltig‘, ‚sportlich‘ und ‚dynamisch‘ hoch im Kurs. Entsprechend verschieben sich die Präferenzen bei der Wahl der Verkehrsmittel: Elektromobilität und Radfahren machen sich bereit, die großen Autos auf der Beliebtheitsskala zu überholen.

Damit die Bereitschaft, das Mobilitätsverhalten im urbanen Alltag zu verändern, weiterhin wächst und auch andere Altersgruppen und Bevölkerungsschichten erfasst, bedarf es attraktiver Alternativen zum motorisierten Individualverkehr. Ein wesentlicher Baustein ist dabei der **öffentliche Personennahverkehr**. In einigen deutschen Städten zeigt sich, dass ein gutes Angebot der „Öffentlichen“ den Anteil des Autoverkehrs senken kann: In Berlin beispielsweise betrug der Anteil des Autos am Personenverkehrsaufkommen der Stadt 1998 38 Prozent, 2010 lag er bei 32 Prozent.

Der Ausbau und die Erweiterung der Netze ist ein wesentlicher Faktor, um die Attraktivität des ÖPNV zu erhöhen. Auch die Verzahnung mit anderen Verkehrsmitteln kann die Beliebtheit der „Öffentlichen“ steigern: **Zum Beispiel entlasten** Park-and-Ride-Konzepte die Stadtzentren vom Pendelverkehr. Um Anreize zu schaffen, das Auto stehen zu lassen und mit dem ÖPNV weiterzufahren, kommen Nachlässe auf die Parkkosten infrage, die an eine Benutzung des ÖPNV gebunden sind.

Derzeit wird an einer technologische Entwicklung gearbeitet, die Hürden für den Wechsel von Verkehrsmitteln abreißen soll: Das ((e-ticket Deutschland richtet sich insbesondere an „Gelegenheitsnutzer“ öffentlicher Verkehrsmittel und an Zielgruppen, die in unterschiedlichen Regionen „öffentlich“ unterwegs sind. Die Grundidee des ((e-ticket Deutschland ist eine leistungsbezogene Abrechnung mit einer automatischen Fahrpreisberechnung: Bei jeder Fahrt wird erfasst, welche Strecke der Kunde zurücklegt, entweder durch ein „Check-in/Check-out“-Verfahren, bei dem die Kunden beim Ein- und Aussteigen an einem Terminal ihre e-Fahrkarte zücken, oder durch eine automatische Erfassung der Kartendaten per Funk.¹² Einige Verkehrsverbünde in Deutschland, darunter die Berliner Verkehrsbetriebe, der Verkehrsverbund Berlin Brandenburg und der Verkehrsverbund Rhein-Ruhr, haben den Teilnahmevertrag am ((e-ticket bereits unterzeichnet und wollen die Weiterentwicklung dieses elektronischen Ticket-Standards vorantreiben.

Neben dem ÖPNV ist der Ausbau des Anteils umweltfreundlicher Zweiräder ein wichtiges Handlungsfeld smarterer Mobilität. Vielen Fahrgästen, die mit öffentlichen Verkehrsmitteln unterwegs sind, ist das Dilemma vertraut: Die gesamte Strecke von A nach B ist für das Fahrrad zu weit, aber der Weg von der Zielhaltestelle zum Punkt B erfordert einen langen Fußmarsch. Dieses Problem lösen innovative öffentliche **Fahrradverleihsysteme** in einem Modellversuch des Bundesverkehrsministeriums. Die Städte Mainz, Nürnberg, Saarbrücken, Dresden und Kassel, der Landkreis Ostvorpommern sowie die Metropolregionen Ruhr und Stuttgart erhalten Fördermittel von über zehn Millionen Euro, um im Zeitraum 2009 bis 2012 ein öffentliches Fahrradverleihsystem aufzubauen, das mit dem bestehenden öffentlichen Nahverkehr verknüpft ist. Die Deutsche Bahn hat den Service „Call a Bike“ aufgebaut, den nicht nur DB-Kunden nutzen können. Der Fahrradverleih der Bahn wird in sieben deutschen Großstädten und an über 50 ICE-Bahnhöfen angeboten. Kunden können sich im Internet oder per Telefon registrieren und dann spontan auf das Call-Bike steigen.

Für alle, die zwar radfahren, aber nicht allzu heftig strampeln und ins Schwitzen geraten wollen, sind „E-Bikes“ eine Alternative zum ausschließlich per Muskelkraft betriebenen Fahrrad. Ein elektrischer Nebenmotor, der am Hinterrad sitzt, sorgt für permanenten Rückenwind. Die Absatzzahlen der **E-Bikes** oder **Pedelecs** sind seit 2007 stetig gewachsen: Wurden 2007 in Deutschland erst 70.000 Stück verkauft, waren

es 2010 bereits 200.000. Der Zweirad-Industrie-Verband (ZIV) prophezeit eine rasante Marktentwicklung – bis 2018 rollen bis zu einer Million E-Bikes auf den Straßen: Dann hätte sich das Nischensegment – Anteil am deutschen Fahrradmarkt 2010 fünf Prozent – zu einem Schwergewicht im Fahrradmarkt entwickelt. In Deutschland und in den Niederlanden kommen die E-Bikes besonders gut an; die beiden Länder sind mit einem Anteil von über 50 Prozent die wichtigsten Pedelec-Märkte in Europa.¹³ Der Boom der E-Bikes hat sogar die Erwartungen der Hersteller und Händler übertroffen: Teilweise müssen Kunden mit Lieferzeiten von bis zu drei Monaten rechnen.¹⁴

Weniger Lärm, weniger Schadstoffe, keine CO₂-Emissionen während der Fahrt – mit diesen Eigenschaften können Elektroautos und Brennstoffzellenfahrzeuge gerade in den Ballungsräumen punkten, die vom wachsenden Verkehrsaufkommen heimgesucht werden. Elektroautos sind in ihrer Betriebsphase **Null-Emissionsfahrzeuge**. Mit Reichweiten, die derzeit bei Autos mit Lithium-Ionen-Akkus bei rund 120 Kilometern liegen, sind sie gerade für Stadtfahrten geeignet. Allerdings sei davor gewarnt, alternative Antriebstechnologien als Universalwaffe im Kampf gegen die Verkehrsprobleme in Ballungszentren misszuverstehen. „Smart Mobility bedeutet nicht E-Mobility, wie sie häufig verstanden wird – nämlich als elektrifizierte Fortsetzung des Individualverkehrs.“¹⁵ Gegen das in vielen Metropolen explodierende Verkehrsaufkommen vermag Elektromobilität nichts auszurichten: Auch ein emissionsfreier Stau bleibt ein Stau.

Dennoch nehmen alternative Antriebstechnologien im Kontext Smart Mobility einen wichtigen Platz ein: Die Europäische Kommission hat in ihrem „Weißbuch Fahrplan zu einem einheitlichen europäischen Verkehrsraum“ das Ziel formuliert, dass bis zum Jahr 2030 in den EU-Städten nur noch halb so viele Autos mit Verbrennungsmotor unterwegs sind wie heute. 2050 sollen Fahrzeuge mit konventionellem Antrieb aus den Städten verschwunden sein. Auch spielt das Elektroauto mittel- und langfristig einen bedeutenden Part bei der Energiewende: Die **Batterien von Elektrofahrzeugen** können in einem intelligenten Stromnetz (Smart Grid) als **mobile Energiespeicher** dienen und damit einen wichtigen Beitrag zum Aufbau einer dezentralen Energieversorgung liefern („Vehicle-to-Grid“).¹⁶

In die Flotten des ÖPNV haben alternative Antriebstechnologien bereits Einzug gehalten: Mit einem Budget von zehn Millionen Euro fördert das Bundes-

12 Vgl. VDV-Kernapplikations GmbH & Co. KG (2011).

13 Vgl. Zweirad-Industrie-Verband e.V. (2011).

14 Vgl. Velobiz (2010).

15 BITKOM (2011c), S. 13.

16 Vgl. dazu detailliert Kapitel *Dezentrale Energieversorgung*, S. 156.

umweltministerium die breite Markteinführung von Hybridbussen im öffentlichen Personennahverkehr. Mit diesen Mitteln wurden bereits 50 **Hybridbusse** in den Alltagsbetrieb von zwölf Verkehrsbetrieben in Deutschland integriert. Dabei mussten die verschiedenen Modelle der Hersteller MAN, Carrosserie Hess und Solaris harte Auflagen erfüllen: Nachzuweisen waren eine Effizienzverbesserung von mindestens 20 Prozent im Vergleich zu konventionellen Dieseldieseln, die Einhaltung strenger Lärm- und Luftschadstoffstandards sowie ein geschlossenes Partikelfiltersystem.¹⁷

Ein zentrales Element bei der Verwirklichung der Smart Mobility mithilfe der Informations- und Kommunikationstechnik ist die **Verkehrsflusssteuerung**. Ein Blick nach Israel zeigt, was intelligente Verkehrssysteme leisten können: Seit Februar 2011 gibt es auf der Autobahn 1 von Jerusalem nach Tel Aviv eine „Fast

Lane“ mit dynamischen Mautgebühren. Diese Sonderfahrspur soll die zentrale Einfahrtsstraße im Großraum Tel Aviv entlasten und Staus und stockenden Verkehr vermeiden. Hinter dem Konzept der „Fast Lane“ steckt ein intelligentes Verkehrssteuerungssystem von Siemens, das jederzeit eine Mindest-Reisegeschwindigkeit garantiert: Es erfasst in Echtzeit die Verkehrssituation im Straßennetz, die Auslastung der Autobahn und der Sonderfahrspur und ermittelt daraus die zu erwartende Nachfrage. Aus diesen Parametern berechnet ein Algorithmus dynamisch die Mautgebühr. Deren Höhe wird minutengenau angegeben und ist auf Wechselverkehrszeichen abzulesen. Die Fast-Lane-Nutzer werden über eine videobasierte Nummernschilderfassung registriert. Um die Motivation zur Bildung von Fahrgemeinschaften zu fördern, sind Autos mit mehr als drei Insassen von der Maut befreit.¹⁸

Smart Building – Intelligente Gebäude als Knotenpunkte im Energiesparnetz

Auf das Konto des Gebäudesektors gehen 41 Prozent des Primärenergieverbrauchs in Deutschland; davon entfallen 35 Prozent auf Heizen und Kühlen, der Strom schlägt mit sechs Prozent zu Buche. Diese Zahlen machen deutlich, welche Sparpotenziale in Immobilien stecken. Diese Möglichkeiten auszuschöpfen, wird mittel- und langfristig nur durch Smart Building gelingen. Dieses Konzept umfasst nicht nur bauliche Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz in Neubauten und bei Sanierung, sondern zielt insbesondere auf Effizienzeffekte durch intelligente Steuerung. Dementsprechend wird ein Smart Building als Gebäude definiert, „das einerseits mit einer Gebäudeautomation ausgestattet ist und andererseits Teil eines Smart Grid ist.“¹⁹

Einen Überblick über die Themenfelder, die in das Konzept des Smart Building eingebettet sind, gibt Abbildung 73.

Wenn Gebäude als Teil eines Smart Grids verstanden werden, müssen sie den Energiebedarf für Heizung, Klimatisierung und den Stromverbrauch selbst decken. Vielversprechende Energiequellen sind hier Erdwärme und Sonne. Hier eröffnen **Solarmodule für die Gebäudeintegration** völlig neue Gestaltungsmöglichkeiten. Dächer und Fassaden werden zu Energielieferanten – ohne Beeinträchtigung der Ästhetik

durch konventionelle Solarpaneele. Solar-Glasfassaden können Architektur bereichern und haben optisch mehr zu bieten als Beton pur. Zu diesen ästhetischen Pluspunkten kommen noch technische Qualitäten: Solar-Glasfassaden haben einen niedrigen Gesamtenergie-Durchlass und machen eine außenliegende Verschattung überflüssig.

Das Konzept, die **Gebäudehülle als Kraftwerk** zu nutzen, lässt sich nicht nur bei Neubauten, sondern auch bei Bestandsimmobilien umsetzen. Beispielsweise wurden beim Umbau einer Bundeswehrkaserne zu einem Bildungszentrum in Wolfhagen auf dem Dach der ehemaligen Panzerhalle über 7.000 teiltransparente Photovoltaik-Modulen von Schott Solar verlegt. So entstand in der nordhessischen Kleinstadt eines der größten semitransparenten Solardächer in Deutschland.

„Grüne“ Sanierung – am Beispiel Deutsche Bank Türme, Frankfurt

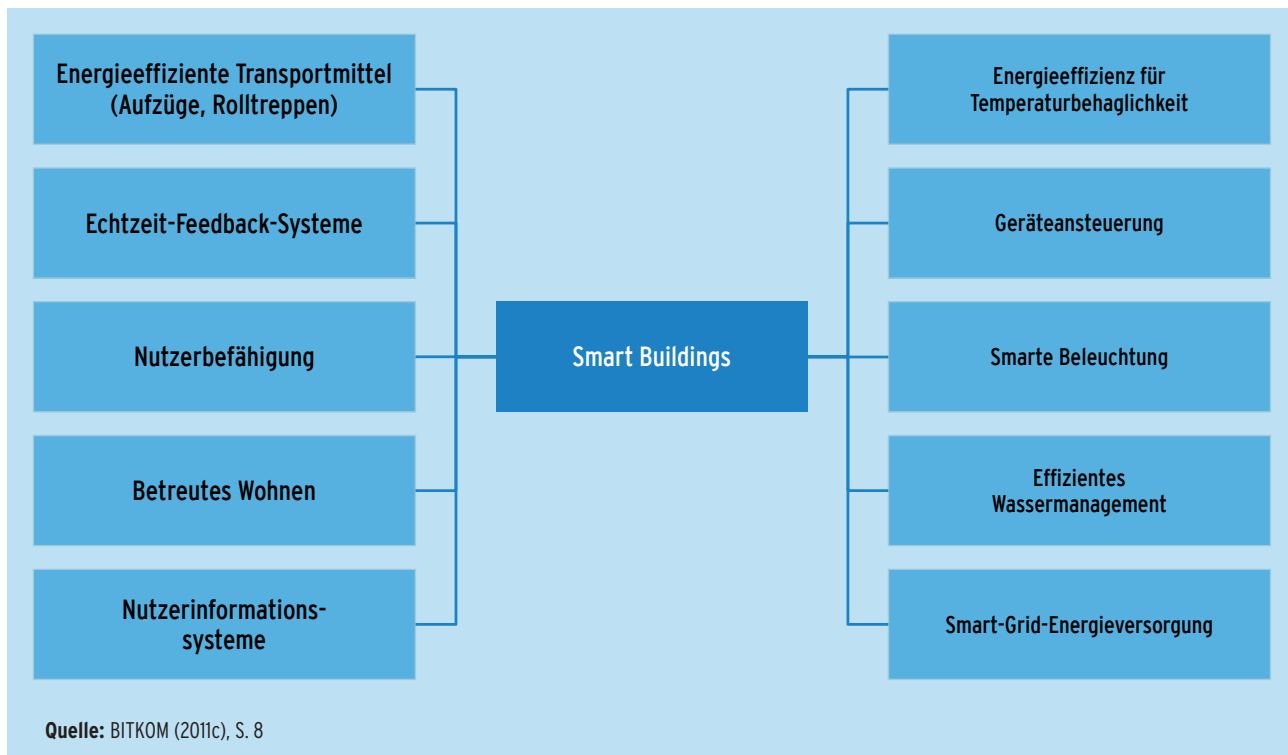
Für die Steigerung der Energieeffizienz im Gebäudesektor spielt die Sanierung von Bestandsimmobilien eine Schlüsselrolle, denn die jährlichen Neubauten entsprechen gerade mal ein Prozent der Bestandsflächen. Deren durchschnittlicher Energieverbrauch

17 Vgl. Bundesumweltministerium (2011a).

18 Vgl. Siemens AG (2011e).

19 BITKOM (2011c), S. 8.; vgl. auch folgende Definition: „Bei Smart Buildings handelt es sich um Gebäude, die unter Einsatz von durch IKT gestützten Technologien entworfen, gebaut oder betrieben werden. Ziel von Smart Buildings ist eine energetische Effizienzsteigerung in allen Stufen des Lebenszyklus von Gebäuden.“ (SMART 2020 Addendum Deutschland, S. 33).

Abbildung 73: Smart Building - Themenfelder



liegt jedoch erheblich höher als die vorgeschriebenen Neubaustandards. In vielen Fällen können Bestandsgebäude durch die **Nachrüstung mit effizienter Technik** auf Energie-Diät gesetzt werden. Ein spektakuläres Beispiel für eine erfolgreiche Sanierung ist die Metamorphose der Deutschen Bank Türme zu „Greentowers“. Dieses Projekt zeigt, dass sich die Grundsätze des nachhaltig-smarten Bauens auch bei Bestandsimmobilien verwirklichen lassen.

Die Deutsche Bank will im Rahmen ihrer Nachhaltigkeitsstrategie ihren ökologischen Fußabdruck deutlich verringern: Spätestens 2013 will das Geldinstitut seinen Betrieb klimaneutral führen. Bis dahin sollen die CO₂-Emissionen jährlich gegenüber dem Basisjahr um 20 Prozent sinken. Um dieses Ziel zu erreichen, werden vor allem die Hebel **Energieeffizienz** und die **Energieversorgung aus regenerativen Quellen** betätigt. Ein wichtiger Baustein ist die Erneuerung der Zentrale in Frankfurt am Main. Die 1984 fertiggestellten Deutsche Bank Türme waren über drei Jahre lang Schauplatz der größten Gebäudesanierung in Europa. Nach der Wiedereröffnung im Februar 2011 gehören die 155 Meter hohen Gebäude im Frankfurter Westend zu den umweltfreundlichsten Hochhäusern der Welt.

Für die architektonische Gestaltung der „Greentowers“, die bis zu 3.000 Arbeitsplätzen beherbergen,

zeichnet der Mailänder Architekt und Designer Mario Bellini verantwortlich. Sein Konzept basiert auf einem ganzheitlichen Ansatz: Energieeffizienz, Nutzerkomfort und Lebenszykluskosten werden dabei berücksichtigt.

Nach ihrer Rundumerneuerung sind die „Greentowers“ fast CO₂-neutral: Eine CO₂-Minderung von 89 Prozent pro Jahr wird durch einen niedrigeren Energiebedarf und die Nutzung erneuerbarer Energien erreicht. Der Energieverbrauch des Gebäudes ist wesentlich geringer als vor der Sanierung: Der Bedarf an Heiz- und Kühlenergie wurde um 76 Prozent gesenkt, der Stromverbrauch ist um 55 Prozent zurückgegangen. Ein neues **Wassermanagementsystem** senkt den Frischwasserverbrauch in den Türmen um über 70 Prozent durch Maßnahmen wie hausinternes Wasserrecycling und Regenwassernutzung.²⁰

Für diese Ressourcen- und Energieeffizienz wurden die „Greentowers“ mit den bestmöglichen Zertifikaten für nachhaltiges Bauen geadelt: Die sanierte Zentrale der Deutschen Bank erhielt die LEED-Platin-Zertifizierung, sozusagen das „Summa cum laude“ des U. S. Green Building Council, und DGNB Gold, die höchste Bewertungskategorie der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen.

20 Vgl. Deutsche Bank (2011).

„Grüne“ Neubauten – am Beispiel Unilever-Zentrale, Hamburg

Ein Beispiel für zeitgenössisches nachhaltiges Bauen steht in der Hamburger HafenCity, wo das Bürogebäude von Unilever mit dem Marco-Polo-Tower ein spektakuläres Ensemble bildet. Seit Sommer 2009 hat der Konsumgüterkonzern in exponierter Lage an der Elbe seine Zentrale für die deutschsprachigen Länder am Strandkai untergebracht. Das Haus bietet auf einer Bruttogeschossfläche von 25.000 Quadratmetern Arbeitsplätze für knapp 1.200 Mitarbeiter. Für den Entwurf der Unilever-Zentrale zeichnet Behnisch Architekten, Stuttgart, verantwortlich. Das Architekturbüro verwirklichte dabei konsequent die Prinzipien nachhaltigen Bauens. Lösungen für die Heizungs- und Klimatechnik wurden so gewählt, dass der Energiebedarf minimiert wird. Beispielsweise übernehmen wärmeleitfähige verstärkte Betondecken die Kühlung der Büroräume.

Auch ein speziell für das Gebäude entwickeltes Beleuchtungskonzept trägt zur Energieeffizienz bei: Das Licht für Gemeinschaftszonen und Arbeitsplätze spendet ein SMD-LED-System, das bis zu 70 Prozent weniger Energie verbraucht als konventionelle Halogenleuchten.

Zu den Highlights der Unilever-Zentrale gehört die transparente Gebäudehülle, die den Charakter der Leichtigkeit und Offenheit unterstreicht: Die polygonal gefaltete Vorhangfassade ist aber nicht nur ein ästhetischer Blickfang, sondern eine technologische Meisterleistung: Das Ingenieurbüro formTL, Radolfzell, hat für diese Folienfassade, die die dahinterliegenden Sonnenschutzlamellen vor Wind schützen soll, eine einlagige Folienbespannung konstruiert. Die dabei verwendete Kunststoffolie aus Ethylen-Tetrafluorethylen (EFTE) zeichnet sich durch niedriges Gewicht, hohe Lichtdurchlässigkeit und lange Lebensdauer aus.²¹

Das grüne Hightech-Bürogebäude am Strandkai wurde bereits mit zahlreichen Architekturpreisen bedacht: Der ästhetisch und ökologisch überzeugende Entwurf erhielt viele Auszeichnungen, unter anderem den Titel „Bestes Bürogebäude der Welt“ bei den World Architecture Awards (Barcelona, 2009), den Architekturpreis des Bunds Deutscher Architektinnen und Architekten (BDA) Hamburg für die Baujahre 2008 bis 2010 und den Schüco Green Building Award 2011.²²

Zukunft heute – Internationale Beispiele für smarte Urbanität

Die Smart City als ganzheitlich verwirklichtes Konzept ist in Reinform noch nirgends zu besichtigen. Allerdings gibt es rund um den Globus vielversprechende Ansätze, die Prinzipien intelligenter und nachhaltiger Stadtplanung in der Praxis umzusetzen. Drei dieser Orte – Changchun, Stockholm und Masdar – wurden als Ziele für die folgende Exkursion ausgewählt, die einen Blick in die urbane Zukunft ermöglicht.

Breitengrad 43.81/Längengrad 125.32: Die Stadt **Changchun im Nordosten von China** soll zu einem „Detroit des Ostens“ werden. Der Autoboom in der Volksrepublik lässt sich an der Einwohnerzahl ablesen, die sich binnen 15 Jahren verdoppelt hat und heute bei 3,4 Millionen liegt.²³ Schon kurz nach der Jahrtausendwende hat die Stadtverwaltung einen internationalen Wettbewerb für die Stadterweiterung ausgeschrieben. Sieger wurde das Büro Albert Speer & Partner (AS&P). Auf einer Fläche von 120 Quadratkilometern konzipierten die international renommierten

Architekten und Stadtplaner die Changchun International Automotive Development Area, eine Satellitenstadt für 300.000 Einwohner. Das Metaziel bei der Konzeption war ein **geringer Flächenverbrauch sowie der schonende Umgang mit Ressourcen**. Um diese Maxime zu verwirklichen, setzten die Planer auf die räumliche Nähe der Lebensbereiche Wohnen und Arbeiten sowie gut erreichbare zentrale Einrichtungen. In der Trabantenstadt sind Automobilfabriken und ihre Zulieferer angesiedelt, um die Wege zwischen Wohnung und Arbeitsplatz kurz zu halten.²⁴

Um die CO₂-Emissionen zu senken, soll der **Autoverkehr auf ein Minimum** reduziert werden. Dazu wird ein schienengebundenes Versorgungs- und Zuliefersystem beitragen, das die Fabriken, deren Lieferanten sowie die in der „Development Area“ ansässige Hochschule verknüpft. Die Anbindung der Trabantenstadt an das Zentrum von Changchun wird über eine Hochgeschwindigkeitsbahn erfolgen. Als

21 Vgl. Architekturzeitung (2011).

22 Vgl. Behnisch Architekten (2011).

23 Diese Einwohnerzahl bezieht sich auf die nicht auf die Agglomeration, sondern auf das Stadtgebiet von Changchun.

24 Vgl. Albert Speer & Partner GmbH (2011).

CO₂-Emissionshemmer sind in der Trabantenstadt viele Grünflächen eingeplant, die als „grüne Lungen“ für frische Luft sorgen sollen.

Seit 2008 werden die Pläne für die Changchun International Automotive Development Area auf diversen Baustellen umgesetzt; inzwischen wurde ein weiterer Wettbewerb für die südliche Stadtentwicklung ausgeschrieben, den AS&P – Architects Consulting (Shanghai) für sich entscheiden konnte. **Nachhaltigkeit** steht auch bei diesem zweiten Projekt in Changchun **im Vordergrund**, das Wohnort für rund 400.000 Menschen werden soll. Das Konzept von Albert Speer & Partner orientiert sich an der traditionellen chinesischen Bebauung; vorgesehen sind Quartiere mit einer Größe von 350 mal 350 Metern, in denen die Bewohner sämtliche Alltagsdinge zu Fuß erledigen können.

Breitengrad 59.32/Längengrad 18.06: Schön längst über das Planungsstadium hinaus ist der **Stockholmer Stadtteil Hammarby Sjöstad**. Dank nachhaltiger Stadtplanung hat dieses Quartier in zwei Jahrzehnten eine Metamorphose von einem mit Altlasten verseuchten Industriegebiet zum Öko-Viertel erlebt. Schon mit Beginn der Sanierung wurde das Ziel ausgegeben, die CO₂-Emissionen zu halbieren. Der Masterplan der Stadtverwaltung für die Entwicklung dieses Stadtviertels im Südosten von Stockholm setzte deshalb bei der Energie- und Wasserversorgung sowie bei der Abfallentsorgung auf geschlossene Kreislaufsysteme. Das auf 11.000 Wohnungen ausgelegte Quartier deckt einen großen Teil seines Energiebedarfs selbst und nutzt dabei vor allem **Solarenergie und Biomasse**. Aus dem Abwasser von Hammarby Sjöstad werden Heizwärme und Biogas gewonnen. Der Müll wird über unterirdische Pipelines getrennt gesammelt und wiederverwertet.²⁵

Die Stadtplaner von Schwedens Hauptstadt wollten in Hammarby Sjöstad eine **niedrige Autodichte** erreichen; der durchschnittliche Fahrzeugbestand sollte maximal bei 0,5 pro Wohneinheit liegen. Dafür musste den Bewohnern Alternativen zur Fortbewegung auf den eigenen vier Rädern geboten werden. Die Anbindung und der Ausbau des Stadtviertels an den Öffentlichen Personennahverkehr hatten deshalb einen extrem hohen Stellenwert: Zwei neue Buslinien, eine Fährverbindung, eine neue Straßenbahnlinie mit direkter Verbindung ins Stadtzentrum von Stockholm bilden die Eckpfeiler einer Patchworkmobilität, die den Verzicht auf das Auto verschmerzbar macht. Und wer trotz dieses Angebots gelegentlich ein Fahrzeug braucht, kann auf das Carsharing-System des Stadtviertels zurückgreifen: 25 Autos warten in Hammarby auf ihre temporären Fahrer.

Breitengrad 24.42/Längengrad 54.61: Etwa 17 Kilometer von Abu Dhabi, der Hauptstadt der Vereinigten Arabischen Emirate, entfernt entsteht auf sechs Quadratkilometern mitten in der Wüste der Prototyp einer nachhaltigen Stadt für 50.000 Einwohner: **Masdar City**. Für die Hightech-Enklave in der Nähe des Flughafens von Abu Dhabi gilt die Devise „Zero Emissions“ und „Zero Waste“ – der ökologische Fußabdruck soll höchstens so groß wie ein Stecknadelkopf sein, deshalb sind konventionelle Klimaanlage, Autos und die Nutzung fossiler Brennstoffe aus der Stadtplanung verbannt: Die Entwürfe des britischen Architekturbüros Norman Foster haben die Gebäude in Masdar so angeordnet, dass der Schattenwurf die Temperaturen bis zu 20 Grad Celsius niedriger hält als in der Wüste jenseits der Stadtgrenze.²⁶ Für Autos mit Verbrennungsmotor heißt es in Masdar City „Wir müssen draußen bleiben“. Zur Smart Mobility in Masdar gehören Elektrofahrzeuge, eine Hochbahn sowie Taxis und Kabinenfahrzeuge, die ihre Passagiere über ein unterirdisches Tunnelsystem zu ihrer gewünschten Destination bringen.

Das **Ziel der CO₂-Neutralität** lässt sich nur mithilfe einer ausgefeilten Gebäudetechnik verwirklichen: Siemens lieferte einen großen Teil der Gebäudetechnologie, die in einem Smart Grid in die Stromversorgung der nachhaltigen Wüstenstadt eingebunden ist. So lässt sich der Energieverbrauch jedes einzelnen Gebäudes steuern und überwachen.

Am Konzept der Energieerzeugung wird deutlich, weshalb die Stadt häufig als „Silicon Valley der regenerativen Energien“ bezeichnet wird: **Masdars Energiebedarf soll ausschließlich erneuerbar gedeckt werden**; die Hauptrolle spielen dabei solarthermische Kraftwerke, aber auch Windkraft und Geothermie kommen zum Einsatz. Das Trinkwasser für Masdar soll eine mit Solarenergie betriebene Meerentsalzungsanlage gewinnen. Um das wertvolle „blaue Gold“ nicht zu verschwenden, hat die Stadt getrennte Systeme zur Trink- und Grauwasserversorgung.

Keine Verschwendung – no waste – lautet auch das Gebot beim Umgang mit Müll, der über ein zentrales System gesammelt und recycelt wird: Biologische Abfälle werden entweder zu Dünger weiterverarbeitet oder zur Energieerzeugung verwendet. Industrieabfälle oder Metalle werden zu Sekundärrohstoffen.

Die Planungen für Masdar City begannen bereits 2006. Das Projekt, dessen Kosten auf insgesamt 22 Milliarden US-Dollar veranschlagt werden, wurde von der Regierung Abu Dhabis initiiert und vorangetrieben, um die **wirtschaftliche Diversifizierung** des Emirats zu

25 Vgl. Future Communities (2011).

26 Vgl. Industry Journal (2011).

fördern. Nach den Plänen der Projektentwickler sollen sich in Masdar 1.500 Unternehmer ansiedeln. Außerdem ist die Hightech-Stadt in der Wüste Standort einer Universität. Auf dem Campus des neu gegründeten Masdar Institute für Science and Technology werden seit 2010 Studierende ausgebildet. Auch **IRENA, die Internationale Agentur für Erneuerbare Energien**, soll ihren Hauptsitz aus Abu Dhabi City symbolträchtig nach Masdar verlegen. Allerdings wird diese Oase der Nachhaltigkeit nicht so schnell fertig, wie ursprünglich geplant. Auch die Vereinigten Arabischen Emirate blieben von den Tiefschlägen der Wirtschafts- und Finanzkrise nicht verschont, was zu einer Baisse auf dem Immobilienmarkt führte. Diese Krisenausläufer erreichten auch Masdar, dessen Fertigstellung voraussichtlich bis 2025 dauern wird.

Das Projekt Masdar City stößt nicht auf ungeteilten Beifall: Es gibt kritische Stimmen, die die Öko-Stadt in der Wüste als Prototyp einer „grünen Gated Community“ sehen – privilegierte Lebensbedingungen im Innern, Abschottung nach außen; damit wäre Masdar die Neuauflage des „Dome over Manhattan“ in der arabischen Wüste. Fakt ist, dass Idealstädte vom Reißbrett nicht die alleingültige Antwort auf die Herausforderungen der Urbanisierung sein können. Es muss unterschiedliche Lösungsansätze für die Gestaltung der urbanen Zukunft unter den Vorzeichen des Klimawandels und der Ressourcenknappheit geben, weil die Ausgangspositionen und Rahmenbedingungen der einzelnen Städte unterschiedlich sind. Allerdings existiert ein gemeinsamer Nenner für alle Optionen. Den Weg in eine nachhaltige Zukunft der Städte weisen **smarte Lösungen**: „Green Cities“ bedeutet [...] kein Zurück zur Natur, sondern ein Vorwärts zur Natur, mit Technologie und Kreativität.“²⁷

27 Prof. Dr. Hans Schellnhuber, Direktor des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK). Zitat, entnommen aus „Die Zeit“ vom 19. Mai 2011.



Umwelttechnik-Dienstleistungen - Neue Herausforderungen, neue Geschäftsmodelle

Die „grünen Services“ haben sich als Wachstumstreiber auf dem globalen Markt für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz erwiesen: ¹ Der Sektor für Umwelttechnik-Dienstleistungen hat in den Jahren 2007 bis 2010 deutlich zugelegt und seinen Anteil an den internationalen GreenTech-Märkten auf 51 Prozent gesteigert. ² In Deutschland fällt dieser Anteil mit 53 Prozent sogar noch höher aus. Das Marktvolumen der Umwelttechnik-Dienstleistungen ist hier von 123 Milliarden Euro 2008 auf 155 Milliarden Euro im Jahr 2010 gestiegen. Aufgrund dieser Dynamik sind die Umwelttechnik-Dienstleistungen ein wichtiger Impulsgeber für die einzelnen Leitmärkte der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz. Damit bieten die „grünen“ Dienstleistungen Lösungen für unterschiedliche Fragestellungen und Probleme, die sich bei der Bewältigung der Megatrends ergeben. Dieser Zusam-

menhang macht die Entwicklungen und Fortschritte im Bereich der Umwelttechnik-Dienstleistungen zu einem wichtigen Transformationsfeld auf dem Weg zur Green Economy.

Ein wesentlicher Faktor für die Expansion der **Umwelttechnik-Dienstleistungen** ist deren **Innovationskraft**. In diesem Transaktionsfeld sind neue Geschäftsmodelle entstanden, oder bereits existierende Geschäftsmodelle wurden auf die besonderen Bedürfnisse von GreenTech-Unternehmen zugeschnitten, was ebenfalls eine Form der Geschäftsmodellinnovation darstellt. Um einen systematischen Blick auf dieses breite Themenspektrum zu werfen, wird zwischen originären, industrie- und unternehmensbezogenen Dienstleistungen unterschieden.

1 Die Rolle der Umwelttechnikdienstleistungen als Innovations- und Wachstumstreiber wird ausführlich beschrieben in der Publikation Umwelttechnik-Dienstleistungen. Treiber für ökologische Modernisierung und Beschäftigung (Bundesumweltministerium, 2009d).
2 Vgl. S. 41f.

Struktur der „Green Services“

Originäre Umwelttechnik-Dienstleistungen

In diese Kategorie fallen **Dienstleistungen mit unmittelbarem Bezug zur Umwelttechnik**. Sie sind in der Umweltbranche entstanden und haben keine Entsprechung in anderen Branchen oder Industrien. Originäre Umwelttechnik-Dienstleistungen werden durch Prozess- oder Produktinnovationen oder durch eine Veränderung der Nachfrage möglich, teilweise sogar notwendig. Zu diesen Dienstleistungen zählen beispielsweise Beratungen in den verschiedenen Leitmärkten, etwa zu Fragen der Energieeffizienz, der Materialeffizienz oder zum Thema Wasserversorgung und Abwasserentsorgung, Projektentwicklung, (Energie-) Contracting oder innovative Geschäftsmodelle, zum Beispiel der Vertrieb von Ökostrom oder Ökotourismus. Das Kundenspektrum der originären Umwelttechnik-Dienstleistungen ist breit gefächert und umfasst sowohl Privatkunden, Unternehmen und öffentliche Institutionen.

Industriebezogene Umwelttechnik-Dienstleistungen

Dieser Gruppe werden **Dienstleistungen** zugeordnet, **die bestimmte Stufen der Wertschöpfung der Umwelttechnik-Industrie unterstützen**. Die Dienstleistung wird dabei entwicklungsbezogen im Vorfeld der Produktion, produktionsbezogen als direkte Dienstleistung bei der Herstellung von Umwelttechnik-Produkten sowie produktbezogen nach Fertigstellung des Endprodukts erbracht. Zwar haben die Dienstleistungen dieser Kategorie Entsprechungen in anderen Industrien, aber spezielles Know-how für das jeweilige Segment der GreenTech-Branche spielt eine wesentliche Rolle. Beispiele für industriebezogene Dienstleistungen sind die Forschung – sowohl Grundlagenforschung als auch angewandte Forschung und Entwicklung –, technische Planung, Beratung und Prü-

fung, materialwirtschaftliche Dienstleistungen (Roh-, Hilfs-, Betriebsstoffe), Vertrieb, Logistik, Handel sowie Betrieb und Wartung von technischen Anlagen.

Unternehmensbezogene Umwelttechnik-Dienstleistungen

Zu dieser Kategorie zählen **Dienstleistungen, die Produktions- und Dienstleistungsunternehmen aus der Umwelttechnik-Branche unterstützen**. Im Unterschied zu den industriebezogenen Umwelttechnik-Dienstleistungen beschränken sich unternehmensbezogene Umwelttechnik-Dienstleistungen nicht auf bestimmte Stufen der Wertschöpfungskette, sondern werden für das Gesamtunternehmen angeboten. Diese Kategorie der „grünen“ Services hat zwar eine Entsprechung in anderen Wirtschaftszweigen, jedoch sind spezielle Kenntnisse der GreenTech-Branche gefordert. Typische Beispiele für unternehmensbezogene Umwelttechnik-Dienstleistungen sind Finanzierung durch Banken und Private-Equity-beziehungsweise Venture-Capital-Gesellschaften, Versicherungsleistungen, Beratung (Strategie, Personal, IT) durch Rechtsanwaltskanzleien, Wirtschaftsprüfer, Steuerberater sowie Angebote im Bereich der betrieblichen Aus- und Weiterbildung. Für Service-Anbieter, die bislang in den „klassischen“ Branchen tätig waren, eröffnen sich in der Umwelttechnik interessante Perspektiven: Eine frühe Positionierung in diesem noch relativ jungen Bereich kann ihnen Wettbewerbsvorteile verschaffen.

Das Spektrum der Umwelttechnik-Dienstleistungen zeichnet sich nicht nur durch große Dynamik, sondern ebenso durch enorme Vielfalt aus. Ein paar Beispiele aus der breiten Palette der „Green Services“ geben **Einblicke in Geschäftsmodelle**, die sich innerhalb und im Umfeld der GreenTech-Branche entwickelt haben.

Originäre Umwelttechnik-Dienstleistungen

In den letzten Jahren haben Umweltgesetzgebung, zunehmender Kostendruck und ein Bewusstseinswandel der Abnehmer die Entstehung innovativer Geschäftsmodelle im Bereich originärer Umwelttechnik-Dienstleistungen gefördert. Auf dieser Basis haben die Anbieter originärer Umwelttechnik-Dienstleistungen enorme **Schubkräfte in Richtung eines „grünen Strukturwandels“** entfaltet: Sie haben mit ihrem

Dienstleistungsportfolio nämlich nicht nur auf eine entsprechende Nachfrage reagiert, sondern mit ihrem Angebot zusätzliche Nachfrage nach Umwelttechnik induziert. Zum Beispiel erhöhen Stromanbieter, die sich auf den Vertrieb von Ökostrom spezialisiert haben, die Marktdurchdringung von regenerativen Energien. Energieberater tragen dazu bei, dass die Nachfrage nach Effizienztechnologie zunimmt.

Handel mit CO₂-Zertifikate als Impulsgeber für neue Geschäftsmodelle

Der Handel mit Emissionsrechten ist ein Beispiel, wie als Folge von Regulierungsmaßnahmen ein neues Marktsegment entsteht: Im Juni 2005 wurde das European Union Emission Trading Scheme (EU ETS) eingeführt. Das bis heute weltweit führende grenzüberschreitende Handelssystem mit Verschmutzungsrechten funktioniert nach dem **Prinzip „Cap and Trade“** – beschränken und handeln; dieser Grundsatz wird durch die Festlegung von Emissionsobergrenzen und die Zuteilung von Zertifikaten verwirklicht: Die Energie- und Industrieanlagen, die unter das EU ETS fallen (1.630 in Deutschland; Stand 2010), erhalten durch die Zertifikate das Recht, eine bestimmte Menge CO₂ zu emittieren. Ist ihr tatsächlicher CO₂-Ausstoß geringer, können sie die nicht benötigten Zertifikate verkaufen. Überzieht ein Unternehmen jedoch sein CO₂-Guthaben, muss es zusätzliche Emissionsrechte erwerben.

Der Ankauf und Verkauf von Zertifikaten werden in Europa vor allem an der European Climate Exchange Börse in London oder an der Leipziger Energiebörse (EEX – European Energy Exchange) abgewickelt. An diesem Handelsplatz lässt die Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt) im Umweltbundesamt durch die KfW Bankengruppe wöchentliche Auktionen durchführen. Jährlich werden **rund 40 Millionen Emissionsberechtigungen** angeboten. Zwischen Januar und Juli 2011 wurden an der EEX insgesamt 26.100.000 Emissionsberechtigungen im Gesamtwert von rund 400 Millionen Euro versteigert.³ Als Referenzpreis wird in Leipzig börsentäglich der Carbox (EEX Carbon Index) ermittelt.

Auch außerhalb des regulierten EU ETS setzt der Handel mit CO₂-Zertifikaten Impulse für die Entstehung neuer Geschäftsmodelle. Unternehmen und Privatleute können durch die **freiwillige Kompensation ihrer CO₂-Emissionen** einen Beitrag zum Klimaschutz leisten. Fast alle Fluglinien bieten ihren Passagieren an, den CO₂-Ausstoß ihres Fluges zu kompensieren. Die Lufthansa kooperiert dabei mit myclimate. Wer einen freiwilligen Beitrag zum Klimaschutz leisten will, kann auf der Internet-Seite der Schweizer Non-Profit-Organisation die exakten CO₂-Emissionen seiner Flugreise berechnen. myclimate zählt zu den größten Anbietern von Kompensationsdienstleistungen; die 2002 aus einem Spinoff der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich hervorgegangene Stiftung arbeitet mit zahlreichen Unternehmen aus der Tourismusbranche und anderen Wirtschaftszweigen sowie mit öffentlichen Institutionen zusammen.

Das Prinzip der Kompensation beruht darauf, dass die an einem Ort entstandenen CO₂-Emissionen durch die Einsparung derselben CO₂-Menge andernorts ausgeglichen werden. Unternehmen oder Privatpersonen, die sich für eine freiwillige CO₂-Kompensation entscheiden, zahlen je nach Emissionsmenge einen bestimmten Geldbetrag, den myclimate.org in ausgewählte Klimaschutzprojekte investiert. Für diese Projekte, die insbesondere in Entwicklungsländern angesiedelt sind, gelten hohe Qualitätsstandards, die sich nach den Kriterien des Kyoto-Protokolls (Change Development Mechanism) richten. Die Schweizer Stiftung unterstützt nur Maßnahmen, die unmittelbar zur Minderung des Treibhausgasausstoßes beitragen. Dazu gehören erneuerbare Energien, Steigerung der Energieeffizienz und die Reduktion von Methanemissionen in Kombination mit energetischer Nutzung. Insgesamt hat myclimate im Geschäftsjahr 2010 303.000 Tonnen CO₂ kompensiert.⁴

Abwärme als Energielieferant

Bei der Energieumwandlung in Kraftwerken und bei vielen industriellen Prozessen entsteht Abwärme. Dieses vermeintliche „Abfallprodukt“ wird inzwischen als wertvolle Energiequelle für die Wärme- und Stromversorgung entdeckt. Einige Bundesländer haben inzwischen im Internet Karten veröffentlicht, in denen die Abwärmequellen verzeichnet sind. Beispielsweise enthält der Energie-Atlas Bayern ein Abwärmekataster, damit Lieferanten und Abnehmer von Abwärme besser zusammenfinden.⁵

Nicht immer lässt sich die Abwärme dort sinnvoll nutzen, wo sie erzeugt wird. Dies eröffnet Räume für **neue Geschäftsmodelle im Bereich Abwärmennutzung**. Dazu gehört das Tätigkeitsfeld eines auf Abwärme spezialisierten Maklers. Ein „Rundum-Sorglos-Paket“ bietet das **Abwärme-Contracting**. Zu den neugegründeten Unternehmen, die dieses junge und lukrative Geschäftsfeld beackern, gehört die e2-power GmbH. Die Dienstleister bieten ihren Kunden, darunter Industrie- und Gewerbebetriebe sowie Betreiber von Biogasanlagen, individuelle Lösungen für die Abwärmennutzung. Der Fokus liegt dabei auf der Stromerzeugung durch Organic-Rankine-Cycle-Technologie (ORC). Nach dem Prinzip „Alles aus einer Hand“ kümmert sich e2-power um die Konfiguration und Anschaffung der Anlage, deren Anschluss und Wartung sowie die Vertragsgestaltung zwischen Kunden und dem Energieunternehmen, das den durch Abwärme erzeugten Strom abnehmen soll.⁶

3 Vgl. Deutsche Emissionshandelsstelle im Umweltbundesamt (DEHSt) (2011).

4 Vgl. myclimate (2011).

5 Vgl. Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (2011).

6 Vgl. Cluster Umwelttechnologien.NRW (Hrsg.) (2011a).

Ebenfalls ein Geschäftsmodell zur Abwärmenutzung hat LaTherm entwickelt; allerdings verfolgt das Unternehmen aus Dortmund einen anderen Ansatz, weil es selbst mit der „Ware Abwärme“ handelt und sie zu seinen Kunden transportiert: Die LaTherm GmbH nutzt die Tatsache, dass Wärme bei thermodynamischen Phasenübergängen besonders effektiv gespeichert beziehungsweise freigegeben werden kann. Das Unternehmen hat einen Latentwärmespeicher entwickelt, der Abwärme nutzt: Als Wärmespeicher dient ein umgerüsteter Standard-Container, das Speichermedium ist Natriumacetat. Dieser Container hat eine Speichermenge von rund 2,5 Megawattstunden, etwa das Vierfache eines Wasserspeichers vergleichbarer Größe. Damit ließe sich ein Einfamilienhaus etwa drei Monate mit Heizung und Warmwasser versorgen. Die Wärmecontainer werden mittels Wärmetauschern mit Abfallwärme befüllt, zum Beispiel aus Industrie- oder Biogasanlagen. Dieses Verfahren bringt Pluspunkte in der Ökobilanz, denn so wird bereits erzeugte Wärme wiederverwertet. Die LaTherm-Container werden anschließend zu ihrem Einsatzort verfrachtet, beispielsweise Schulen, Krankenhäusern oder Wohnblocks, und an das jeweils vorhandene Heizsystem angeschlossen. Das Heizwasser der Immobilie fließt kalt in den Container ein, nimmt Wärme auf und gibt sie im Heizkreislauf des Gebäudes wieder ab.⁷

Nachhaltig mobil mithilfe des Smartphones

In den Autos, die auf Deutschlands Straßen rollen, sitzen im Durchschnitt 1,5 Menschen.⁸ Das heißt, in der Regel bleiben 2,5 Sitze leer. Diese Plätze zu füllen, wäre eine wichtige Maßnahme, um die **Ressourceneffizienz im Verkehrssektor** zu steigern – je besser die Auslastung, desto geringer der Spritverbrauch und der CO₂-Ausstoß pro Personenkilometer. Das Lösungswort hierfür heißt „Mitfahrgelegenheit“. Als die ersten Mitfahrzentralen in den Siebziger Jahren eröffneten, war das Festnetztelefon die einzige technische Unterstützung bei der professionell betriebenen Vermittlung von Mitfahrgelegenheiten. Inzwischen ist dieses

Industriebezogene Dienstleistungen

Grundsätzlich müssen industriebezogene Dienstleister nicht auf die Umwelttechnik-Branche spezialisiert sein. Es ist jedoch entlang der Wertschöpfungskette eine zunehmende Tendenz in diese Richtung zu erkennen. Beispielsweise stammt eine Vielzahl von

Geschäftsmodell dank Internet, Smartphone und GPS aus der Günstig-Nische für Studenten und Low-Budget-Reisende gekommen.

Täglich werden in Deutschland rund 32.000 Mitfahrgelegenheiten per Internet vermittelt. Im Durchschnitt nimmt ein Chauffeur etwa zwei bis drei Personen mit, die einen Anteil an den Fahrtkosten übernehmen. Vor allem **Fahrgemeinschaften von Berufspendlern** lohnen sich in mehrfacher Hinsicht: Zum einen entlasten die Beteiligten ihre Haushaltskasse, weil sie die Fahrtkosten erheblich verringern; zum anderen wird das Verkehrsaufkommen gerade zu Stoßzeiten reduziert. Es gibt inzwischen einige Internet-Portale, die Fahrer und Mitfahrer zusammenbringen. Zu den Marktführern gehört „mitfahrgelegenheit.de“ mit über 3,5 Millionen registrierten Mitgliedern. Dieses 2001 gegründete Portal kooperiert dabei auch mit anderen Mobilitätsanbietern.⁹

Die nächste Ära der Vermittlung von Mitfahrgelegenheiten hat bereits begonnen und heißt **Dynamic Ride Sharing (DRS)**. Durch mobile Anwendungen (via Smartphone, GPS-Daten) werden Mitfahrgelegenheiten spontan vermittelt, vor allem für Kurzstrecken. In New York wird das Dynamic Ride Sharing bereits dazu genutzt, um sich die Taxigebühren zu teilen.

Inzwischen fasst DRS auch in Deutschland Fuß: Im Juli 2011 ist „flinc“ gestartet. Das Motto des aus einem Studentenprojekts hervorgegangenen Startups ist Programm: „Mitfahrgelegenheit trifft Social Network“. „flinc“ ist ein internetbasiertes System, das über den PC oder ein Smartphone App in Echtzeit läuft und in ein Navigationssystem integriert ist. An der Testphase dieses Projekts nahmen zwischen April und Juli 2011 über 5.000 Nutzer teil. „flinc“ ist imstande, in Echtzeit Fahrtrouten zu analysieren und Autofahrer und potenzielle Mitfahrer automatisch zusammenzubringen. Diese Fähigkeit macht „flinc“ zu einer idealen Börse für Fahrten aller Art, egal ob spontan oder geplant, ob Lang- oder Kurzstrecke.¹⁰

privatwirtschaftlichen Entwicklungsdienstleistungsunternehmen ursprünglich aus anderen Herkunftsbranchen, etwa aus der Automobilindustrie. Der Wille zu einer **Diversifizierung im Zusammenspiel mit den Wachstumsperspektiven** der Umwelttechnik

6 Vgl. Cluster Umwelttechnologien.NRW (Hrsg.) (2011a).

7 Vgl. LaTherm GmbH (2011).

8 Vgl. infas Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH/ Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (2010), S. 13.

9 Vgl. mitfahrgelegenheit.de (2012).

10 Vgl. flinc AG (2012).

führt dazu, dass sich immer mehr Unternehmen auf diese Branche spezialisieren. Dienstleistungsunternehmen im Bereich Technische Planung und Beratung wurden beispielsweise in der Energiebranche gegründet und haben sich dann zur Umwelttechnik-Branche hin entwickelt. Heute bieten sie Dienstleistungen in verschiedenen Leitmärkten wie Nachhaltige Wasserwirtschaft oder Kreislaufwirtschaft an.

Die wichtige Rolle der industriebezogenen Dienstleistungen in allen Leitmärkten haben auch die Ergebnisse der Branchenanalyse bekräftigt. Dies ist ein weiterer Indikator für den hohen Stellenwert dieser Dienstleistungen für die Weiterentwicklung in der Umwelttechnik-Branche: Externe Dienstleister, etwa Ingenieurbüros oder Forschungsinstitute, treiben den **Innovationsprozess** voran, weil sie im Auftrag der Unternehmen hochspezialisierte Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten durchführen. Eine wichtige Rolle spielen industriebezogene Dienstleistungen bei der **Internationalisierung** der GreenTech-Branche. Es besteht eine wechselseitige Markttreiberfunktion zwischen den Herstellern von Sachgütern und den Anbietern von Dienstleistungen: Wird beispielsweise eine Müllverwertungsanlage ins Ausland verkauft, werden zur Realisierung dieses Projekts Planung, Beratung und Montagetätigkeiten vor Ort gebraucht; in der Regel werden diese an das Produkt geknüpften Dienstleistungen bei Anlagen „made in Germany“ von deutschen Fachleuten erbracht („service follows products“). Umgekehrt greifen technische Planungs- und Beratungsunternehmen, die Projekte im Ausland realisieren, häufig auf Produkte deutscher Hersteller zurück („products follows services“).

Spezialisten für Forschung und Entwicklung

Entwicklungsdienstleister unterstützen die Forschung und Entwicklung der Umwelttechnik-Produzenten, wobei das Auftragspektrum von der Grundlagenforschung bis hin zur Adaption bestehender Komponenten reicht. Die Vernetzung zwischen Entwicklungsdienstleistern und den produzierenden Umwelttechnik-Unternehmen ist ein wichtiger Hebel für die Innovationskraft der GreenTech-Branche. Die Anbieter-Landschaft für **Entwicklungsdienstleistungen** ist sehr heterogen: In diesem Markt sind sowohl universitätsnahe Forschungsinstitute als auch kleine Ingenieurbüros aktiv. Vielen von ihnen ist gemeinsam, dass sie ursprünglich aus anderen Branchen kommen, etwa aus dem Automobilbau oder der Luft- und Raumfahrt. Die steigende Nachfrage von Umwelttechnik-Produzenten sowie die Wachstumsperspekti-

ven des Wirtschaftszweiges haben den Einstieg in die GreenTech-Branche jedoch für Entwicklungsdienstleister attraktiv gemacht.

Projektentwickler als Global Player

Ein wichtiges Segment innerhalb der industriebezogenen Dienstleistungen bilden **Projektentwickler von Erneuerbaren-Energie-Anlagen**, die häufig auch die Rolle des Anlagenbetreibers übernehmen. Ein Paradebeispiel für den Erfolg dieses Geschäftsmodells ist die juwi-Gruppe. 1996 als Zwei-Mann-Betrieb gegründet, beschäftigt das Unternehmen mit Sitz in Wörrstadt inzwischen rund 1.000 Mitarbeiter und erwirtschaftet einen Umsatz von 800 Millionen Euro. Die juwi-Gruppe realisiert weltweit Projekte zur Erzeugung von Strom aus den regenerativen Quellen Sonne, Wind, Bioenergie, Wasserkraft und Geothermie. Dabei bietet das Unternehmen seinen Kunden sämtliche Dienstleistungen aus einer Hand, von der Planung über die Realisierung und Finanzierung bis zum Betrieb der Anlagen. Die Anlagen des Projektentwicklers aus Rheinland-Pfalz stehen in zahlreichen Ländern, wie einige Beispiele aus der langen Referenzliste zeigen: In Costa Rica hat die juwi-Gruppe einen der größten Windparks (49,5 Megawatt) Mittelamerikas fertiggestellt. Im US-Bundesstaat Nebraska drehen sich 40 Rotoren in einem von juwi realisierten Windpark (60 Megawatt); die Photovoltaik-Anlage auf dem Fußballstadion in Verona ist ein juwi-Projekt, ebenso der Solarpark (53 Megawatt), auf einem ehemaligen Truppenübungsplatz in Cottbus.¹¹

In Deutschland gibt es einige Ingenieurbüros, die von der Entwicklung bis zum Management die **komplette Wertschöpfungskette von Anlagen** zur Erzeugung von regenerativen Energien, zur Wasserversorgung und Abwasserentsorgung sowie zur Abfallverwertung beziehungsweise -entsorgung übernehmen. Dieses Know-how ist ein gefragter Exportartikel, sodass die deutschen Dienstleister häufig Projekte im Ausland realisieren. Zu ihnen gehört die Dorsch Gruppe, die mit rund 1.800 Mitarbeitern Planungs- und Beratungsleistungen für Kunden aus der Industrie, private Investoren und öffentliche Auftraggeber erbringt. Das Unternehmen bietet in 40 Ländern Leistungen in den Bereichen Flughäfen, Verkehr und Infrastruktur, Architektur, Wasser und Umwelt und Anlagenbau an. Umwelttechnik ist dabei ein wichtiges Segment im Portfolio, das auch im Ausland nachgefragt wird. Zum Beispiel betreut die Dorsch Gruppe Projekte im nachhaltigen Wassermanagement unter anderem in Albanien, Ägypten, den Vereinigten Arabischen Emiraten und in Jordanien.¹²

¹¹ Vgl. juwi Holding AG (2011).

¹² Vgl. Dorsch Gruppe (2011).

„Compacts“ schärfen das Anbieterprofil

Auch in der Umwelttechnik-Branche zeichnet sich deutlich der **Trend zum Produkt-Dienstleistungsverbund** ab: Auf der Basis der Stärken des industriellen Kernprodukts werden die dazu passenden Dienstleistungen entwickelt. Solche „Pakete“ aus Investitionsgütern und Services – auch als „hybride Produkte“ oder „Compacts“ bezeichnet – gewinnen an Bedeutung, weil sie die Positionierung gerade in hart umkämpften Märkten erleichtern: „Compacts“ tragen zur Differenzierung im Wettbewerb bei, festigen die Kundenbindung und lassen sich aufgrund ihrer Komplexität nur schwer von der Konkurrenz imitieren. Diese Vorteile der Güter-Dienstleistungsbündel nutzen immer mehr Umwelttechnik-Hersteller. Ein Beispiel ist die Nordex SE, Entwickler und Hersteller von Windenergieanlagen mit Stammsitz in Rostock. Nordex-Windräder drehen sich in Windparks in 34 Ländern rund um den Globus. Das Unternehmen bietet Turnkey-Projekte an. Dabei übernimmt Nordex auf Wunsch des Kunden alle Module rund um die Planung, Realisierung, Netzanschluss, Betrieb und Wartung von Windenergieanlagen.¹³

Contracting-Modelle schonen Ressourcen und das Budget

Je mehr die Bedeutung der Energieeffizienz zunimmt, desto besser die Perspektiven für das Contracting – auf diesen vereinfachten Nenner lässt sich der Zusammenhang zwischen der Notwendigkeit zum schonenden Umgang mit Ressourcen und der Entwicklung dieses Betreiber- und Finanzierungsmodells bringen. Contracting hat zwar bereits Anfang der Neunziger Jahre in Deutschland Einzug gehalten, konnte sich jedoch erst in den letzten Jahren aus der Nische herausarbeiten. Die Grundidee dieses Geschäftsmodells ist die **Optimierung von Anlagen zur Energieerzeugung und -verteilung in Gebäuden und Liegenschaften ohne Kapitaleinsatz des Eigentümers**. Für ihn schnürt der Contractor ein Paket, das die Module Planung, Finanzierung, Bau, Betrieb und Instandhaltung beinhaltet. Die Verantwortung und das wirtschaftliche Risiko für die Energiebereitstellung trägt – je nach Ausgestaltung des Vertrags – komplett oder teilweise der Contractor.¹⁴

Die vier Basis-Varianten des Contracting sind in der Norm DIN 8930 Teil 5 „Contracting“ definiert: Beim **Energieliefer-Contracting** – auch als Anlagen-

Contracting bezeichnet – bezieht der Contracting-Nehmer vom Contractor Nutzenergie in Form von Wärme, Dampf, Kälte, Strom, Druckluft oder Licht in der gewünschten Menge und Qualität. Beim **Finanzierungs-Contracting** (Anlagen-Leasing) übernimmt der Contractor in der Regel die Planung, Finanzierung und den Bau einer Anlage, während der Contracting-Nehmer für deren Betrieb verantwortlich ist. Dagegen übernimmt beim **Technischen Anlagenmanagement** (Betriebsführungs-Contracting) der Contractor die Betriebsführung einer bestehenden oder neu errichteten Anlage. Beim **Einspar-Contracting** (Performance-Contracting oder Energiespar-Contracting) verkauft der Contractor seinem Kunden nicht die Nutzenergie, sondern ein Effizienzkonzept mit einer Einspargarantie für Endenergie in Form von Strom, Gas, Heizöl, Fernwärme oder auch Wasser beziehungsweise Abwasser. Dieser Variante des Contracting liegt der Mechanismus zugrunde, dass die Senkung der Energiekosten ausreicht, um die vom Contractor vorgenommenen Investitionen in die Optimierung der Energieerzeugung und -verteilung über die Vertragslaufzeit zu refinanzieren. In der Regel belaufen sich die Einspargarantien auf 20 bis 25 Prozent der bisherigen Energiekosten. Werden die garantierten Einsparziele verfehlt, hat der Contractor finanziell das Nachsehen.

Gerade für Liegenschaften der öffentlichen Hand ist das Einspar-Contracting eine Option, trotz knapper Haushalte energetische Sanierungen durchzuführen. Als erstes Bundesministerium hat das Auswärtige Amt diesen Weg beschritten: Das Gebäude in Berlin Mitte spart dadurch etwa ein Viertel seiner Energiekosten ein – das entspricht 600.000 Euro und 1.800 Tonnen CO₂ pro Jahr. Im Rahmen des Contracting-Modells wurden im Außenministerium eine neue Kältetechnik, LED-Leuchten sowie eine Anlage zur solaren Lufterwärmung installiert.¹⁵

Der Ökostrom-Anbieter LichtBlick hat ein Konzept entwickelt, das **Contracting-Modell auch für Privathaushalte** anzuwenden: Das „ZuhauseKraftwerk“ – ein Mini-Blockheizkraftwerk (BHKW) für Ein- und Zweifamilienhäuser – wird mit Gas betrieben und erzeugt sowohl Wärme als auch Strom. Der Kunde schließt mit LichtBlick einen Wärmeliefervertrag ab; im Gegenzug übernimmt das Unternehmen die Installation, kümmert sich um den Anschluss ans Stromnetz und die Einspeisung und erledigt die Wartung. Dabei bleibt LichtBlick der Eigentümer des Mini-BHKW.¹⁶

13 Vgl. Nordex SE (2011).

14 Darstellung folgt dem Beitrag über Contracting auf den Internet-Seiten der EnergieAgentur.NRW (2011).

15 Vgl. Deutsche Energie-Agentur (2011d).

16 Vgl. LichtBlick AG (2011).

Unternehmensbezogene Dienstleistungen

Für die Umwelttechnik-Branche stehen die Weichen auf Expansionskurs: Der Großteil der GreenTech-Unternehmen wächst schnell und stetig, entsprechend wird auch deren Nachfrage nach Dienstleistungen steigen. Die Anbieter solcher unternehmensbezogenen Dienstleistungen treiben die **Professionalisierung der Umwelttechnik-Branche** voran, indem sie den Know-how-Transfer beschleunigen: Aus ihrer Tätigkeit für Klienten aus anderen Industrien sind sie mit funktionalen Themen wie Strategie, Finanzierung, Organisation, Personalmanagement, Controlling vertraut. Ihre Erfahrung aus den etablierten Wirtschaftszweigen fließt in die – noch relativ junge – GreenTech-Branche ein.

Die positive Entwicklung der unternehmensbezogenen Dienstleistungen ist jedoch nicht nur als abhängige Variable aus dem Wachstum der GreenTech-Branche zu interpretieren; aus der Innovationskraft der Anbieter resultiert eine **Eigendynamik**: Im Zuge ihrer Spezialisierung kreieren die Dienstleister neue Services und Geschäftsmodelle, indem sie Produkte aus anderen Branchen nach den besonderen Bedürfnissen der Umwelttechnik-Unternehmen modellieren.

Maßgeschneiderte Versicherungslösungen für die Umwelttechnik

So erfinden Versicherungen, die auf dem Geschäftsfeld erneuerbare Energien aktiv sind, das Rad nicht komplett neu. Sie passen ihre bestehenden Produkte an die veränderten Anforderungen an. So ist der Versicherungsschutz im Fall von Betriebsunterbrechungen an sich nichts Neues. Die Innovation besteht darin, dieses Grundmodell auf Photovoltaikanlagen privater Haushalte zu übertragen. Die Erforschung und der Ausbau bestimmter regenerativer Energieträger ließen völlig neue Versicherungslösungen entstehen. Dazu zählt die beispielsweise die **Fündigkeitsversicherung** im Bereich Geothermie, zu deren Anbietern die Konsens KG gehört. Diese Police deckt das Risiko der ersten Tiefbohrung ab: Fallen deren Ergebnisse derart schlecht aus, dass sich die Förderung unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht lohnen würde, begleicht die Versicherung die bei der Bohrung anfallenden Kosten. Auf diese Weise senkt sie die Hürden für das Investitionsrisiko der Erstbohrung.¹⁷

Als Schutz vor den Launen des Wetters hat HDI Gerling das Produkt „KLIMARISK“ entwickelt. Diese Versicherung richtet sich an Unternehmen verschiedener Branchen, die **wetterbedingte Risiken abdecken** wollen. Das Angebot des Industrierversicherers ist auch für Windparks interessant: Wird die kalkulierte Windstärke – und damit die geplante Strommenge – nicht erreicht, können sich die Betreiber der Windenergieanlagen gegen Umsatzeinbußen versichern.¹⁸

Abgesehen vom Risikoschutz für einzelne Unternehmen und Betreiber hat das Versicherungsgeschäft in der Umwelttechnik-Branche eine wichtige Funktion: Versicherungen bilden das Risiko neuer Technologien ab; auf diese Weise leisten sie einen Beitrag, um Transparenz für Investoren zu schaffen.

Finanzierung nachhaltiger Geschäftsideen

Wie alle Unternehmen müssen sich auch die Akteure der Umwelttechnik mit dem Thema Finanzierung auseinandersetzen – und zwar über den ganzen Lebenszyklus hinweg, von der Gründung über die Expansion bis zur Liquidation. Zwar hat das Interesse von Investoren an der Umwelttechnik vor dem Hintergrund der Megatrends Klimawandel und Ressourcenknappheit in den letzten Jahren zugenommen. Dennoch stellt die Finanzierung ihrer Gründungsbeziehungsweise Wachstumsphase viele Unternehmen der GreenTech-Branche immer noch vor große Herausforderungen. Grundsätzlich haben Umwelttechnik-Unternehmen die Wahl unter verschiedenen Finanzierungsarten. Es lassen sich **interne und externe Finanzierungsquellen** unterscheiden. Als interne Finanzierungsquellen zählt die Finanzierung aus Eigenmitteln der Gesellschaft oder der Gesellschafter. Externe Finanzierungsquellen lassen sich differenzieren nach Banken, Venture Capital, Private Equity, Kapitalmarkt und Fördermittel der Länder, des Bundes oder der Europäischen Union.

Die Unternehmensfinanzierung in der Umwelttechnik ist nach wie vor ein sowohl komplexes als auch heikles Thema. Die Struktur dieser Branche ist stark von kleinen und mittleren Betrieben geprägt. Gerade mittelständische Unternehmen haben jedoch tendenziell erhebliche Probleme, ihre Expansion aus eigenen finanziellen Ressourcen zu stemmen (Stichwort: „Wachsen aus eigener Kraft“). Zwar existieren für Umwelttechnik in Deutschland diverse „Förderlinien“

¹⁷ Vgl. Konsens – Versicherungsmakler KG (2011).

¹⁸ Vgl. Talanx Deutschland AG (2011).

auf Bundes- und Landesebene;¹⁹ allerdings liegt deren Akzent häufig auf der Förderung von Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten. Schwierig ist die **Finanzierung für junge Umwelttechnik-Unternehmen** vor allem in den Phasen der Markteinführung oder der weiteren Expansion. Die dafür notwendigen Mittel auf dem Kapitalmarkt zu besorgen, ist für KMU in der Regel keine Option.

Bleiben die Banken als die „klassische“ externe Geldquelle kleiner und mittlerer Unternehmen. Mit dem Gebaren dieser Anlaufstellen für die Finanzierung zeigen sich jedoch viele Umwelttechnik-Unternehmen unzufrieden – so das Ergebnis einer Branchenstudie in Sachsen. Der Tenor der befragten Unternehmen war, dass den Banken die Kompetenz fehle, die **Besonderheiten der GreenTech-Branche** zu beurteilen. Dieses Urteil klingt hart, basiert jedoch auf objektiven Ursachen: Die Risikoabschätzung bei der Kreditvergabe ist in der Umwelttechnik wesentlich komplexer als in anderen Wirtschaftszweigen, weil hier Faktoren jenseits des Horizonts der klassischen (Bank)Betriebswirtschaftslehre eine Schlüsselrolle spielen können. Ordnungspolitische Rahmenbedingungen, Fördermittel und Technologieentwicklung beeinflussen die Geschäftsaussichten von GreenTech-Unternehmen maßgeblich. Diese Gemengelage bei der Finanzierung eines Unternehmens zu berücksichtigen, erfordert ein besonderes Know-how, das nicht alle herkömmlichen Geschäftsbanken vorhalten können. Hinzu kommt, dass viele Banken die Betreuung ihrer Firmenkunden nach den konventionellen Branchen organisiert und dementsprechend die Expertise ihrer Mitarbeiter aufgebaut haben. Die Umwelttechnik als Querschnittsbranche ist in dieser Struktur jedoch schwer zu verorten.

Einen ganz anderen Ansatz hat die UmweltBank gewählt. Das in Nürnberg ansässige Geldinstitut hat seit seiner Gründung 1997 die Förderung des Umweltschutzes in der Satzung verankert. Kundeneinlagen fließen ausschließlich in Umweltprojekte; über 14.000 hat die UmweltBank inzwischen mit einem Kreditvolumen von 1,6 Milliarden Euro unterstützt. Zu den Schwerpunkten gehören ökologische Bauvorhaben und erneuerbare Energien: Das Hybridkraftwerk in Brandenburg, das aus Windkraft Wasserstoff erzeugt, wurde von der UmweltBank zwischenfinanziert. Auch zahlreiche Photovoltaik-Anlagen, Biomasse-Kraftwerke oder ein innovatives Wasserkraftwerk

konnten durch die Öko-Kredite aus Franken realisiert werden. Aufgrund ihrer langjährigen Erfahrung mit regenerativen Energien haben die UmweltBanker umfangreiches **Spezialwissen über Fördermittel** aufgebaut – so bekommen die Kreditnehmer nicht nur Kapital, sondern auch Know-how. Übrigens ist die UmweltBank mit dieser Profilierung seit Jahren auf Wachstums- und Gewinnkurs. Das Geschäftsvolumen des Geldinstituts hat 2011 erstmals die Marke von zwei Milliarden Euro überschritten.²⁰

Objektive Messlatte für Nachhaltigkeitsberichte

„Wer Nachhaltigkeitsaspekte ignoriert, vernachlässigt heute wesentliche Managementaufgaben und geht unnötige Risiken fahrlässig ein.“²¹ – Für Prof. Dr. Stefan Schaltegger, Ordinarius für Betriebswirtschaftslehre, insbesondere Nachhaltigkeitsmanagement, an der Leuphana Universität Lüneburg, besteht kein Zweifel, dass **Nachhaltigkeit ein Treiber des langfristigen Unternehmenserfolgs** ist. Gemäß dem Drei-Säulen-Modell umfasst Nachhaltigkeit neben dem Umweltschutz auch wirtschaftliche sowie soziale/gesellschaftliche Aspekte. Die drei Säulen der Nachhaltigkeit werden manchmal auch ESG-Kriterien genannt: Environmental, Social, Governance, wobei Letzteres im Management-Kontext für ‚gute Unternehmensführung‘ steht. Dieses dreidimensionale Verständnis – Ökologie, Ökonomie und Gesellschaft – liegt dem Ansatz der nachhaltigen Unternehmensführung zugrunde („Sustainable Business“). Nur durch ein Nachhaltigkeitscontrolling lässt sich ermitteln, über welche Mechanismen und in welchem Umfang ESG-Kriterien zum Unternehmenserfolg beitragen. Für die Operationalisierung von Nachhaltigkeitskriterien kommen einschlägige Kennzahlensysteme (**Key Performance Indicators – KPI**) und Richtlinien für die Nachhaltigkeitsberichterstattung (zum Beispiel der Global Reporting Initiative) infrage.²²

Das Konzept der nachhaltigen Unternehmensführung und seine Verankerung in die Strategie sowie das Controlling als Subsystem der Unternehmensführung haben sich zu einem wichtigen **Geschäftsfeld für Prüfungs- und Beratungsgesellschaften** entwickelt und längst ihren festen Platz im Leistungsportfolio erobert. Deloitte, PricewaterhouseCoopers (PwC), Ernst & Young und KPMG, die vier größten Prüfungs-

19 Beispiele sind das Umweltinnovationsprogramm des Bundesumweltministeriums oder die Förderinitiative Energiespeicher. Eine Übersicht über Fördermöglichkeiten im Bereich Umwelttechnik und Ressourceneffizienz ist auf der Internet-Seite des Bundesumweltministeriums aufgelistet (<http://www.bmu.de/foerderprogramme/aktuell/1762.php>). Einen themen- und branchenübergreifenden Überblick über die Förderprogramme des Bundes, der Länder und der Europäischen Union gibt die Förderdatenbank des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (www.foerderdatenbank.de).

20 Vgl. UmweltBank AG (2011).

21 haufe.de/controllerwissen (2010).

22 Diese Kennzahlensysteme und Richtlinien werden auf S. 143ff. detailliert dargestellt.

und Beratungsunternehmen in Deutschland, bieten eine umfassende Palette von Dienstleistungen in den Bereichen Nachhaltigkeitsberichterstattung und Klimabilanzen an. Beispielsweise hat Ernst & Young unter dem Namen „ClimateChangeandSustainabilityServices (CCaSS) die Felder „SustainabilityPerformanceReporting“, „GreenhouseGasAccounting & Reporting“ und „SustainabilityReportingAssurance“ zusammengefasst.²³ Vor allem an diesem Bereich zeigen sich die Verknüpfung beziehungsweise der Transfer der Kernkompetenzen in der Wirtschaftsprüfung auf die „grünen“ Anwendungen: Im Rahmen der „SustainabilityReportingAssurance“ lassen Unternehmen ihre Nachhaltigkeitsinformationen nach den transparenten Standards – etwa den Kriterien der Global Reporting Initiative – prüfen und beugen somit dem Verdacht des „Greenwashing“ vor.

Ausblick

Dieser Rundgang durch das innovative Feld der Umwelttechnik-Dienstleistung hat einen Eindruck von der Dynamik dieses Segments entwickelt. Aller Voraussicht nach wird sie in den nächsten Jahren anhalten und weiterhin einen wichtigen Part als Wachstumstreiber innerhalb des globalen Marktes für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz spielen: Der Wandel hin zu einer Green Economy wird ganz wesentlich von einem innovationsorientierten Wachstum getrieben. Daraus ergibt sich eine prominente Rolle der Umwelttechnik-Dienstleistungen bei diesem

PricewaterhouseCoopers hat gemeinsam mit seinem Auftraggeber Puma Neuland betreten und weltweit die erste **ökologische Gewinn- und Verlustrechnung** erarbeitet. Dieses Instrument ermöglicht dem Hersteller von Sport- und Lifestyle-Markenartikeln, die tatsächlichen Kosten für die Nutzung natürlicher Ressourcen zu erfassen und daraus Konsequenzen für die Gestaltung der Geschäftsprozesse zu ziehen. Puma dokumentiert mit dieser ökologischen Gewinn- und Verlustrechnung den Wasserverbrauch und die CO₂-Emissionen entlang der gesamten Wertschöpfungskette und drückt diesen Ressourcenverbrauch beziehungsweise den Treibhausgasausstoß in monetären Werten aus. So erhält das Unternehmen wertvolle Hinweise, wo die wirkungsvollsten Hebel zum Risikomanagement und für eine nachhaltige Transformation der Wertschöpfungsprozesse anzusetzen sind.²⁴

Prozess, denn Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten sowie andere wissensbasierte Dienstleistungen sind als Katalysatoren eines innovationsorientierten Wachstums unverzichtbar.

Nach aktuellen Schätzungen (siehe S. 42) wird der weltweite Markt für „grüne“ Dienstleistungen zwischen 2011 und 2025 jahresdurchschnittlich um 5,8 Prozent zulegen und am Ende des Prognosezeitraums ein Volumen von 2.402 Milliarden Euro erreichen.

²³ Vgl. Ernst & Young GmbH (2012).

²⁴ Vgl. PricewaterhouseCoopers (2011).





Umwelttechnik und Ressourceneffizienz in Deutschland – Die Branchenstruktur

Grundlagen der Analyse

Dieses Portrait der Umwelttechnik-Branche in Deutschland entstand auf der Basis unterschiedlicher Quellen. Den Kern der vorliegenden Analyse dieser jungen und dynamischen Industrie bildet die Auswertung der Unternehmensdatenbank, die im Auftrag des Bundesumweltministeriums für diese Publikation erstellt wurde. Sie enthält rund 2.000 Datensätze von GreenTech-Unternehmen. Darüber hinaus wurden noch weitere Datenbanken herangezogen, die Angaben und Einschätzungen von Branchen-Akteuren enthalten. Dieses Material wurde ergänzt durch zahlreiche Expertengespräche sowie durch die Auswertung von Studien und anderen Veröffentlichungen, die Roland Berger Strategy Consultants erarbeitet hat. Die auf dieser Grundlage erstellte Analyse erhebt nicht den Anspruch auf empirische Vollständigkeit oder lückenlose Abbildung der Umwelttechnik-Branche. Die folgende Darstellung vermittelt jedoch die wesentlichen Strukturdaten und die aktuellen Trends in der deutschen GreenTech-Industrie. Zunächst erfolgt die Betrachtung dieser Branche aus gesamtdeutscher Perspektive, anschließend auf Ebene der Bundesländer.

Ausgewählte Kennzahlen: Umsatz, Mitarbeiter, Profitabilität und Alter der Unternehmen

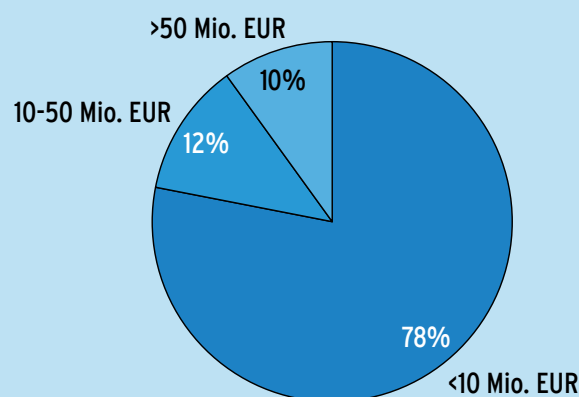
Die Ergebnisse dieser Analyse spiegeln die bereits bekannte **kleinteilige Struktur der Umwelttechnik-Branche** wider: 90 Prozent der Unternehmen erwirtschaften einen Jahresumsatz von bis zu 50 Millionen Euro (siehe Abbildung 74). Im Vergleich zu anderen Industrien liegt in der GreenTech-Branche die Relation Umsatz pro Mitarbeiter mit 90.000 Euro relativ niedrig. In der Elektrotechnik beträgt diese Kennzahl beispielsweise rund 220.000 Euro, im Fahrzeugbau circa 470.000 Euro. Der (noch) **geringe Pro-Kopf-Umsatz** in der Umwelttechnik kann als typisches **Merkmal einer jungen, sich dynamisch entwickelnden Branche** interpretiert werden: Es gibt eine Vielzahl von Neugründungen und jungen Firmen; in den frühen Phasen ihres Lebenszyklus erwirtschaften Unternehmen in der Regel jedoch geringere Umsätze als diejenigen Unternehmen, die bereits seit Jahrzehnten auf dem Markt aktiv sind.

Analog zur Verteilung der Unternehmen nach Umsatzklassen ist auch die Verteilung nach Mitarbeiterzahl ein Hinweis auf die kleinteilige Branchenstruktur der Umwelttechnik. **Etwa drei Viertel der Unternehmen beschäftigen weniger als 50 Mitarbeiter** (siehe Abbildung 75). Die GreenTech-Unternehmen erwirtschaften durchschnittlich einen Jahresumsatz von knapp 27 Millionen Euro und beschäftigten circa 300 Mitarbeiter.

Diese Kennzahlen der Branchenstruktur sind ein klarer Indikator für die mittelständische Prägung der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz in Deutschland.

In allen sechs Leitmärkten spielen kleine und mittlere Unternehmen ¹ (KMU) eine wesentliche Rolle (siehe Abbildung 76). Mit 96 Prozent weist die Kreislaufwirtschaft den höchsten KMU-Durchdringungsgrad auf. Erklärungsansätze dafür sind der relativ geringe Internationalisierungsgrad dieses Leitmarktes sowie der hohe Anteil der Abfallwirtschaft; hier stellen technologiearme Dienstleistungen einen erheblichen Teil des Leistungsportfolios. Auch der Leitmarkt Nachhaltige Wasserwirtschaft wird in Deutschland von kleinen und mittleren Unternehmen dominiert: Der Durchdringungsgrad von 96 Prozent ist zum einen auf zahlreiche Dienstleistungs- und Handelsunternehmen zurückzuführen. Zum anderen sind unter den deutschen Technologie-Unternehmen im Leitmarkt Nachhaltige Wasserwirtschaft viele Unternehmen, die hochdifferenzierte Lösungen für spezifische Problemstellungen anbieten. Dieses Segment können kleine und mittlere Unternehmen optimal bedienen. Den geringsten KMU-Durchdringungsgrad weist mit 81 Prozent der Leitmarkt Nachhaltige Mobilität auf. Im Umkehrschluss weist dies auf eine stärkere Bedeutung von Großunternehmen hin, die aus den besonderen Anforderungen dieses Leitmarktes resultiert: Die Entwicklung nachhaltiger Mobilitätskonzepte hat sich zu einem wichtigen Geschäftsfeld der Automobilkonzerne und deren Zulieferer entwickelt. Hinzu kommt, dass im Bereich Forschung und Entwicklung Investitionen in erheblicher Größenordnung erforderlich sind, was die finanziellen – und personellen – Ressourcen kleiner und mittelständischer Unternehmen häufig überfordert.

Abbildung 74: Verteilung der Unternehmen nach Umsatzgröße (Anteil der Nennungen in Prozent)



Quelle: Roland Berger

¹ Als kleine und mittlere Unternehmen (KMU) werden Firmen mit einem Jahresumsatz von weniger als 50 Millionen Euro bezeichnet.

Abbildung 75: Verteilung der Unternehmen nach Mitarbeiterzahl (Anteil der Nennungen in Prozent)

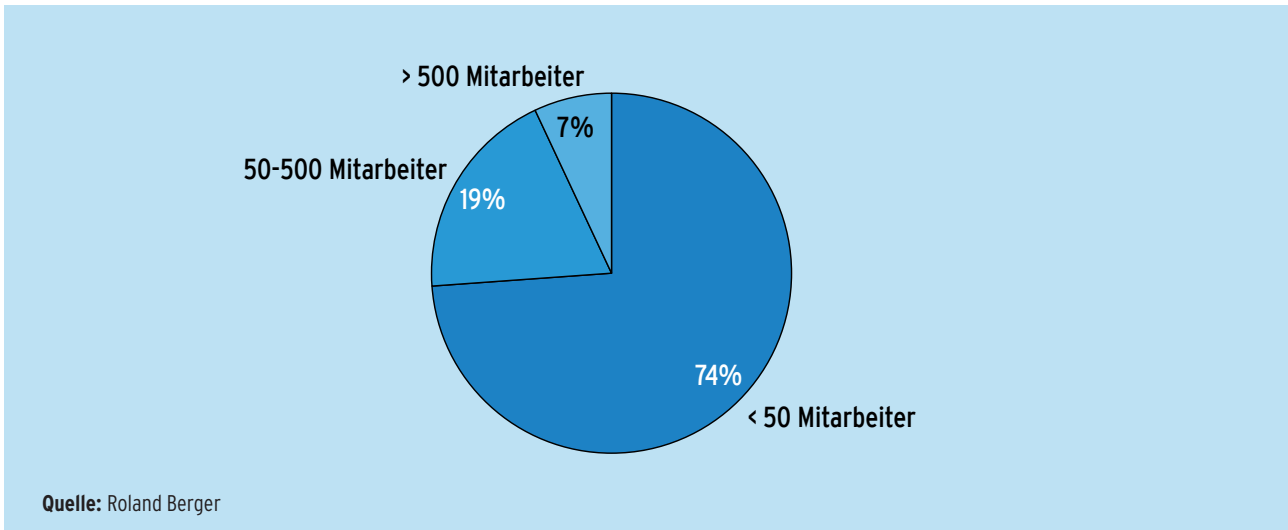
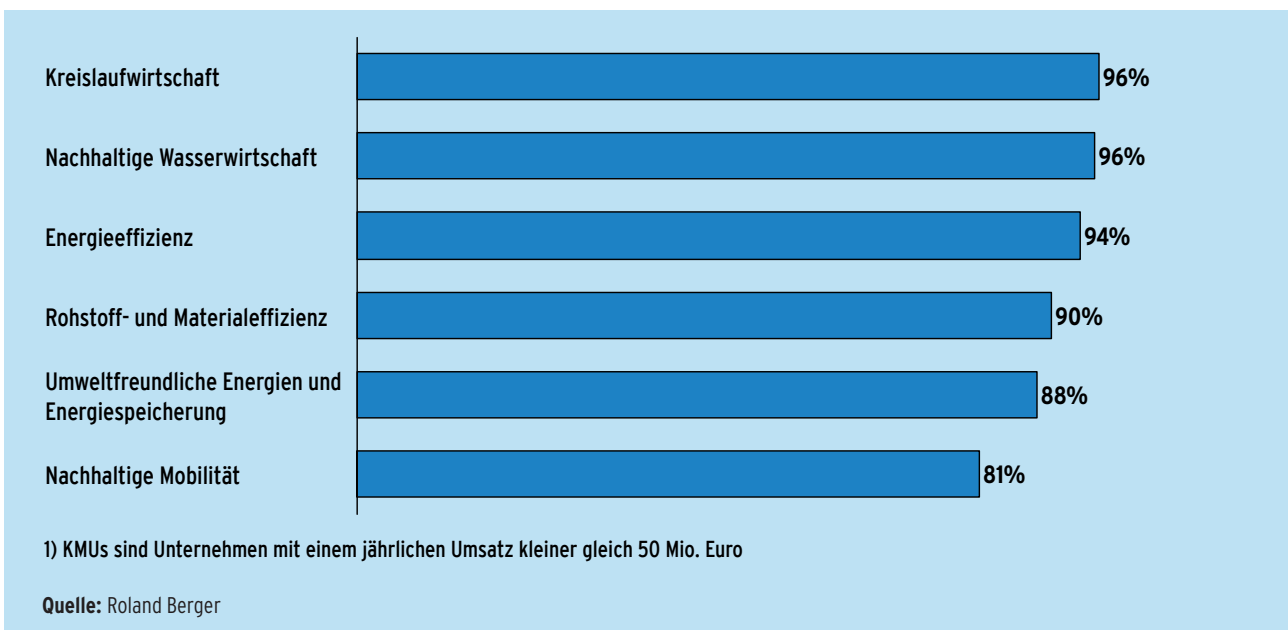


Abbildung 76: Anteil kleinerer und mittlerer Unternehmen an den sechs Leitmärkten der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz

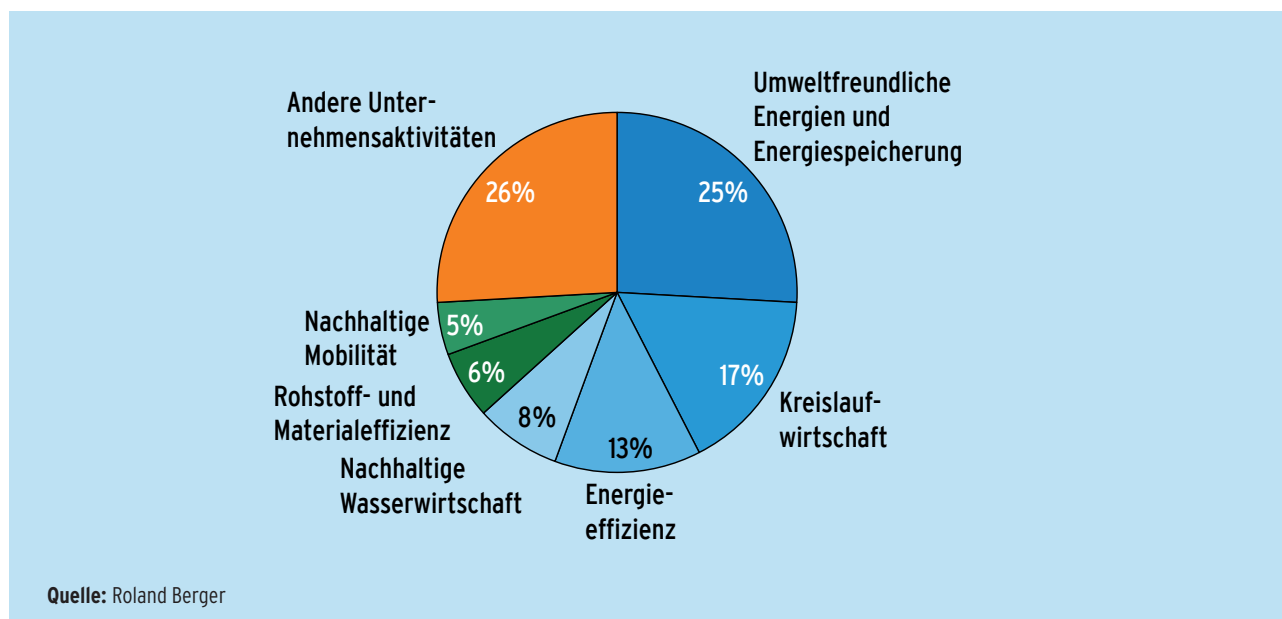


Betrachtet man die Verteilung der Wertschöpfung auf die sechs Leitmärkte der Umwelttechnologie, erweist sich **Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung** mit einem Anteil von **26 Prozent** als der umsatzstärkste Leitmarkt (siehe Abbildung 77). Dies spiegelt den hohen Stellenwert der erneuerbaren Energien in Deutschland und deren große Bedeutung in der Unternehmenslandschaft der Umwelttechnik-Branche wider. Auf die Rohstoff- und Materialeffizienz entfällt ein Umsatzanteil von sechs Prozent. Dabei bietet gerade dieses Segment vor dem Hintergrund des Megatrends Ressourcenknappheit vielversprechende Perspektiven: Das globale Marktpotenzial für die Rohstoff- und Materialeffizienz wird sich bis 2025 mit einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 7,6 Prozent entwickeln.

Wie Abbildung 77 zeigt, erwirtschaften die Unternehmen über ein Viertel ihrer Umsätze außerhalb der Umwelttechnik (Kategorie „andere Unternehmensaktivitäten“). Dieses Ergebnis ist ein deutlicher Hinweis auf den Charakter von GreenTech als Querschnittsbranche: Nur etwa ein Drittel der heute in der Umwelttechnik aktiven Unternehmen wurde in dieser Branche gegründet. Der Großteil der Unternehmen stammt ursprünglich aus anderen Wirtschaftszweigen, beispielsweise dem Maschinenbau, der Bauindustrie oder der chemischen Industrie, und hat in die Umwelttechnik hinein diversifiziert.

Der Blick auf die einzelnen Leitmärkte zeigt **hinsichtlich der Beschäftigtenzahl ein differenziertes Bild**. In Bezug auf das Merkmal Belegschaftsgröße erweist

Abbildung 77: Verteilung der Gesamtumsätze der Unternehmen auf die Leitmärkte (nach absoluten Unternehmensumsätzen gewichtet)



sich die Struktur des Leitmarktes Nachhaltige Wasserwirtschaft als besonders kleinteilig: Bei 85 Prozent der Unternehmen sind weniger als 50 Mitarbeiter beschäftigt. Dagegen sind im Leitmarkt Nachhaltige Mobilität viele große Unternehmen vertreten: Fast ein Viertel (23 Prozent) der Betriebe in diesem Leitmarkt beschäftigt mehr als 500 Mitarbeiter.

Wie diese Ergebnisse der aktuellen Analyse zeigen, hat sich die Struktur der GreenTech-Branche seit der Publikation von *GreenTech made in Germany 2.0* 2009 kaum verändert: Kleine und mittlere Unternehmen stellen die große Mehrheit unter den Akteuren der Umwelttechnologie und prägen die Unternehmenslandschaft dieser Branche.

Leitmarktfokus

Einen anderen Blickwinkel auf das Gewicht der einzelnen Leitmärkte innerhalb der Umwelttechnik-Branche bietet die **Betrachtung nach Leitmarktfokus**:² Hier steht im Zentrum der Betrachtung, in welchem Leitmarkt die Unternehmen den größten Anteil ihres Umsatzes erwirtschaften (siehe Abbildung 78). Der **Leitmarkt Kreislaufwirtschaft** schneidet dabei mit einem **Anteil von 25 Prozent** am besten ab.

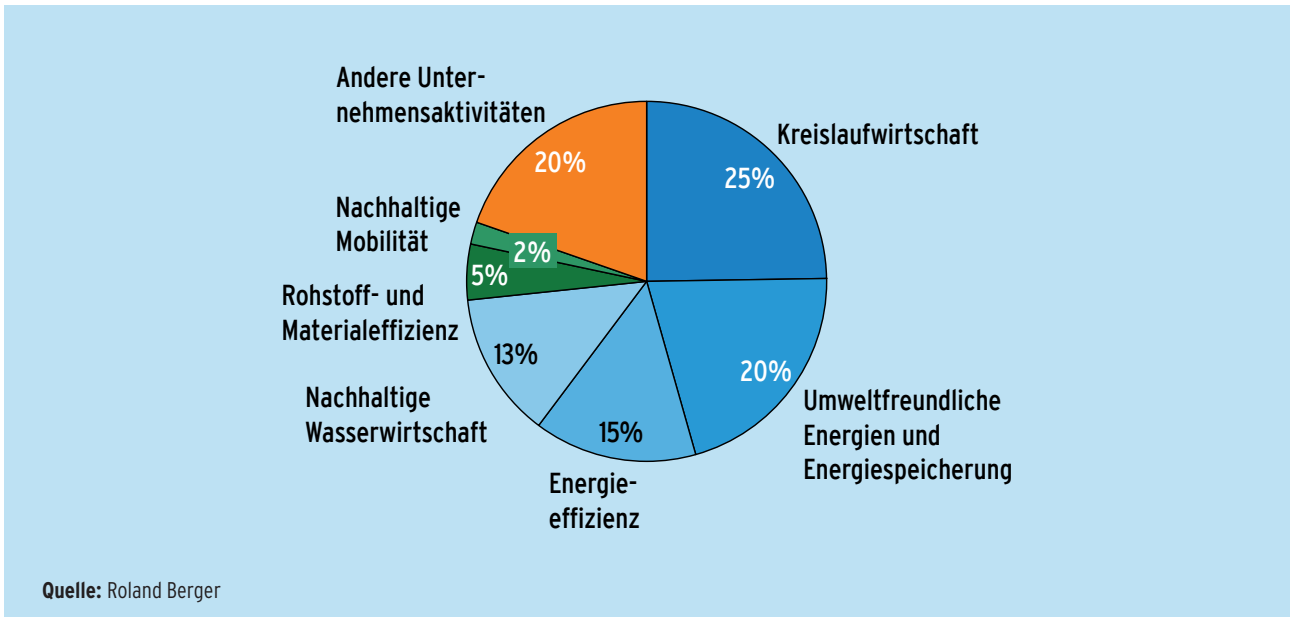
Obwohl **13 Prozent der Unternehmen** ihren **Fokus im Leitmarkt Nachhaltige Wasserwirtschaft** haben, macht dieser Leitmarkt nur acht Prozent des Gesamtumsatzes der Umwelttechnik-Branche aus.

Eine Erklärung für diese Diskrepanz liefert die Größe der in diesem Segment tätigen Unternehmen: Hier finden sich viele kleine Betriebe. Von den Betrieben, die als Leitmarktfokus Nachhaltige Wasserwirtschaft angeben, erwirtschaften 91 Prozent einen Jahresumsatz von weniger als zehn Millionen Euro.

Der **Leitmarkt Nachhaltige Mobilität** ist durch wenige umsatzstarke Unternehmen gekennzeichnet: Hier sehen zwar nur zwei Prozent der Unternehmen ihr Hauptgeschäftsfeld, aber von diesen erwirtschaftet fast ein Fünftel (19 Prozent) einen Jahresumsatz von mehr als 50 Millionen Euro.

² Leitmarktfokus ist definiert als derjenige Leitmarkt, auf den der höchste Umsatzanteil eines Unternehmens entfällt.

Abbildung 78: Anzahl der Unternehmen (Anteil der Nennungen in Prozent) nach Leitmarktfokus



Wachstumsperspektiven

Die Struktur der Branche und der hohe Anteil an jungen Unternehmen versprechen mittelfristig ein dynamisches Wachstum: In den nächsten fünf Jahren wird ein durchschnittliches jährliches Wachstum von 10,6 Prozent erwartet. Mit dieser Prognose übertrifft die Umwelttechnik nicht nur viele andere Industrien, sondern auch das Wachstum der

gesamten Wirtschaft (siehe Abbildung 79). Bis 2016 wird mit einem jährlichen Wachstum des Bruttoinlandsprodukts von 3,6 Prozent gerechnet; das heißt, die Umwelttechnik-Branche entwickelt sich wesentlich dynamischer als die Wirtschaftsleistung insgesamt.

Abbildung 79: Erwartetes jährliches Umsatzwachstum der Umwelttechnik bis 2015 im Vergleich zu anderen Branchen und der Gesamtwirtschaft (angegeben als durchschnittliches nominales Wachstum für Nicht-Umwelttechnik-Branchen und das BIP in Prozent)

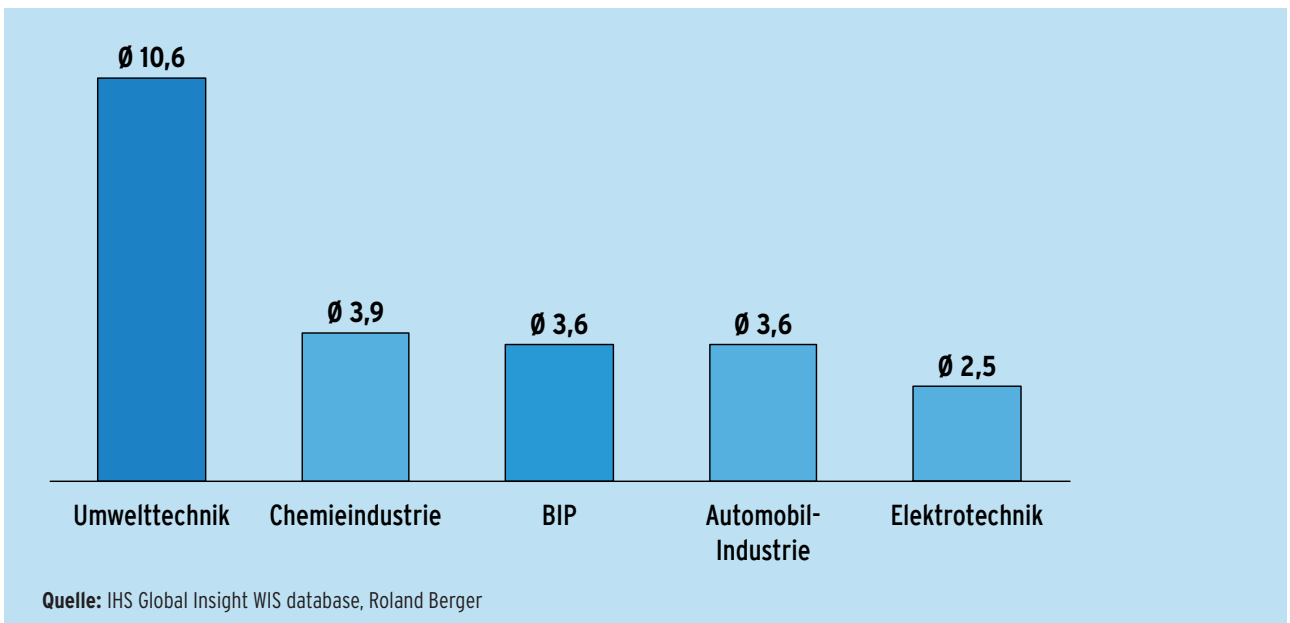
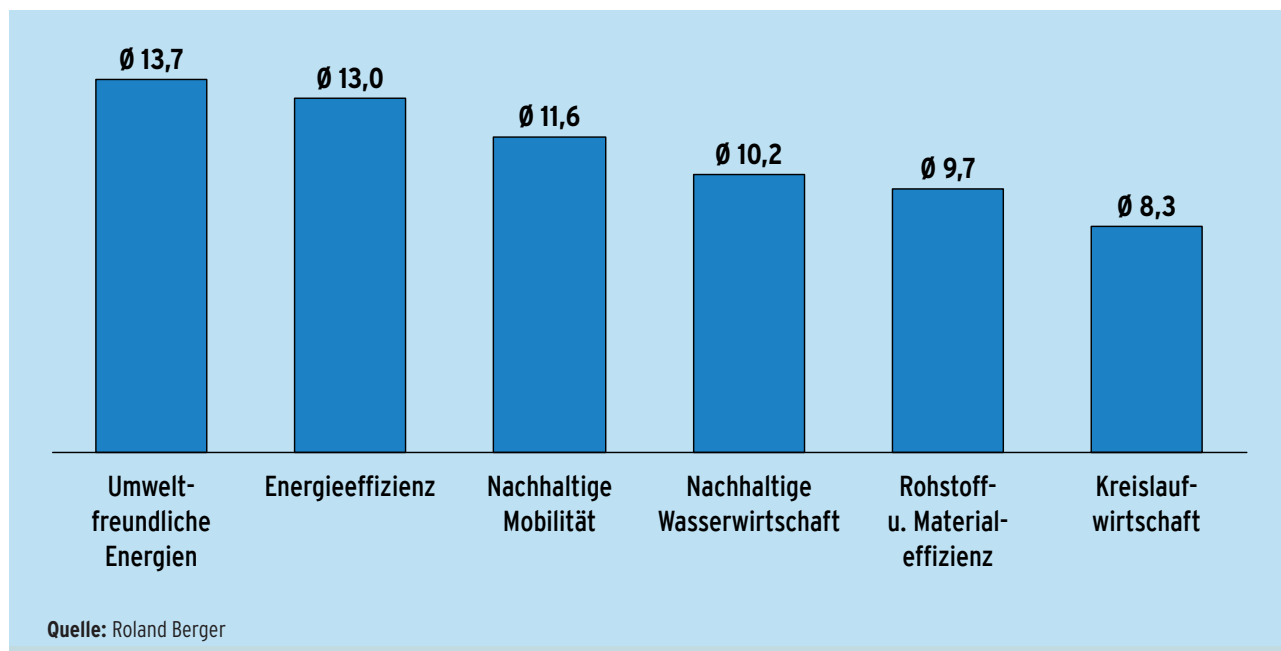


Abbildung 80: Erwartetes Umsatzwachstum (in Prozent pro Jahr) bis 2015 nach Leitmarktfokus



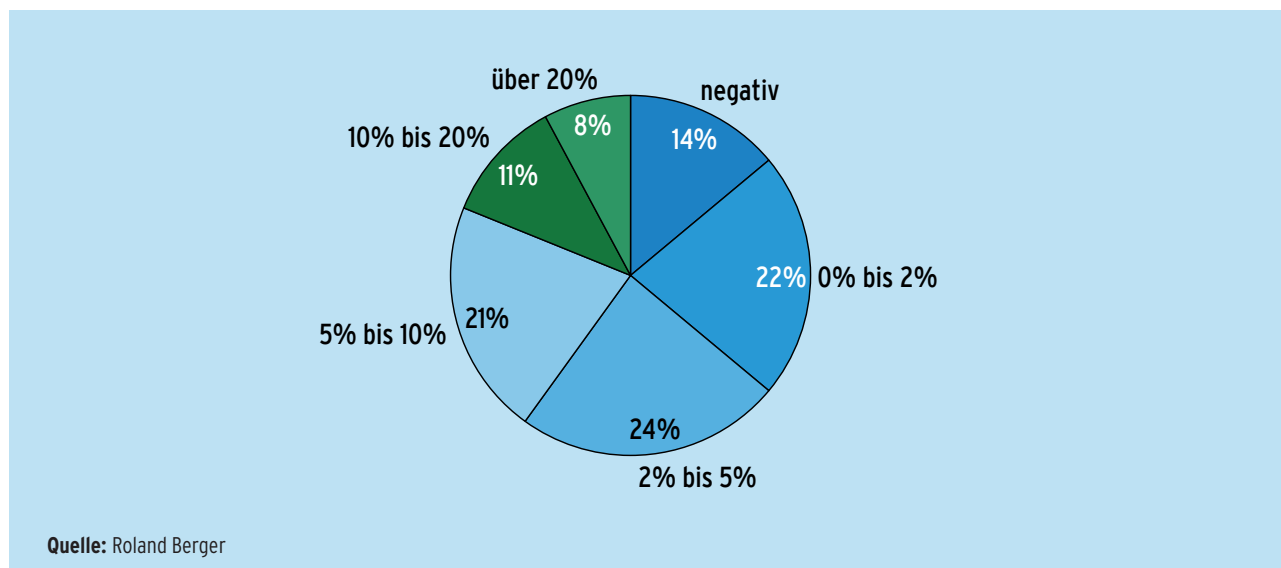
Eine differenzierte Betrachtung der Umsatzerwartungen nach Leitmarktfokus zeigt, dass die Unternehmen der Umweltfreundlichen Energien und Energiespeicherung bei der Einschätzung ihrer künftigen Umsätze die größte Zuversicht an den Tag legen (siehe Abbildung 80). Sie rechnen mit einer Steigerung ihres Jahresumsatzes um fast 14 Prozent. Etwas gedämpfter fallen dagegen die Erwartungen der Betriebe aus dem Leitmarkt Kreislaufwirtschaft aus; sie gehen von einem Wachstum ihrer jährlichen Umsätze in Höhe von 8,3 Prozent aus.

Analog zu den Umsatzerwartungen geben sich die Unternehmen auch bei der Beschäftigungsentwick-

lung zuversichtlich: Mit einem erwarteten Wachstum der Mitarbeiterzahl von jährlich durchschnittlich 8,4 Prozent leistet die GreenTech-Branche einen wichtigen Beitrag für die Schaffung neuer Arbeitsplätze am Standort Deutschland.

Die Einschätzung der Unternehmen zeigt: Die Umwelttechnik-Branche hat das durch die Finanz- und Wirtschaftskrise 2008/2009 ausgelöste Konjunkturtief weitgehend unbeschadet überstanden. Der überwiegende Anteil der Unternehmen (86 Prozent) hat 2010 einen positiven Jahresüberschuss erwirtschaftet (siehe Abbildung 81). Nur 14 Prozent der Unternehmen geben an, dass sie das Geschäftsjahr

Abbildung 81: Verteilung der Unternehmen nach Profitabilität (Anzahl der Nennungen in Prozent)

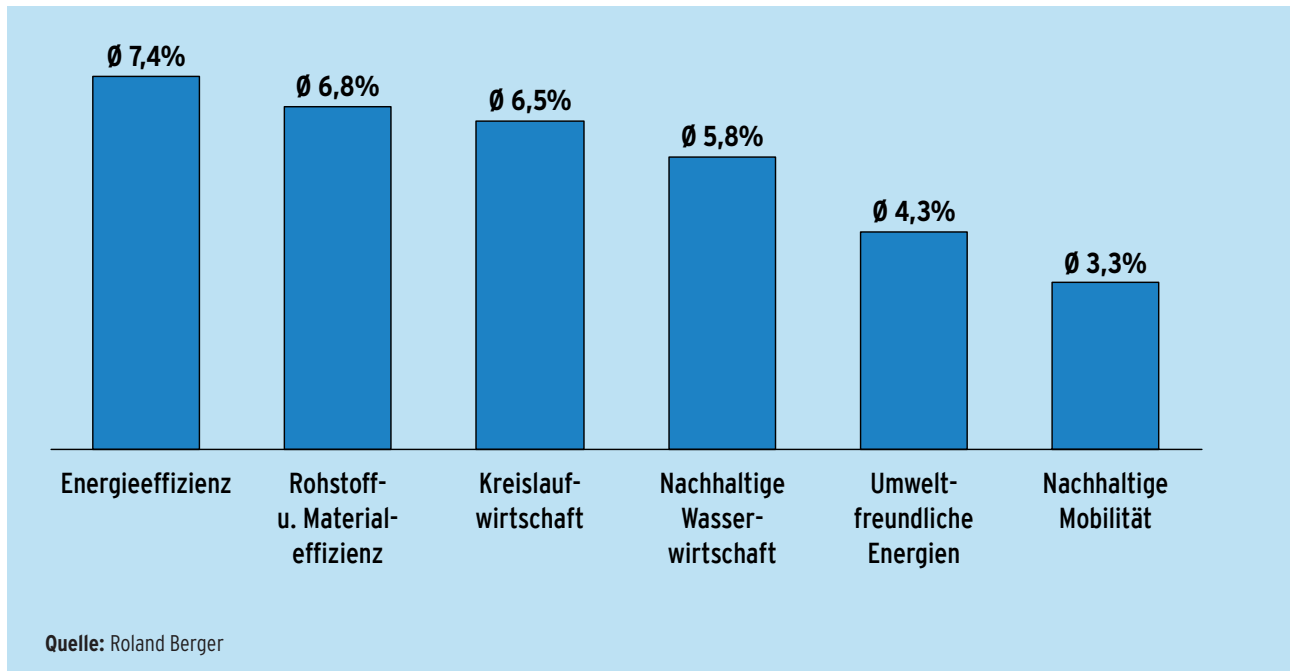


2010 mit Verlust abgeschlossen haben. Damit hat sich die GreenTech-Branche als äußerst krisenresistent erwiesen.

Fast ein Viertel der Unternehmen hat eine Profitabilität³ von zwei Prozent bis fünf Prozent (siehe Abbildung 81). **Im Durchschnitt aller Unternehmen der Umwelttechnik-Branche liegt die Profitabilität bei sechs Prozent. Energieeffizienz erweist sich bei**

der Rendite als Spitzenreiter: Elf Prozent der Unternehmen aus diesem Leitmarkt erwirtschaften eine Profitabilität von mehr als 20 Prozent. Betrachtet man die durchschnittliche Profitabilität der Unternehmen differenziert nach Leitmärkten, erweist sich wieder die Energieeffizienz als Spitzenreiter. Die Betriebe dieses Leitmarktes erzielen im Durchschnitt eine Profitabilität von 7,4 Prozent (siehe Abbildung 82).

Abbildung 82: Durchschnittliche Profitabilität nach Leitmarktfokus



Altersstruktur der GreenTech-Unternehmen

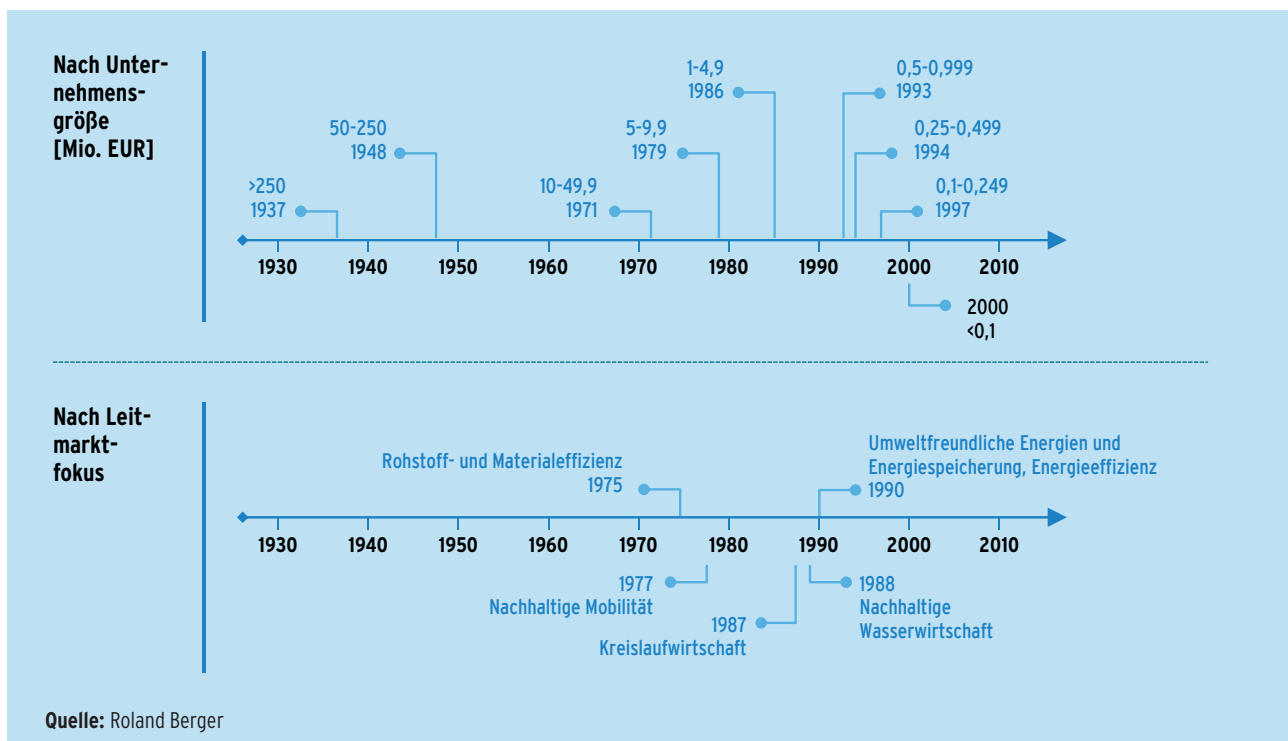
Im Rahmen der aktuellen Analyse sollte der Frage nachgegangen werden, inwieweit die These, die Umwelttechnik sei eine relativ junge Branche, durch Daten aus der Praxis bestätigt wird. Dabei wurde nach den Kriterien Unternehmensgröße und Leitmarktfokus differenziert (siehe Abbildung 83). Wie sich zeigt, ist ein Unternehmen im Durchschnitt 20 Jahre auf dem Markt aktiv, ehe es einen Jahresumsatz zwischen 500.000 Euro und einer Million Euro erwirtschaftet. Bis zur Umsatzmarke von 50 Millionen Euro p. a. vergehen im Durchschnitt 65 Jahre.

Im Leitmarkt Energieeffizienz sind kleine und neu gegründete Unternehmen (Jahresumsatz weniger

als 100.000 Euro) **mit einem Anteil von 24 Prozent besonders zahlreich vertreten.** Die Auswertung des Zeitpunkts der Unternehmensgründung nach Leitmarktfokus gibt auch Aufschluss darüber, welche Themenfelder in den letzten Jahrzehnten an Bedeutung gewonnen haben: So zeigt das durchschnittlich junge Gründungsdatum von Unternehmen im Leitmarkt Nachhaltige Wasserwirtschaft (1988) die zunehmende Bedeutung der Ressource Wasser. Im Leitmarkt Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung wird anhand des Durchschnittsalters (rund 20 Jahre) der Unternehmen deutlich, dass dieses Themenfeld in den letzten Jahrzehnten erheblich an Relevanz gewonnen hat.

³ Profitabilität wird als Anteil des Gewinns am Umsatz verstanden.

Abbildung 83: Durchschnittsalter der Unternehmen, differenziert nach Unternehmensgröße und Leitmarktfokus



Forschung und Entwicklung

Der Anteil der Forschungs- und Entwicklungsausgaben am Umsatz („FuE-Quote“) beträgt im Durchschnitt der Unternehmen 2,6 Prozent. Alarmierend ist, dass eine erhebliche Zahl der Umwelttechnik-Unternehmen noch weit hinter dem Durchschnittswert ihrer Branche zurückbleibt: Mehr als ein Drittel erreicht eine FuE-Quote unterhalb der Ein-Prozent-Marke.

Betrachtet man die FuE-Quote der einzelnen Leitmärkte, ergibt sich ein sehr differenziertes Bild (siehe Abbildung 84). Die höchste FuE-Quote (3,9 Prozent) erreichen die Unternehmen im Leitmarkt Nachhaltige Mobilität. Daran zeigt sich eine Korrelation zwischen der Größe der Unternehmen und ihren Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten, denn in diesem Leitmarkt sind zahlreiche Großbetriebe vertreten. Am niedrigsten fällt die FuE-Quote in der Kreislaufwirtschaft aus: Im Durchschnitt der Betriebe aus diesem Leitmarkt liegt sie bei 1,9 Prozent. Über alle Leitmärkte hinweg wird der Zusammenhang zwischen Unternehmensgröße und Forschung und Entwicklung deutlich; in der Regel gilt: je höher die Mitarbeiterzahl, desto höher die FuE-Quote. Die durchschnittliche FuE-Quote der Unternehmen mit weniger als 50 Mitarbeitern liegt bei 2,8 Prozent. Betriebe in der Kategorie 50 bis 500 Mitarbeiter erreichen eine durchschnittliche FuE-Quote von 2,9

Prozent, und Unternehmen mit mehr als 500 Mitarbeitern bringen es auf eine FuE-Quote von drei Prozent.

Die Intensivierung der Forschung und Entwicklung ist eine wesentliche Voraussetzung, dass die deutschen GreenTech-Unternehmen ihre starke Positionierung auf den internationalen Märkten künftig festigen beziehungsweise ausbauen können. Es besteht ein enger Zusammenhang zwischen der Profitabilität von Unternehmen und deren Aktivitäten im Bereich Forschung und Entwicklung, denn je nach Profitabilität gestalten sich die finanziellen Spielräume für FuE-Investitionen. Einer der wesentlichen Hebel, um die Gewinnspannen zu erhöhen, ist die Produktivität. Ein Blick auf den Status quo und die voraussichtliche Entwicklung dieser Kenngröße zeigt, dass die Steigerung der Produktivität einen wichtigen Punkt auf der Agenda der meisten GreenTech-Unternehmen darstellt. Aus den Einschätzungen der Unternehmen im Hinblick auf die Umsatz- und Beschäftigungsentwicklung lassen sich für die einzelnen Leitmärkte Schlussfolgerungen über das zu erwartende Produktivitätswachstum ableiten. Die Differenz zwischen Umsatzwachstum und Zunahme der Mitarbeiterzahl wird dabei als Indikator für Produktivität interpretiert: Die Unternehmen aus der Nachhaltigen Wasserwirtschaft rechnen mit dem höchsten Produktivitätswachstum (3,4 Prozent) aller Leitmärkte (siehe

Abbildung 85). Am anderen Ende der Erwartungsskala rangiert der Leitmarkt Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung mit einem Produktivitätswachstum von ein Prozent. Grundsätzlich lassen Technologien im fortgeschrittenen Lebenszyklus das höchste Produktivitätswachstum erwarten.

Um das beschriebene Wachstumspotenzial voll ausschöpfen zu können, müssen die Unternehmen ihre Produktivität erhöhen. Hier sind vor allem diejenigen Unternehmen gefordert, die in besonders kompetitiven und reifen Teilmärkten agieren. Um ihre Wettbewerbsposition zu halten beziehungsweise zu verbessern, müssen die Unternehmen ihre Produktivität steigern und dafür entsprechend investieren.

Abbildung 84: Durchschnittliche FuE-Quote nach Leitmarkt (in Prozent)

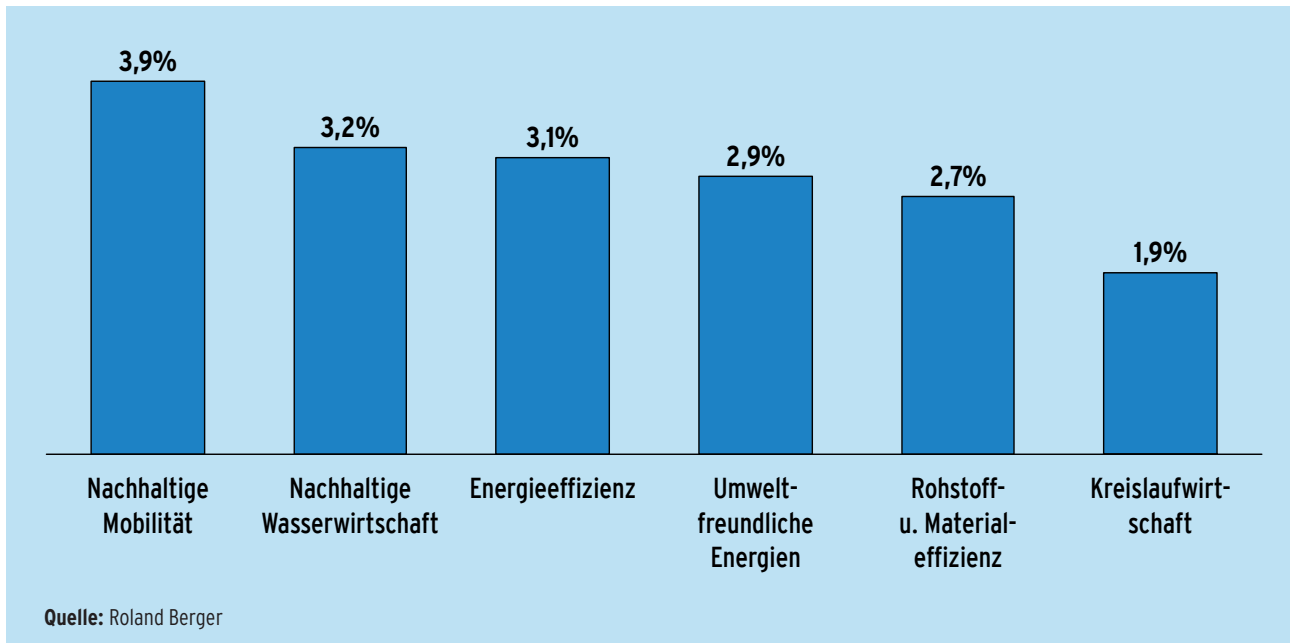
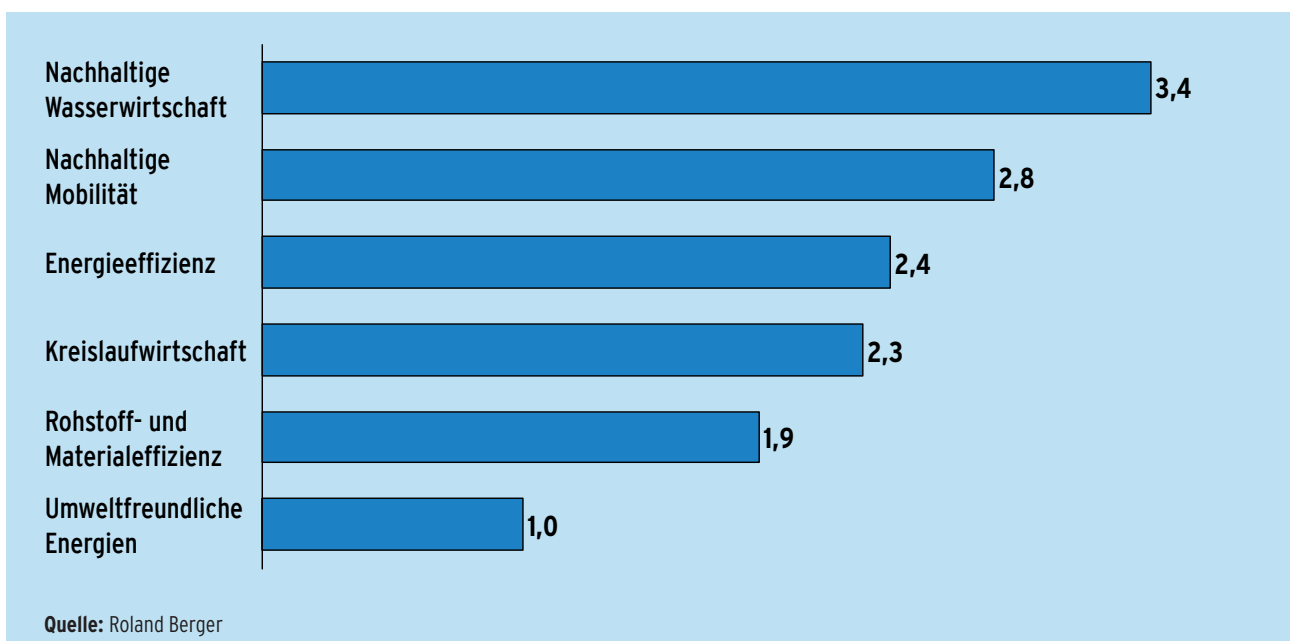


Abbildung 85: Jährliche Differenz aus erwartetem Umsatzwachstum und Anstieg der Beschäftigtenzahl bis 2015 nach Leitmarktfokus (in Prozentpunkten)



Internationalisierung und regionale Bezüge

Zwar ist Deutschland sowohl auf der Beschaffungs- als auch auf der Absatzseite nach wie vor der wichtigste Markt der einheimischen Umwelttechnik-Branche, dennoch spielen die Märkte im Ausland bereits heute eine bedeutende Rolle; in den nächsten Jahren wird der Internationalisierungsgrad der deutschen GreenTech-Branche weiter zunehmen.

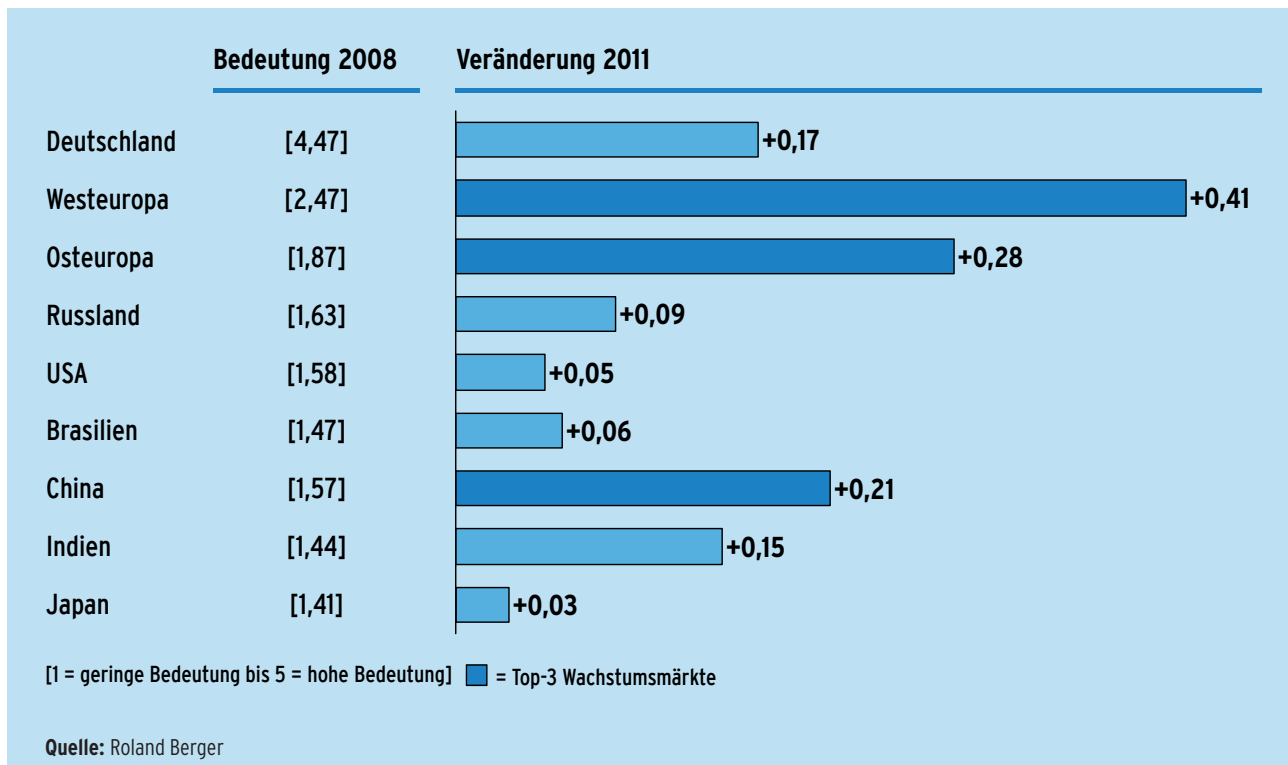
Die aktuelle Auswertung der Unternehmensdaten ergibt eine Exportquote von rund 23 Prozent. Das heißt, im Durchschnitt erwirtschaften die Unternehmen fast ein Viertel ihres Umsatzes im Ausland.

Innerhalb Deutschlands zeigt sich bei vielen Unternehmen eine ausgeprägte regionale Orientierung: Der wichtigste Absatzmarkt ist das eigene Bundesland. Dort erwirtschaften die Betriebe im Durchschnitt circa 46 Prozent ihres Umsatzes.

Untersucht wurde auch die Frage, welche Bedeutung GreenTech-Unternehmen den einzelnen Regionen als Absatzmärkten beimessen. Es zeigt sich, dass die Betriebe Deutschland und Europa die größte Relevanz zusprechen. Auf einer Bewertungsskala von 1 („geringe Bedeutung“) bis 5 („hohe Bedeutung“) rangiert Deutschland mit Abstand auf Platz eins (4,64), gefolgt von Westeuropa (2,88), Osteuropa (2,15), Volksrepublik China (1,78) und Russland (1,72) (siehe Abbildung 86).

Wie Abbildung 86 zeigt, hat im Vergleich zur Befragung 2008 für den GreenTech-Atlas 2.0 aus der Sicht der Unternehmen die Bedeutung aller Absatzmärkte zugenommen. Dies kann als weiterer Indikator für das dynamische Wachstum der Umwelttechnik-Branche bewertet werden. Im Hinblick auf den Bedeutungszuwachs sind die Top-3-Regionen der aktuellen Erhebung Westeuropa, Osteuropa und China.

Abbildung 86: Veränderung der Bedeutung von Absatzmärkten national/international - Vergleich 2008 und 2011



Die Unternehmen haben nicht nur die gegenwärtige Bedeutung einzelner Absatzmärkte bewertet, sondern auch deren Relevanz im Jahr 2025 eingeschätzt. Nach den Erwartungen der Unternehmen geht der Stellenwert Deutschlands zwar leicht zurück, dennoch spielt der Heimatstandort nach wie vor die Schlüsselrolle als Absatzmarkt. Im Vergleich zum Status quo

werden Osteuropa und die BRIC-Staaten (Brasilien, Russland, Indien und China) am meisten an Bedeutung zulegen (siehe Abbildung 87). Nach der Prognose der Betriebe setzen sich die Top-5-Absatzmärkte der deutschen GreenTech-Branche im Jahr 2025 folgendermaßen zusammen: Auf Platz eins ist Deutschland (4,41), gefolgt von Westeuropa (3,27), Osteuropa

Abbildung 87: Erwartete Veränderung der Bedeutung von Absatzmärkten national/international - Vergleich 2011 und 2025

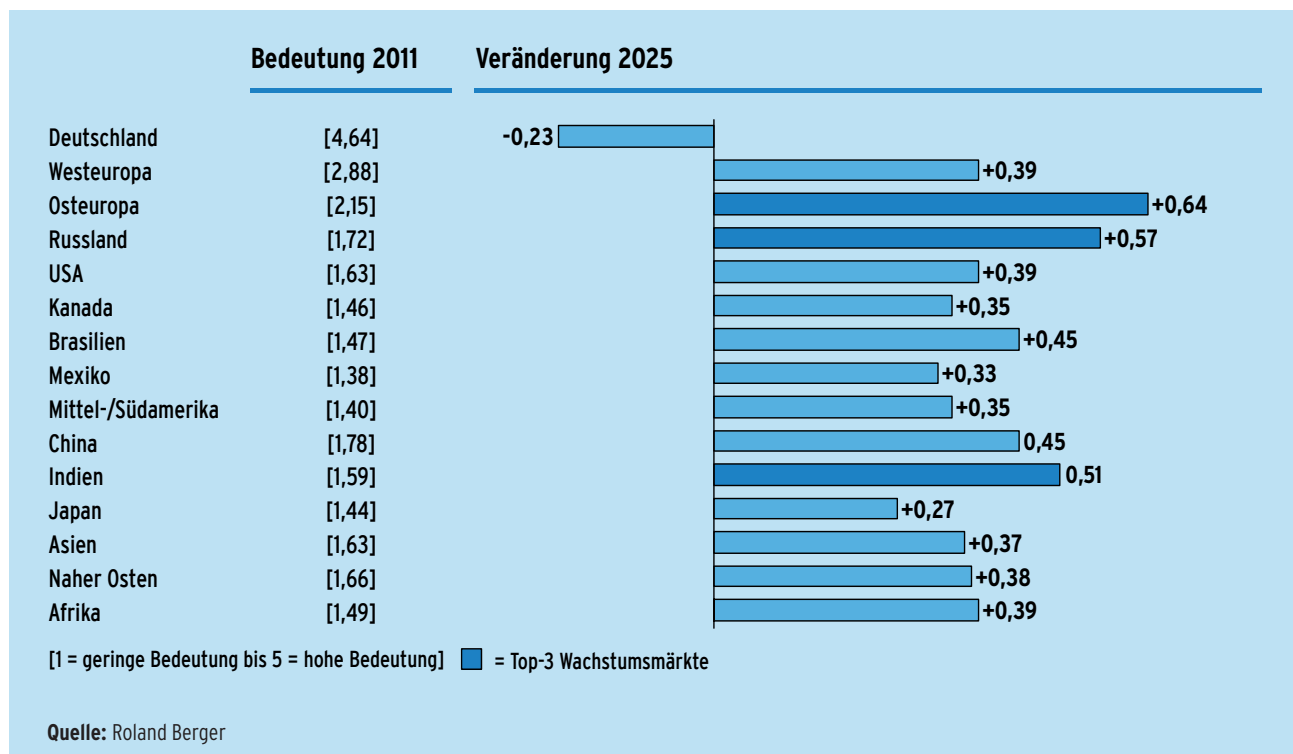
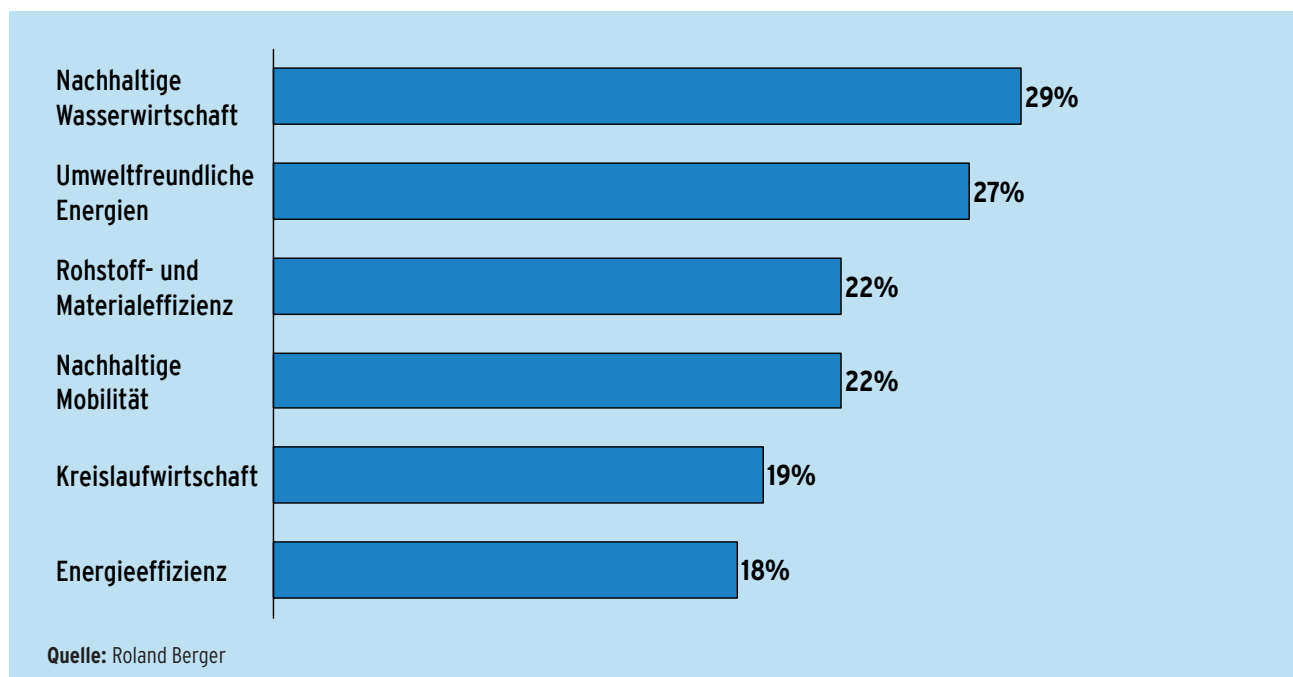


Abbildung 88: Anteil der Unternehmen mit internationalem Fokus (Auslandsumsatz mindestens 30 Prozent des Gesamtumsatzes) nach Leitmarktfokus (Anzahl der Nennungen in Prozent)



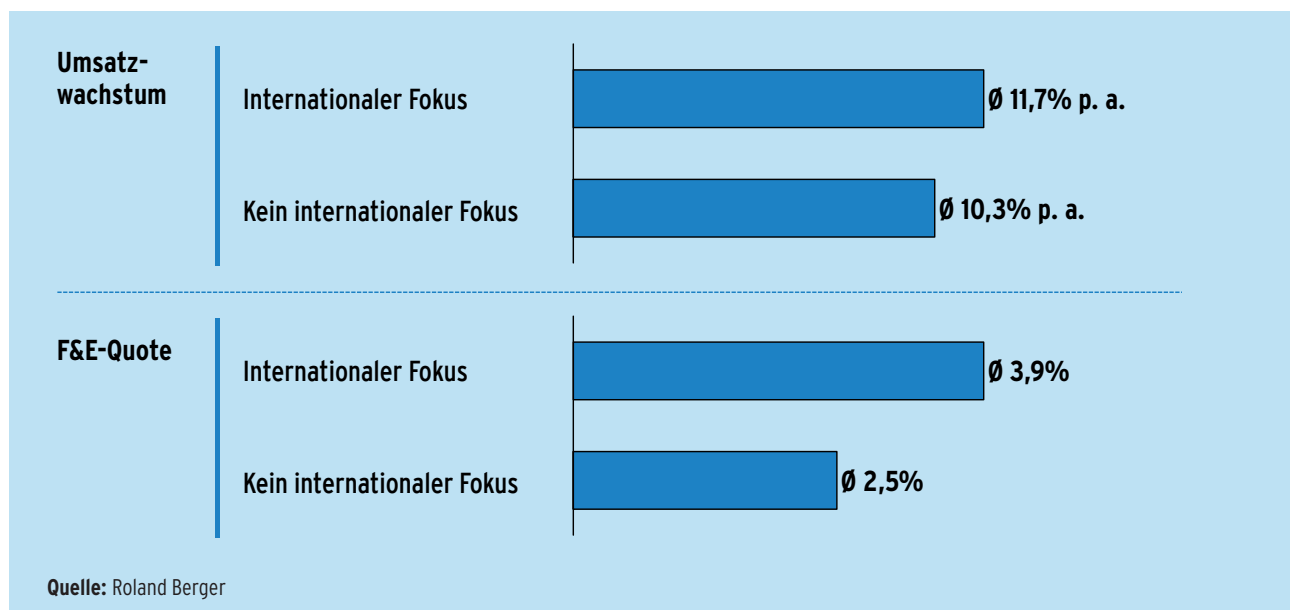
(2,79), Russland (2,29) und China (2,23). Was die Zugehörigkeit zu den wichtigsten fünf Absatzmärkten anbelangt, ist das Ranking 2025 identisch mit dem der Gegenwart. Der einzige Unterschied besteht in der Platzierung Chinas und Russlands: Während China 2011 Rang vier belegt und Russland Rang fünf, soll es im Jahr 2025 genau umgekehrt sein.

Betrachtet man die Angaben der Unternehmen zu ihren Exportaktivitäten im Detail, zeigt sich, dass der **Internationalisierungsgrad der einzelnen Leitmärkte sehr unterschiedlich** ausfällt (siehe Abbildung 88). 29 Prozent der Unternehmen im Leitmarkt Nachhaltige Wasserwirtschaft und 27 Prozent im Leitmarkt Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung erwirtschaften über ein Drittel ihres Umsatzes im Ausland. Dagegen sind viele Unternehmen in den Leitmärkten Energieeffizienz und Kreislaufwirtschaft noch überwiegend auf den Absatz in Deutschland ausgerichtet. Eine stärkere Orientierung auf den Export wäre jedoch vielversprechend, denn gerade in diesen Leitmärkten bieten Auslandsmärkte erhebliches Potenzial. Für den globalen Markt für Energieeffizienz wird bis 2025 eine durchschnittliche jährliche Wachstumsrate von 3,9 Prozent prognostiziert, für Kreislaufwirtschaft von 3,2 Prozent.

Auch in der aktuellen Analyse wird der **Zusammenhang zwischen Auslandsengagement, Umsatzerwartungen sowie Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten** beleuchtet: Die Unternehmen mit internationaler Ausrichtung (Exportquote mindestens 30 Prozent) erwarten bis 2015 im Durchschnitt ein jährliches Umsatzwachstum von fast zwölf Prozent. Diese Einschätzung unterscheidet sich kaum von den Erwartungen der Unternehmen mit nationaler Schwerpunktsetzung; diese gehen von einem jährlichen Umsatzwachstum von rund zehn Prozent aus (siehe Abbildung 89).

Eine **stärkere Diskrepanz zwischen den „Global Playern“ und den eher national ausgerichteten Unternehmen zeigt sich im Bereich Forschung und Entwicklung**. Unternehmen mit einer Exportquote über 30 Prozent haben im Durchschnitt eine FuE-Quote von 3,9 Prozent (2010), während Unternehmen ohne internationalen Fokus eine durchschnittliche FuE-Quote von 2,5 Prozent erreichen. Diese Abweichung ist darauf zurückzuführen, dass in der Regel große Unternehmen auf Auslandsmärkten agieren; üblicherweise nimmt der Umfang der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten mit der Unternehmensgröße zu. Diese Korrelation bietet einen Erklärungsansatz für die geringere FuE-Quote der auf den nationalen Markt orientierten Unternehmen (siehe Abbildung 89).

Abbildung 89: Durchschnittliche FuE-Quote 2010 und erwartetes Umsatzwachstum p. a. bis 2015 - Vergleich zwischen Unternehmen mit internationalem Fokus (Exportquote mindestens 30 Prozent) und nationalem Fokus



Leistungsangebot entlang der Wertschöpfungskette

Die Ergebnisse der aktuellen Analyse machen deutlich, dass die Unternehmen die gesamte Wertschöpfungskette abdecken. Dabei überwiegen die Kategorien technische Planung und Beratung, Projektentwicklung sowie Forschung und Entwicklung (siehe Abbildung 90).

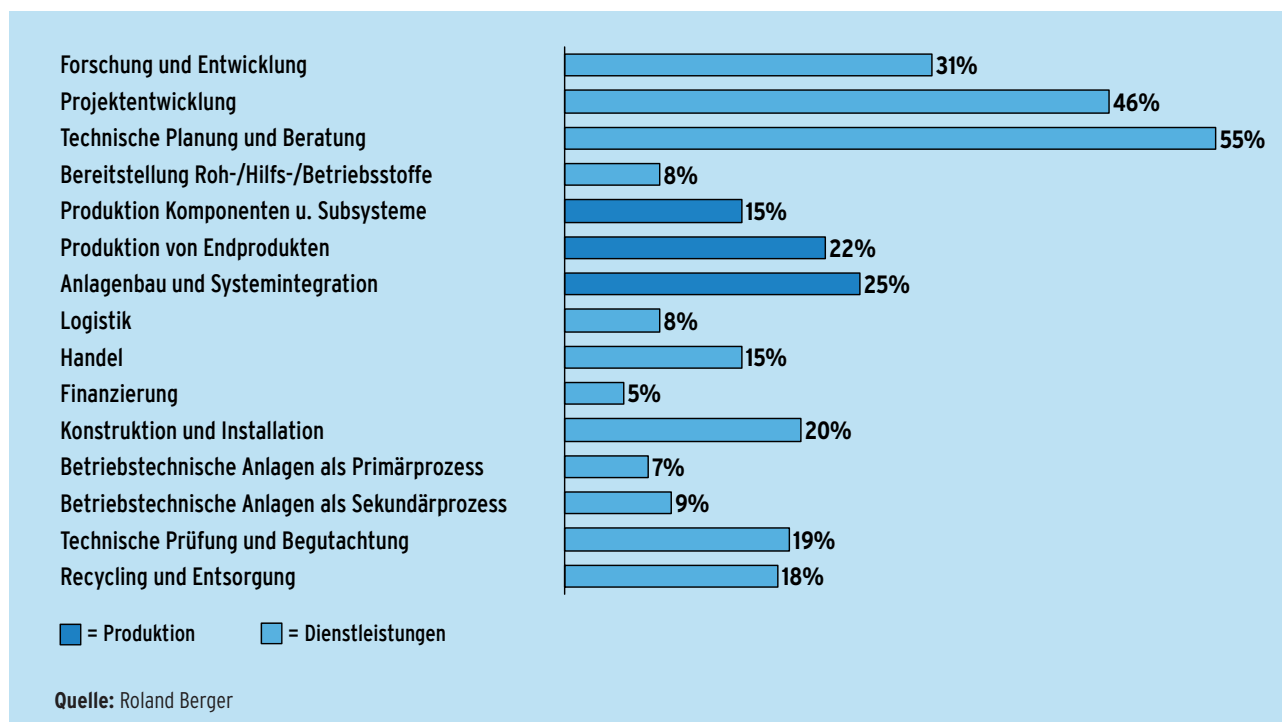
Fast alle GreenTech-Unternehmen bieten Dienstleistungen an. Der Anteil der im Produktionsbereich tätigen Unternehmen liegt bei 40 Prozent. Über die Hälfte (55 Prozent) der Unternehmen haben technische Planung und Beratung in ihrem Portfolio. Dieser hohe Anteil spiegelt die Vielzahl der in der Umwelttechnik-Branche aktiven Ingenieur- und Beratungsbüros wider. Ein Drittel der Betriebe ist mit Leistungen im Bereich Forschung und Entwicklung auf dem Markt präsent. Aus dieser Verteilung des Leistungsangebots der Unternehmen wird die erhebliche Bedeutung von Forschung und Entwicklung sowie von Planungs- und Entwicklungsprozessen ersichtlich. Die deutschen GreenTech-Unternehmen sind gerade auf diesen ersten Stufen der Wertschöpfungskette gut

positioniert. Mit der Struktur ihres Leistungsangebots weist die Umwelttechnik in Deutschland die typischen Merkmale einer wissensintensiven und technologieorientierten Branche auf. Dieses Profil erweist sich als kompetitiver Standortfaktor gegenüber dem Ausland.

Im Rahmen dieser Auswertung von Unternehmensdaten wurde betrachtet, welche Schwerpunkte der Geschäftstätigkeit innerhalb der einzelnen Leitmärkte gesetzt werden. In den nächsten Abschnitten wird im Detail gezeigt, in welchen Technologielinien die befragten Unternehmen besonders aktiv sind.

Im Leitmarkt Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung (siehe Abbildung 91) fällt bei den Top-5-Technologielinien der große Anteil der Biomassenutzung auf: 30 Prozent⁴ aller Unternehmen sind in diesem Segment aktiv. Als entlang der gesamten Wertschöpfungskette angesiedelte Querschnittstechnologie umfasst Biomassenutzung viele unterschiedliche Aufgabenfelder, beispielsweise die Erzeugung

Abbildung 90: Leistungsangebot der Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette (Anzahl der Nennungen in Prozent)



4 Die Prozentwerte geben die relativen Anteile der Nennungen einzelner Technologielinien bezogen auf die Gesamtheit der Unternehmen wieder.

von Biogas als Energieträger und Speicher, Biomasse als Kraftstoff, Biomasse zur Heiznutzung, etwa durch Pellets, oder Biomasse als Wertstoff zur Stromerzeugung in Biomasseheizkraftwerken. Unter den am meisten genannten Technologielinien ist eine breite Streuung der Energieerzeugungsarten zu erkennen. Zu den bemerkenswerten Ergebnissen dieser Analyse zählt der geringe Anteil der Energiespeicherung an den Aktivitäten innerhalb des Leitmarktes.

Im Leitmarkt Energieeffizienz liegt der Fokus auf dem Gebäudesektor. 21 Prozent aller Unternehmen ordnen ihre Produkte und Lösungen der Technologielinie Heizung-Klima-Lüftung zu (siehe Abbildung 91). Auf die Technologielinien im Bereich Energieeffizienz von Geräten entfällt dagegen nur ein geringer Anteil der Nennungen.

Im Leitmarkt Rohstoff- und Materialeffizienz sind effiziente Herstellungsverfahren besonders stark vertreten: Die meistgenannte Technologielinie ist die Mess-, Steuer- und Regeltechnik (siehe Abbildung 92). Sehr schwach repräsentiert sind dagegen die Technologielinien Einsparungen durch verbesserte tribulogische Eigenschaften (1,5 Prozent) sowie Farben und Lacke aus nachwachsenden Rohstoffen (1,9 Prozent).

Die Top-5-Technologielinien im Leitmarkt Kreislaufwirtschaft zeigen eine breite Streuung; Technologielinien aus allen Segmenten des Leitmarktes sind stark vertreten; dabei ist die Abfalltrennung (18 Prozent) der wichtigste Bereich (siehe Abbildung 92). Am schwächsten repräsentiert ist der Bereich Altautoverwertung (4,1 Prozent).

Im Leitmarkt Nachhaltige Wasserwirtschaft ist eine breite Streuung der stark vertretenen Technologien zu verzeichnen. Die Wasseraufbereitung (15 Prozent) rangiert auf Platz eins der Top-5-Technologielinien, gefolgt von der Abwasserbehandlung zentral (14 Prozent) (siehe Abbildung 93). Schwach vertreten sind die Bereiche Wassereffizienztechnologien für Wasserkraftanlagen (4,1 Prozent) und für den häuslichen Bereich (5,1 Prozent).

Im Leitmarkt Nachhaltige Mobilität zeigt sich ebenfalls eine breite Streuung der in den Top-5 vertretenen Technologielinien (siehe Abbildung 93). Die wenigsten Nennungen entfallen innerhalb dieses Leitmarktes auf energiesparende Reifen (ein Prozent) und Car Sharing (ein Prozent).

Abbildung 91: Top-5-Technologielinien in den Leitmärkten Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung und Energieeffizienz (Anzahl der Nennungen in Prozent; bezogen auf die Gesamtheit aller Umfrageteilnehmer (leitmarktübergreifend))

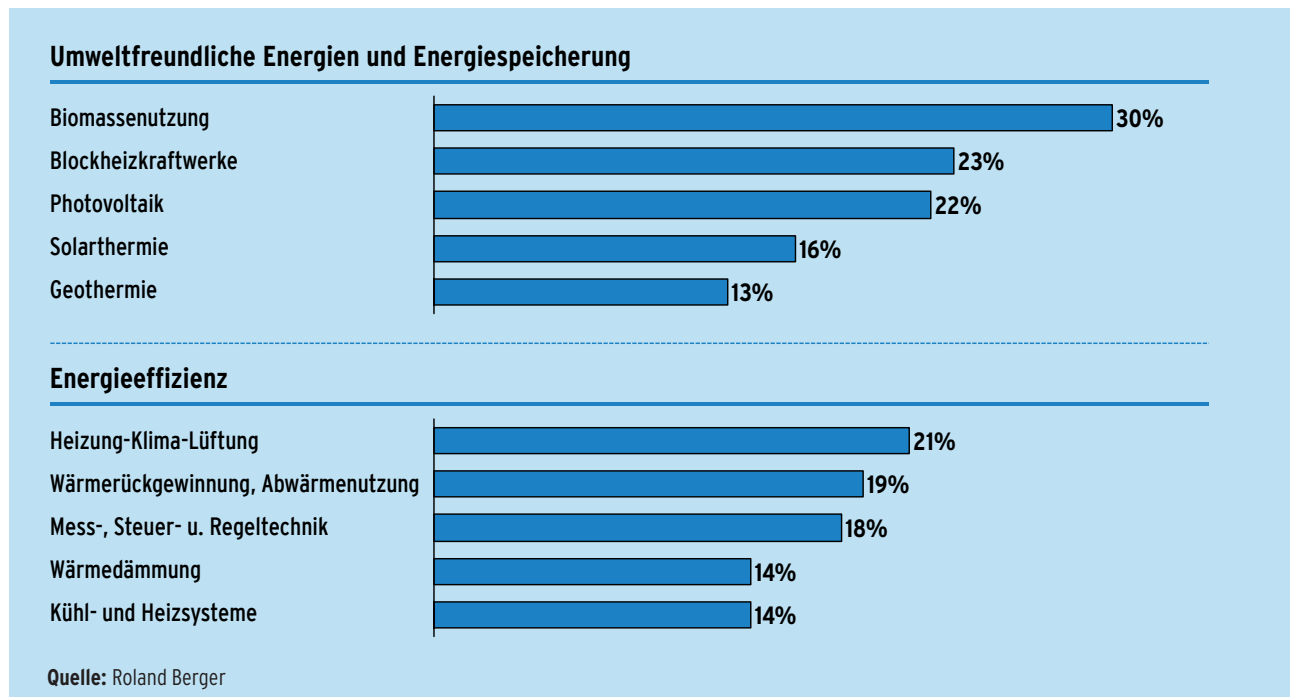


Abbildung 92: Top-5-Technologielinien in den Leitmärkten Rohstoff- und Materialeffizienz und Kreislaufwirtschaft (Anzahl der Nennungen in Prozent; bezogen auf die Gesamtheit aller Umfrageteilnehmer [leitmarktübergreifend])

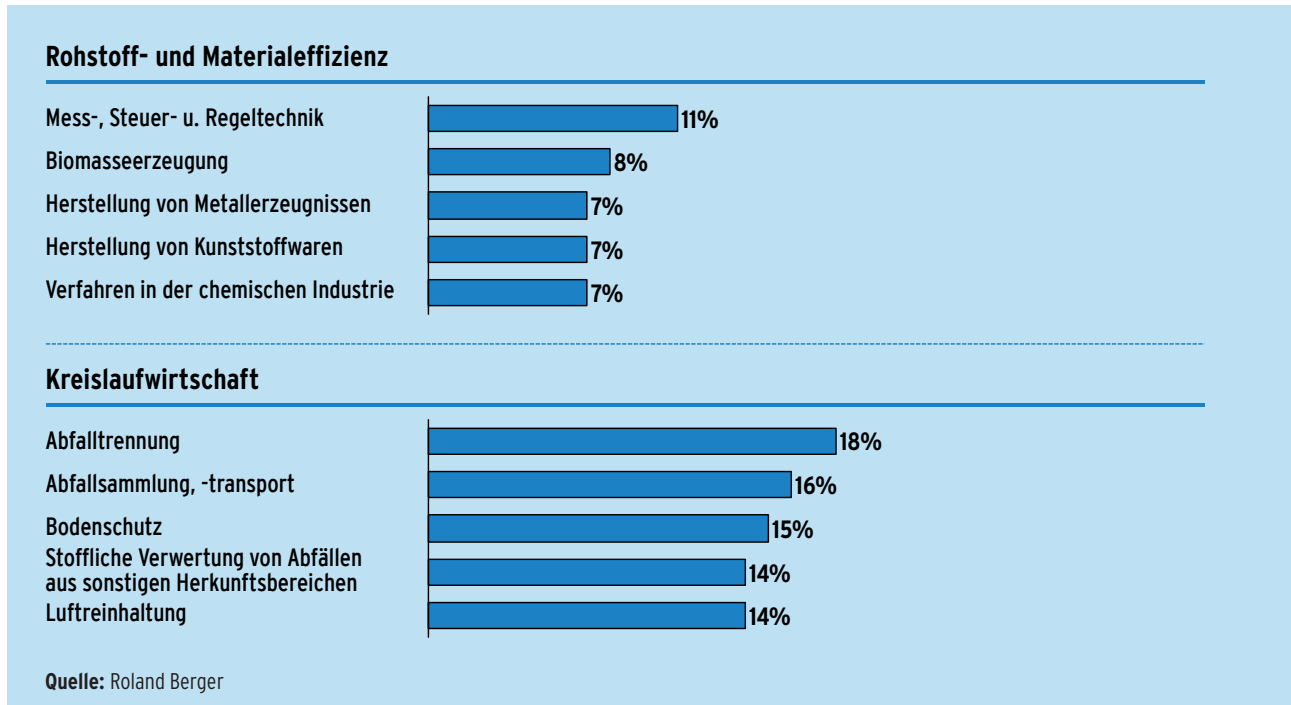
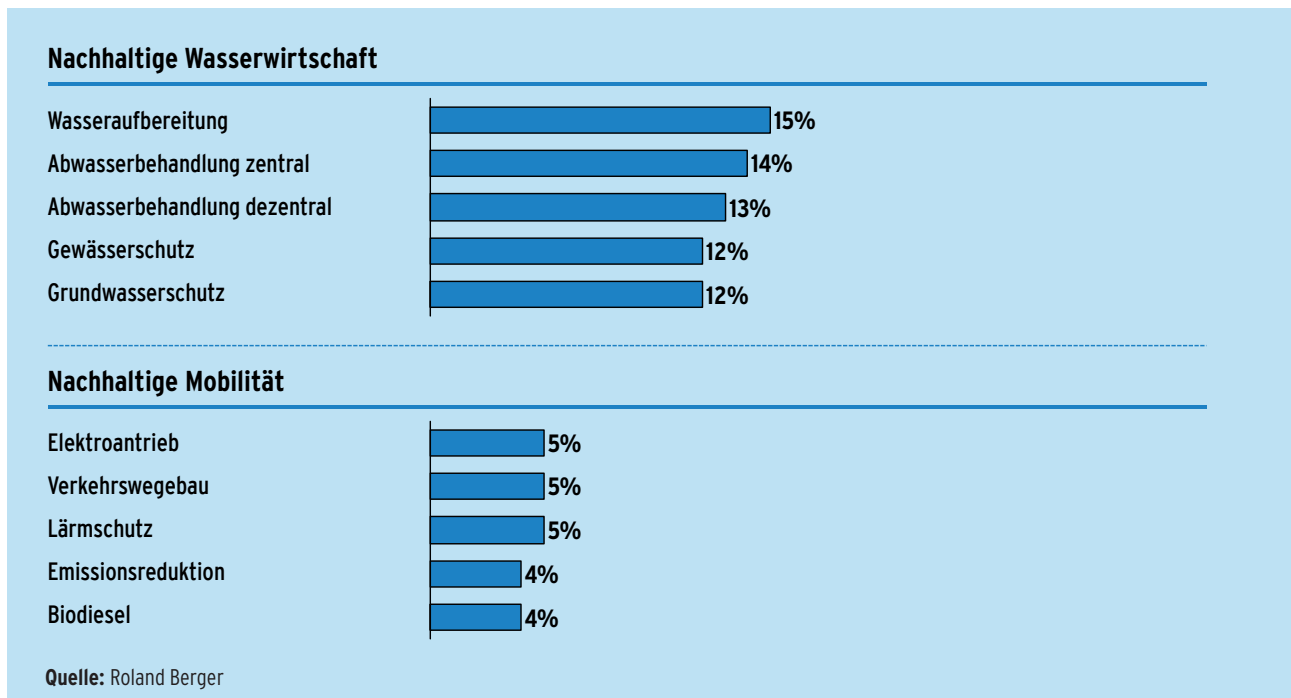


Abbildung 93: Top-5-Technologielinien in den Leitmärkten Nachhaltige Wasserwirtschaft und Nachhaltige Mobilität (Anzahl der Nennungen in Prozent; bezogen auf die Gesamtheit aller Umfrageteilnehmer [leitmarktübergreifend])



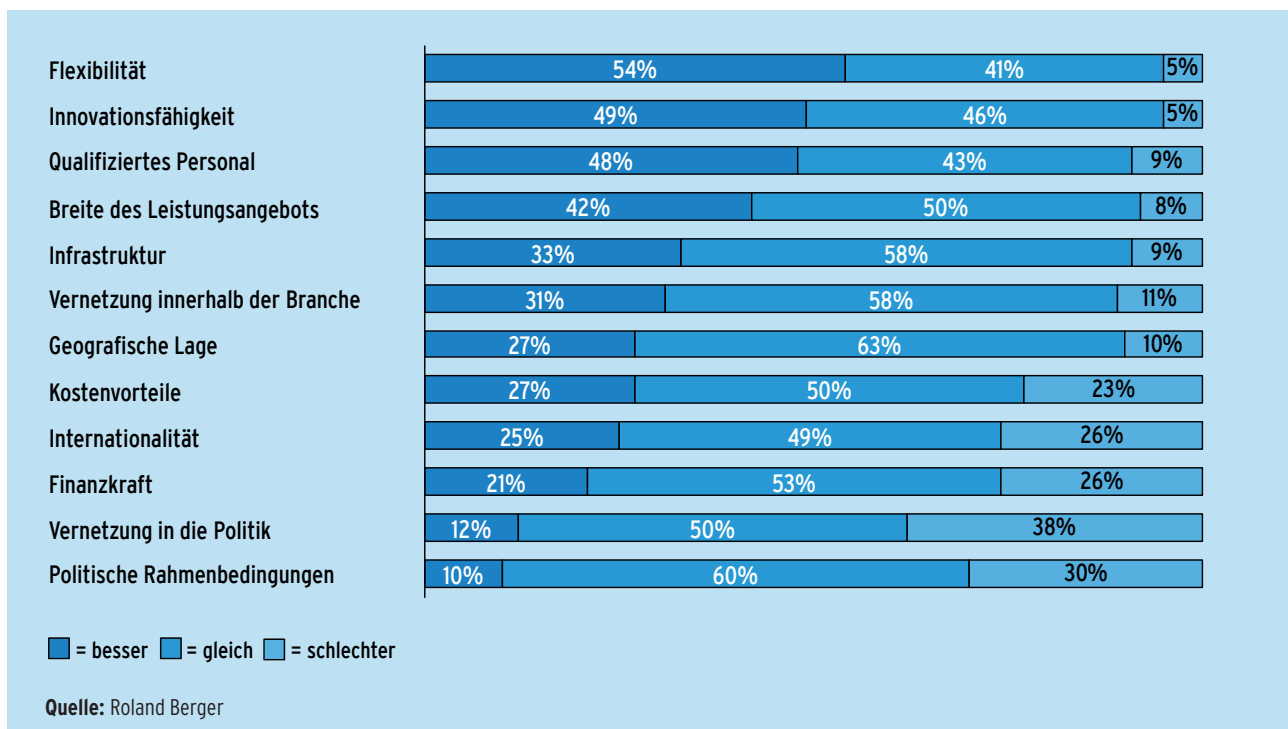
Beurteilung der Wettbewerbsposition und der Standortfaktoren

Im Rahmen der aktuellen Analyse wurde herausgearbeitet, wie Unternehmen bezüglich der angegebenen Standortfaktoren ihre Positionierung im Vergleich zu nationalen und internationalen Wettbewerbern einschätzen. Dabei waren den Unternehmen die drei Kategorien „besser“, „gleich“ und „schlechter“ als Antwortoptionen vorgegeben

Die Betriebe sehen ihre Stärken insbesondere bei den Standortfaktoren Innovationsfähigkeit und Flexibilität (siehe Abbildung 94). Die Auswertung der Daten macht auch deutlich, dass die Unternehmen bei den politischen Rahmenbedingungen und der Vernetzung in die Politik Nachholbedarf sehen.

Die Beurteilung der Standortfaktoren weicht dabei zwischen den einzelnen Leitmärkten ab. Ein Beispiel ist die Einschätzung von Kostenvorteilen: Im Leitmarkt Energieeffizienz schätzen sich insbesondere kleine Unternehmen im Hinblick auf diesen Standortfaktor als „besser“ ein als ihre Wettbewerber; große Unternehmen im Leitmarkt Nachhaltige Mobilität bewerten ihre Position bei den „Kostenvorteilen“ jedoch eher als „schlechter“. Umgekehrt stellt sich die Bewertung bei der Internationalität und der Finanzkraft dar: In diesen Standortfaktoren sehen sich große Betriebe eher als „besser“, während kleine Unternehmen ihre Wettbewerbsposition eher als „schlechter“ beurteilen.

Abbildung 94: Positionierung in den Standortfaktoren relativ zum nationalen und internationalen Wettbewerb - Selbsteinschätzung der Unternehmen



Geschäftslage und Geschäftserwartungen

Nachdem sie die konjunkturelle Talsohle der Finanz- und Wirtschaftskrise 2008/2009 hinter sich gelassen haben, zeigt sich die große Mehrheit der Unternehmen zufrieden mit der Geschäftsentwicklung in der Umwelttechnik-Branche. Fast zwei Drittel (59 Prozent) beurteilen ihre aktuelle Geschäftslage als „gut“, 37 Prozent als „befriedigend“ und nur vier Prozent als „schlecht“ (siehe Abbildung 95). Am bes-

ten ist die Stimmung bei den Unternehmen aus den Leitmärkten Umweltfreundliche Energieerzeugung und Energiespeicherung sowie Energieeffizienz. Ihr Grad der Zufriedenheit mit der aktuellen Geschäftsentwicklung fällt am höchsten aus. Über alle Leitmärkte hinweg bewerten größere Unternehmen ihre geschäftliche Situation tendenziell besser als kleine Unternehmen.

Die meisten Unternehmen der Umwelttechnik sehen ihre wirtschaftliche Zukunft optimistisch: Über die Hälfte (56 Prozent) beurteilt die Geschäftserwartungen für 2012 als „günstiger“ und 41 Prozent als „gleich bleibend“. Nur ein verschwindend geringer Anteil (drei Prozent) rechnet mit einer Verschlechterung. In den Leitmärkten Energieeffizienz und Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung herrscht die größte Zuversicht, dies zeigt die Differenzierung des Stimmungsbilds nach Leitmärkten (siehe Abbildung 96). In diesen Leitmärkten gehen jeweils zwei Drittel der Unternehmen von einer Verbesserung ihrer Geschäftstätigkeit aus. Eine Auswertung der Geschäftserwartungen nach Un-

zientz und Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung herrscht die größte Zuversicht, dies zeigt die Differenzierung des Stimmungsbilds nach Leitmärkten (siehe Abbildung 96). In diesen Leitmärkten gehen jeweils zwei Drittel der Unternehmen von einer Verbesserung ihrer Geschäftstätigkeit aus. Eine Auswertung der Geschäftserwartungen nach Un-

Abbildung 95: Beurteilung der aktuellen Geschäftslage differenziert nach Leitmarkt

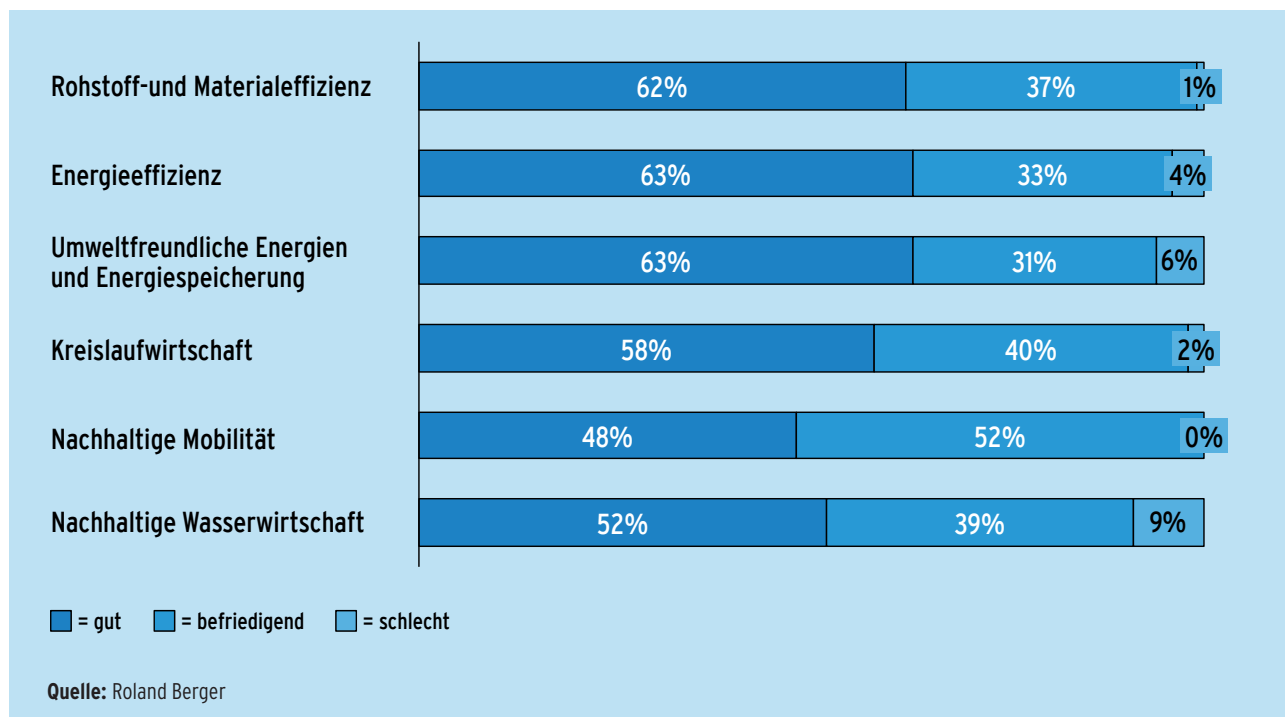
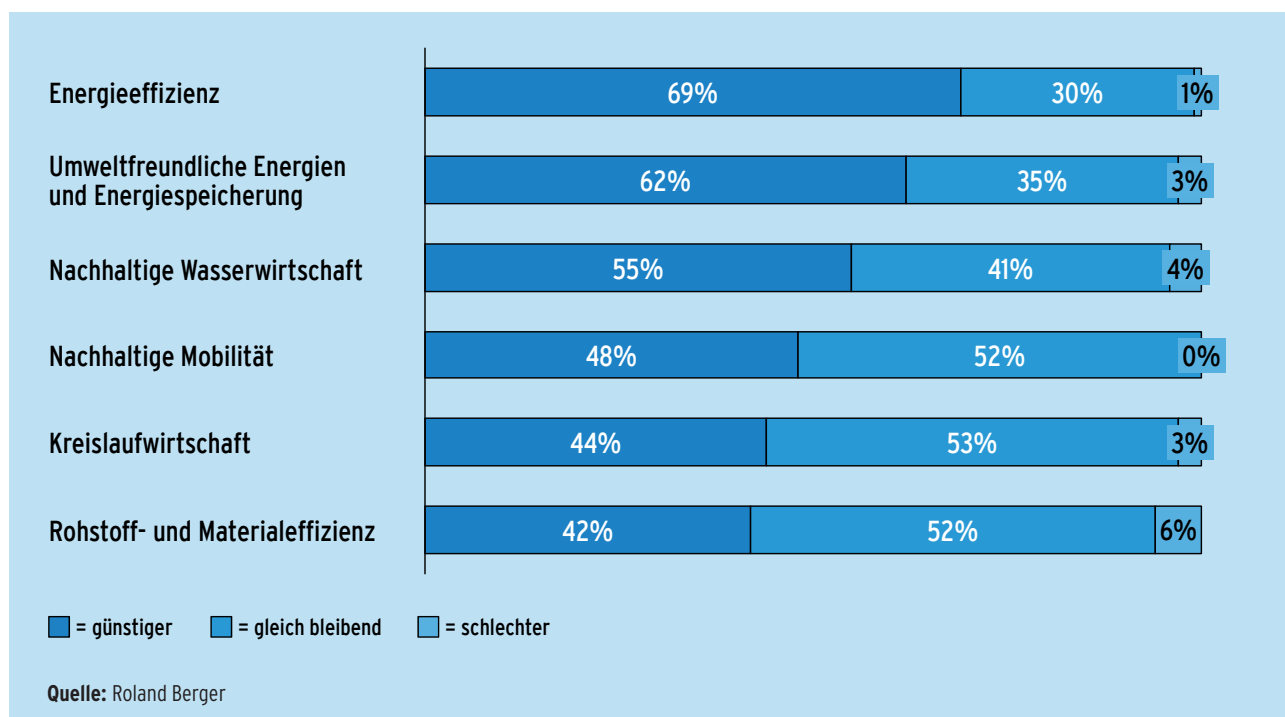


Abbildung 96: Geschäftserwartungen differenziert nach Leitmarkt



Unternehmensgröße zeigt eine **Korrelation zwischen Optimismus und Betriebsgröße**: Von den Unternehmen mit einem Jahresumsatz von mehr als 50 Millionen Euro erwarten 71 Prozent eine günstigere Geschäftsentwicklung in der Zukunft, bei den kleinen Unternehmen (Jahresumsatz weniger als zehn Millionen Euro) sind es nur 55 Prozent.

Um das Stimmungsbild unter den GreenTech-Akteuren einzufangen, wurde im Rahmen dieser Branchenanalyse ein **Geschäftsklimaindex** ermittelt. Dieser Index wird jeweils auf Jahresbasis berechnet und ergibt sich aus der Zusammenlegung der beiden Kategorien Geschäftsklima („Beurteilung der aktuellen Geschäftslage“) und Geschäftserwartungen. Ein Gesamtindex von 100 gibt an, dass alle Unternehmen sowohl die aktuelle Geschäftslage als auch die Geschäftserwartungen durchweg als „gut“ bewerten. Der errechnete Leitmarkt-übergreifende Geschäftsklimaindex für 2008 beträgt 33,5; für 2011 liegt dieser Wert bei 53,6. Die Berechnung der Geschäftsklimaindices für die einzelnen Leitmärkte erfolgt analog.

Die Entwicklung des Geschäftsklimaindex ist ein Indikator, dass die Umwelttechnik-Branche gestärkt aus der Finanz- und Wirtschaftskrise 2008/2009 hervorgegangen ist: **Der Geschäftsklimaindex ist von 2008 auf 2011 um absolut 60 Prozent gestiegen** (siehe Abbildung 97). Betrachtet man die Zuwächse des Index differenziert nach Leitmärkten, fällt der Rekordwert der Kreislaufwirtschaft auf. Der überpro-

portionale Anstieg von absolut 211 Prozent bildet den Aufschwung der Recyclingindustrie ab, in dem sich die Preisentwicklung auf dem Rohstoffmarkt widerspiegelt. Als die Rohstoffpreise bedingt durch die Wirtschaftskrise zum Jahresende 2008 abstürzten, schmälerte das niedrige Preisniveau die Profitabilität der Recyclingindustrie erheblich. Der (Wieder-)Anstieg der Rohstoffpreise als Begleiterscheinung des konjunkturellen Aufschwungs beflügelt die Geschäftsaussichten der Kreislaufwirtschaft. Am geringsten ist die Zunahme des Geschäftsklimaindex im Leitmarkt Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung ausgefallen (7 Prozent absolut).

Wie bereits in den Befragungen für die erste und die zweite Auflage des Umwelttechnik-Atlas 2006 und 2008 hat sich auch in der aktuellen Analyse ein **Zusammenhang zwischen Internationalisierungsgrad der Unternehmen und der Einschätzung der zukünftigen Geschäftsentwicklung** herauskristallisiert (siehe Abbildung 98). Unternehmen, die mehr als ein Drittel ihres Umsatzes außerhalb Deutschlands erwirtschaften, beurteilen ihre Geschäftsaussichten in der Regel besser als Betriebe, die ihren Schwerpunkt auf den nationalen Markt setzen. Die optimistischere Bewertung der Unternehmen mit internationalem Fokus rührt vermutlich daher, dass sie das erhebliche weltweite Marktpotenzial für Umwelttechnik „made in Germany“ erkennen und für die eigene Geschäftsentwicklung nutzen wollen.

Abbildung 97: Veränderung des Geschäftsklimaindex zwischen 2008 und 2011

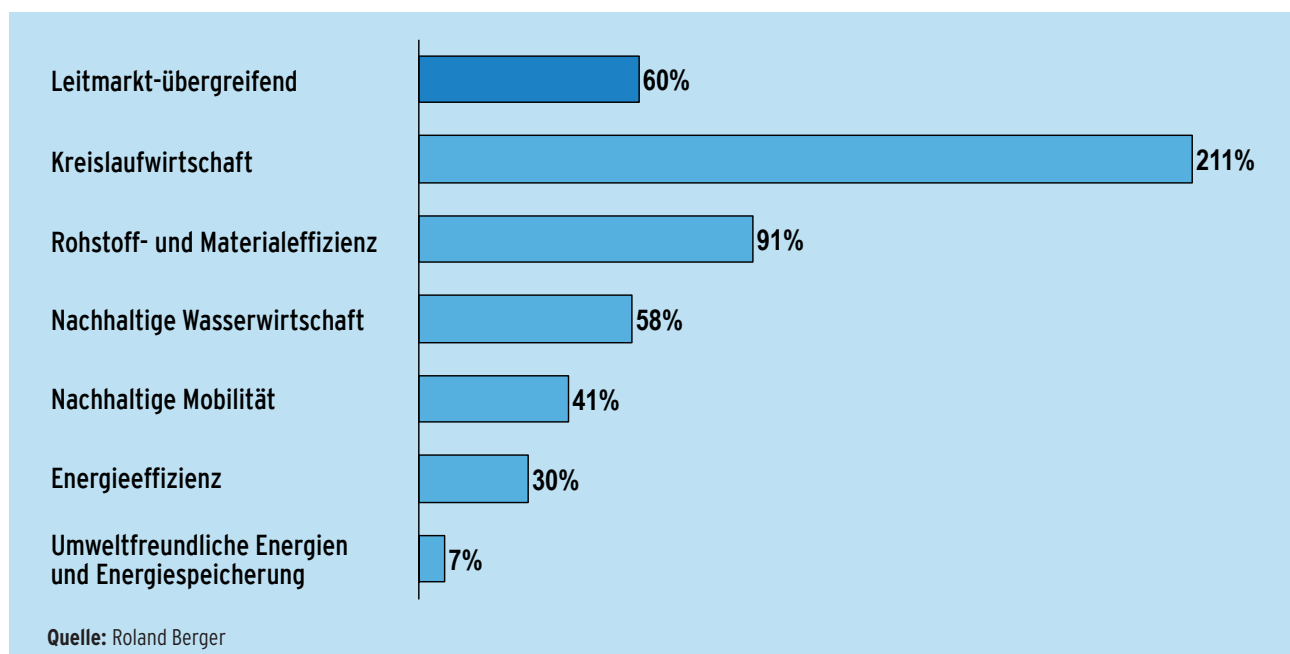
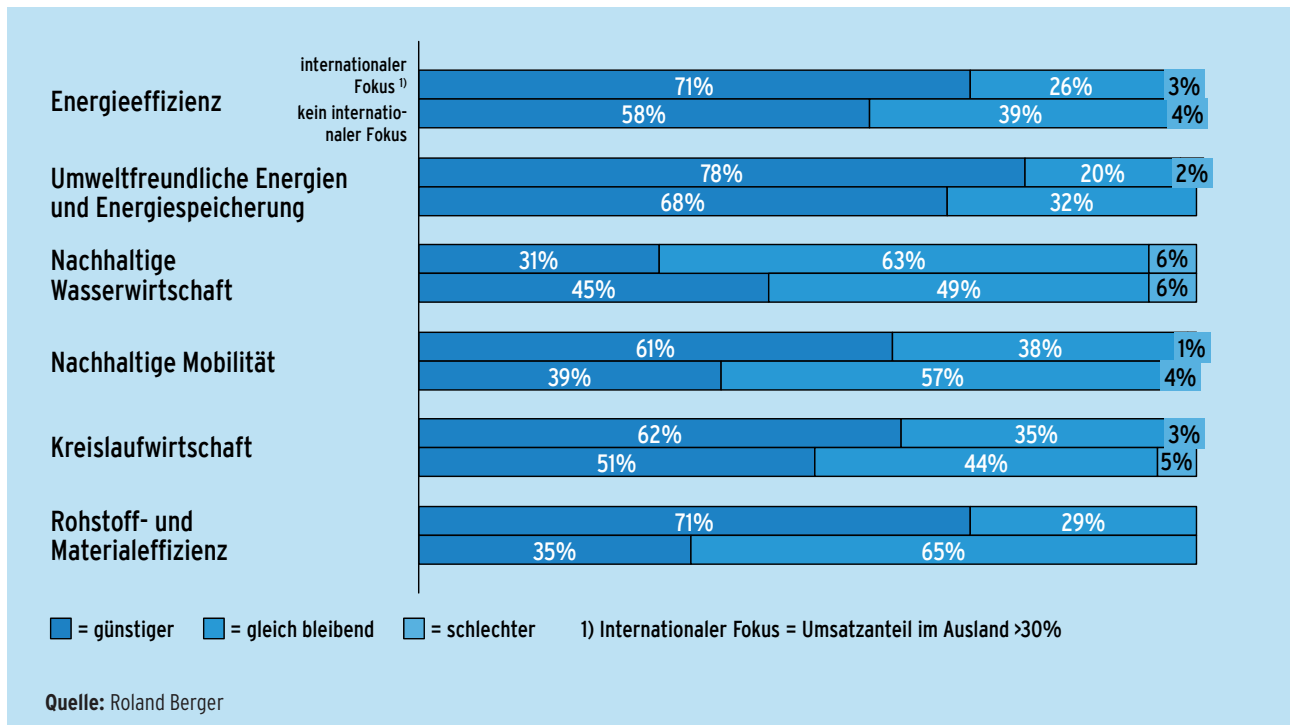


Abbildung 98: Geschäftserwartungen nach Leitmarkt und Internationalität



Betrachtung auf Ebene der Bundesländer

Während die vorangegangenen Abschnitte die Umwelttechnik-Branche in Deutschland portraituren, geht es jetzt um die Detailaufnahmen: Die **Umwelttechnik und Ressourceneffizienz** wird nicht aus der Perspektive des gesamtdeutschen Marktes betrachtet, sondern **auf der Ebene der Bundesländer**. Diese Beschreibung greift insbesondere drei Themen auf: Internationalisierung und Regionalität, Technologie-Schwerpunkte und die Selbsteinschätzung der Unternehmen im Hinblick auf Standortfaktoren.

Internationalisierung und Regionalität

Die globalen Märkte der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz werden mittel- und langfristig expandieren. Für Anbieter aus Deutschland, die häufig zu den Technologieführern in den von ihnen bearbeiteten Marktsegmenten zählen, ergeben sich gute Chancen, am Wachstum der internationalen Märkte zu partizipieren und diesen Trend als Rückenwind für die Entwicklung des eigenen Unternehmens zu nutzen. Vor diesem Hintergrund ist es aufschlussreich, die **geografische Ausrichtung der Geschäftstätigkeit der GreenTech-Akteure in den einzelnen Bundesländern** zu betrachten.

Im gesamtdeutschen Durchschnitt erwirtschaften die Umwelttechnik-Unternehmen knapp 23 Prozent

ihrer Umsätze im Ausland. Diese durchschnittliche Exportquote ist nicht nach Umsatz der Unternehmen gewichtet. Abbildung 99 zeigt, wie sich die durchschnittlichen Exportquoten der Unternehmen in der Branche Umwelttechnik und Ressourceneffizienz über die einzelnen Bundesländer verteilen. Dabei wurden drei Kategorien gebildet: Exportquote größer als zehn Prozent, Exportquote größer als 20 Prozent und Exportquote größer als 25 Prozent.

Bei der Erhebung der Angaben für die Firmenprofile der Datenbank wurden die Teilnehmer gefragt, welche Bedeutung sie einzelnen Absatzmärkten beimessen. Bei der Auswertung der Antworten zeigt sich **in fast allen deutschen Bundesländern eine starke Präsenz Chinas**. Von wenigen Ausnahmen abgesehen, wird die Volksrepublik in allen deutschen Bundesländern zu den wichtigsten drei Bestimmungsländern für GreenTech-Exporte gezählt. Ein Blick auf die Karte in Abbildung 100 macht auch deutlich, dass neben China vor allem die Russische Föderation und die Länder des Nahen Ostens in vielen Bundesländern als wichtige Absatzmärkte für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz wahrgenommen werden. Auffällig ist, dass Japan als Absatzmarkt kaum präsent ist.

Generell erweist sich die Branche Umwelttechnik und Ressourceneffizienz als ausgesprochen regional orientiert: Im gesamtdeutschen Durchschnitt erwirt-

Abbildung 99: Durchschnittliche Exportquote (nicht nach Umsatz der Unternehmen gewichtet) nach Bundesländern

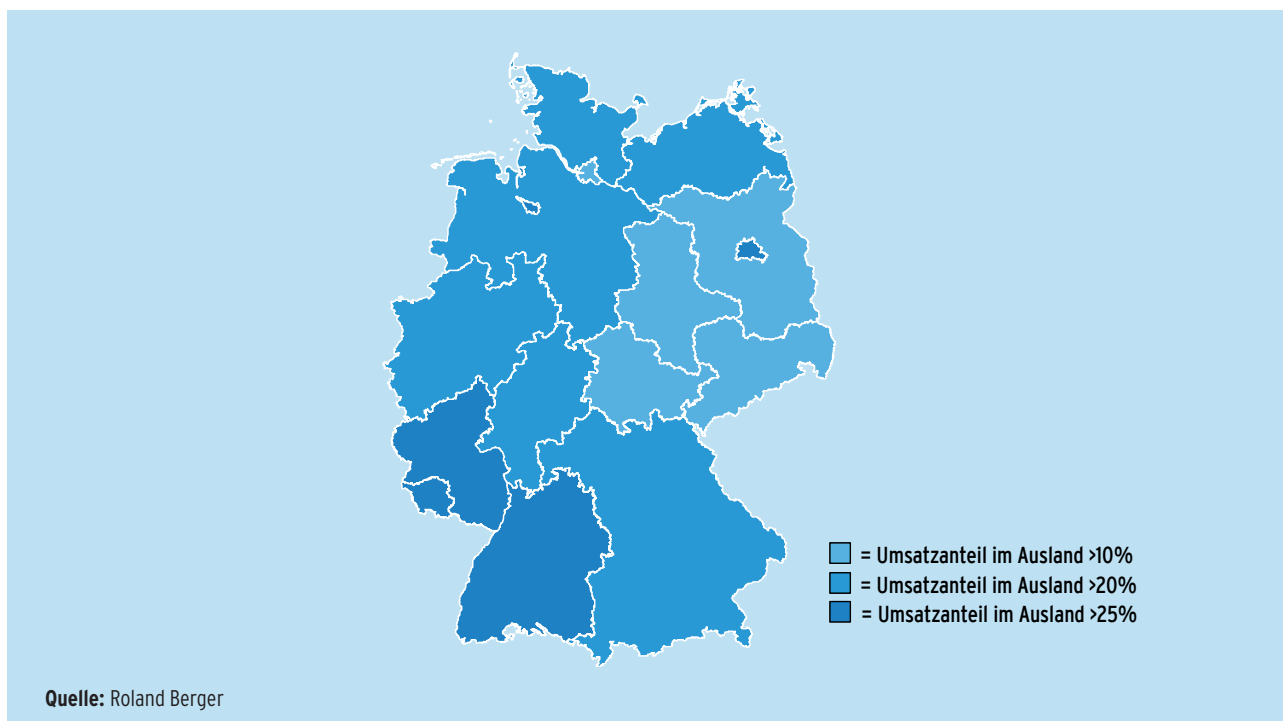


Abbildung 100: Top-3 Absatzmärkte außerhalb Europas aus Sicht der Unternehmen

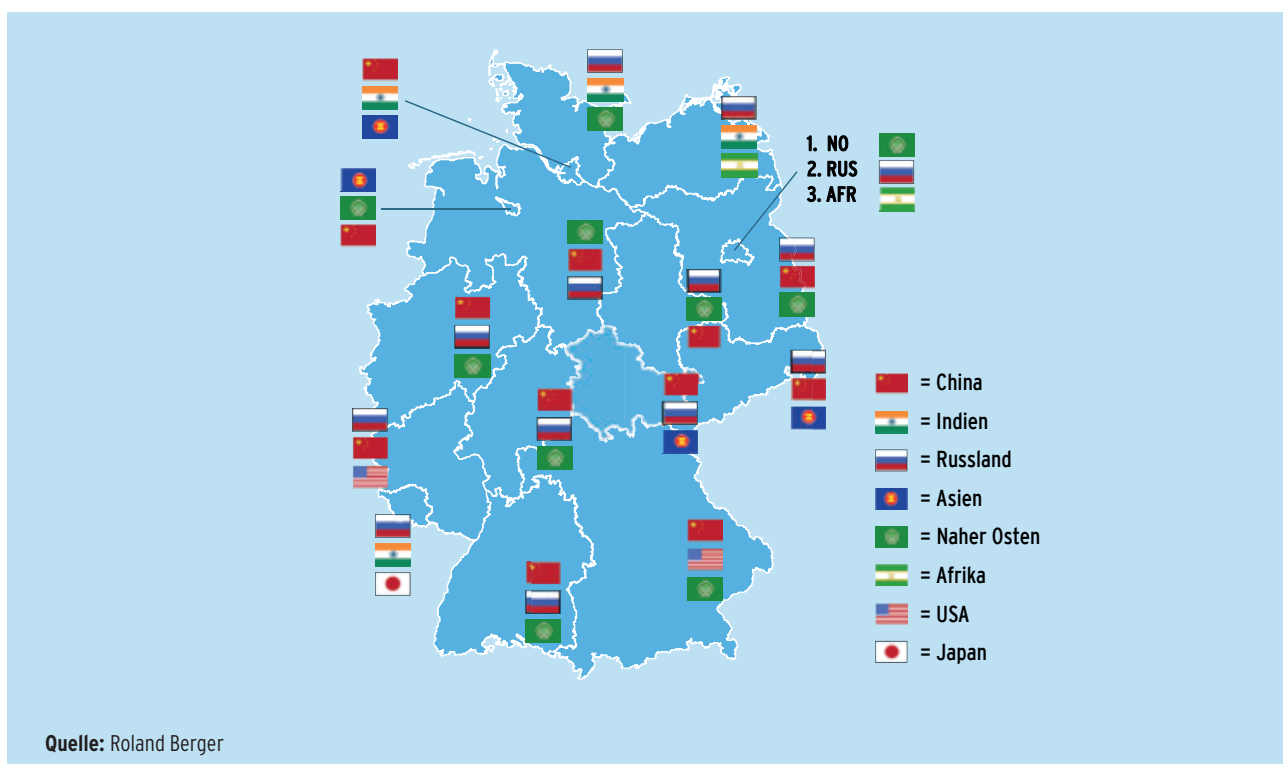
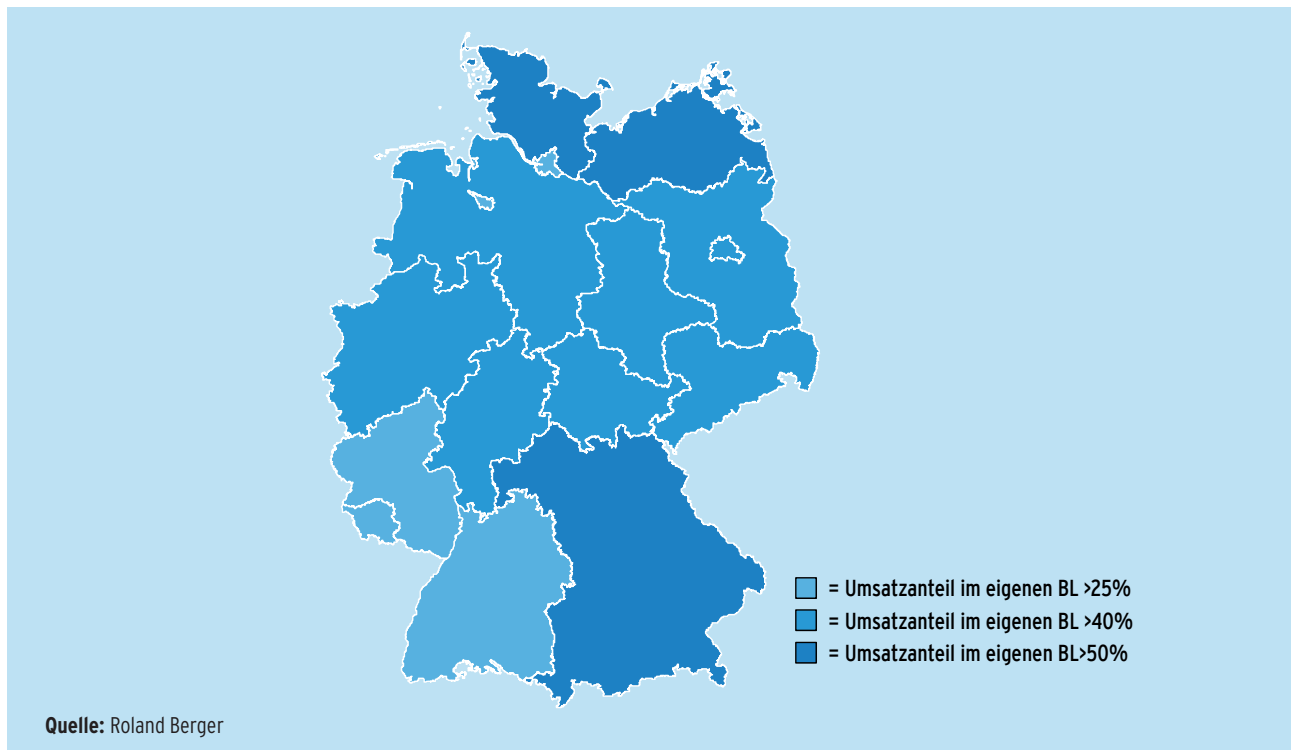


Abbildung 101: Im Bundesland des Firmensitzes erzielter Anteil am Gesamtumsatz



schaften die Unternehmen dieses Wirtschaftszweigs 46 Prozent ihres Umsatzes innerhalb des eigenen Bundeslandes. Abbildung 101 stellt dar, wie stark in den einzelnen Bundesländern die Umsatzanteile ausfallen, die die Unternehmen in ihrem „Heimatbundesland“ erwirtschaften. Dabei werden auf der Deutschlandkarte drei Gruppen abgebildet: In Kategorie 1 fallen Länder, in denen die dort ansässigen Umwelttechnik-Unternehmen durchschnittlich mehr als ein Viertel ihres Gesamtumsatzes im eigenen Bundesland generieren. In Kategorie 2 liegt dieser durchschnittliche Anteil bei über 40 Prozent und in Kategorie 3 bei mehr als 50 Prozent.

Technologie-Schwerpunkte in den Bundesländern

Die **Schwerpunktsetzung innerhalb des Marktes für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz fällt in den einzelnen Bundesländern sehr unterschiedlich aus.** Dieses Ergebnis ist nicht überraschend: Als typische Querschnittsbranche hat sich die Umwelttechnik in vielen Bereichen auf dem Fundament bereits vorhandener „klassischer“ Industrien entwickelt. Diese Basis hat jedoch in den verschiedenen Regionen Deutschlands ein jeweils eigenes Profil. Hinzu kommen noch spezifische Voraussetzungen in den einzelnen Ländern: Es liegt auf der Hand, dass die Zentren der Windkraft zunächst in den küstennahen Bundesländern Norddeutschlands heimisch wurden. In der folgenden Übersicht wird abgebildet,

welche Technologielinien von den Unternehmen in den einzelnen Bundesländern am häufigsten als Tätigkeitsschwerpunkte genannt werden. Unter den Begriff ‚Technologielinien‘ werden Produkte, Verfahren und Dienstleistungen gefasst. Die Abbildungen 102a und 102b zeigen die Top-3-Technologielinien nach dem Kriterium der Häufigkeit der Nennungen, nicht gewichtet nach Umsatz. Ein Symbol hinter jeder Technologielinie kennzeichnet, welchem Leitmarkt sie zuzuordnen ist.

Es zeigt sich, dass **die vorherrschenden Technologielinien in jedem Land die regionale Spezifizierung der Umwelttechnik-Branche abbilden**, beispielsweise Windenergie in Bremen oder Photovoltaik in Berlin. Als länderübergreifendes Charakteristikum hat sich herauskristallisiert, dass die Technologielinien aus dem Leitmarkt Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung am häufigsten in den Leistungsportfolien der Unternehmen zu finden sind. Ausnahmen von dieser für Gesamtdeutschland zu beobachtenden Tendenz bilden lediglich Mecklenburg-Vorpommern und Sachsen-Anhalt. In Mecklenburg-Vorpommern dominieren der Gewässerschutz und die Abwasserbehandlung aus dem Leitmarkt Nachhaltige Wasserwirtschaft, gefolgt von der Technologielinie Bodenschutz aus dem Leitmarkt Kreislaufwirtschaft. In Sachsen-Anhalt führen mit der Abfalltrennung und der Energetischen Abfallvermeidung zwei Technologielinien aus dem Leitmarkt Kreislaufwirtschaft die Top-3-Technologielinien an. Als Trend-Technologielinien in den Angebotsportfoli-

en der Unternehmen können in allen Bundesländern die Nutzung von Biomasse sowie Blockheizkraftwerke (KWK) identifiziert werden.

Gewichtung der Standortfaktoren

Im Rahmen der Branchenanalyse der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz wurde ermittelt, wie die Unternehmen dieses Wirtschaftszweiges zwölf Standortfaktoren bewerten (siehe Abbildung 94). Die Frage lautete: „Wie stark beurteilen Sie in den angegebenen Standortfaktoren Ihr Unternehmen im Bereich Umwelttechnik und Ressourceneffizienz im Vergleich zum Wettbewerb (national und international)?“ Als mögliche Antworten waren „besser“, „gleich“ oder „schlechter“ vorgegeben. Die Beurteilung erfolgte also relativ zum Wettbewerb.

Es zeigt sich deutschlandweit, dass Innovationsfähigkeit und Flexibilität als besonders positive Standortfaktoren wahrgenommen werden. Im Hinblick auf politische Rahmenbedingungen und Vernetzung in die Politik wird offensichtlich Nachholbedarf registriert; in diesen beiden Kategorien waren unter den Nennungen die meisten Bewertungen der Note „schlechter“ zu verzeichnen. Bei den Kostenvorteilen unterscheidet sich die Bewertung deutlich zwischen den einzelnen Leitmärkten und nach Unternehmensgröße: Insbesondere kleine Unternehmen im Leitmarkt Energieeffizienz beurteilen ihre Positionierung in Bezug auf „Kostenvorteile“ im Vergleich zu den Wettbewerber als „besser“. Dagegen bewerten die großen Unternehmen im Leitmarkt Nachhaltige Mobilität ihre Stellung im Hinblick auf dieses Merkmal eher als „schlechter“. Eine ähnliche Differenzierung nach Unternehmensgröße ist auch bei den Kategorien Internationalität und Finanzkraft zu verzeichnen. Auch bezüglich dieser Standortfaktoren weicht die Selbsteinschätzung je nach Größe der Unternehmen ab: Große Unternehmen betrachten sich eher als „besser“, kleine Unternehmen eher als „schlechter“ als die Wettbewerber.

Abbildung 94 hat die Bewertung der Standortfaktoren im gesamtdeutschen Maßstab dargestellt. Um ein detaillierteres Bild zu gewinnen, wurde im Rahmen der Branchendarstellung ausgewertet, ob und wenn ja welche **Unterschiede sich bei der Gewichtung der Standortfaktoren zwischen den Unternehmen in den einzelnen Bundesländern** ergeben. Als Ergebnis zeigt sich, dass die **Bewertung über alle Bundesländergrenzen hinweg sehr homogen** ausfällt: Die drei Merkmale Innovationsfähigkeit, Flexibilität und qualifiziertes Personal werden von den Unternehmen in den meisten Bundesländern länderübergreifend als diejenigen Standortfaktoren wahrgenommen, in denen sich die Firmen als „besser“ positioniert fühlen als ihre Konkurrenten im In- und Ausland (siehe Abbildungen 103a und 103b).

Abbildung 102a: Top-3 Technologielinien (nach Häufigkeit der Nennungen) und Leitmarktzuordnung nach Bundesland

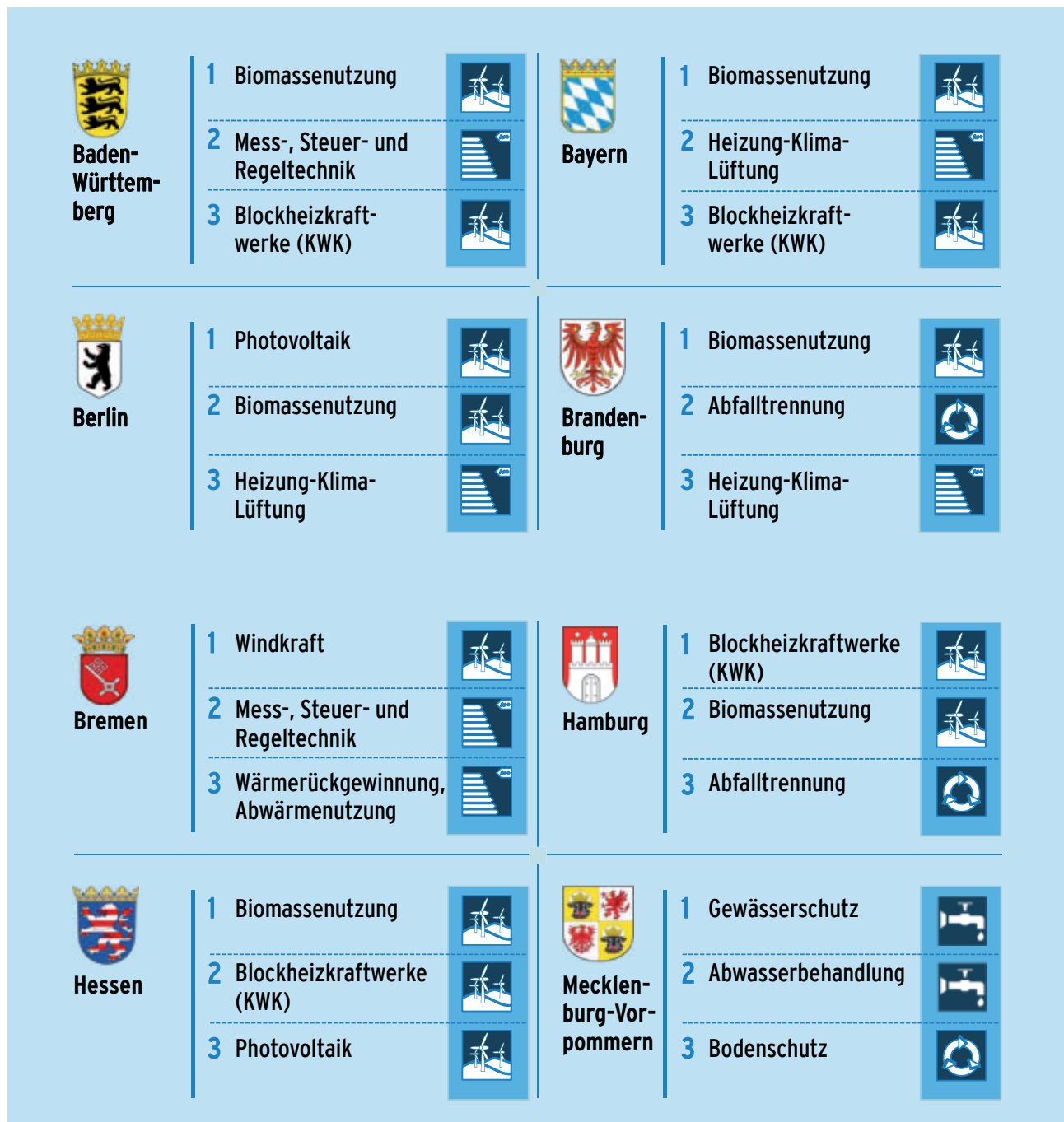


Abbildung 102b: Top-3 Technologielinien (nach Häufigkeit der Nennungen) und Leitmarktzuordnung nach Bundesland

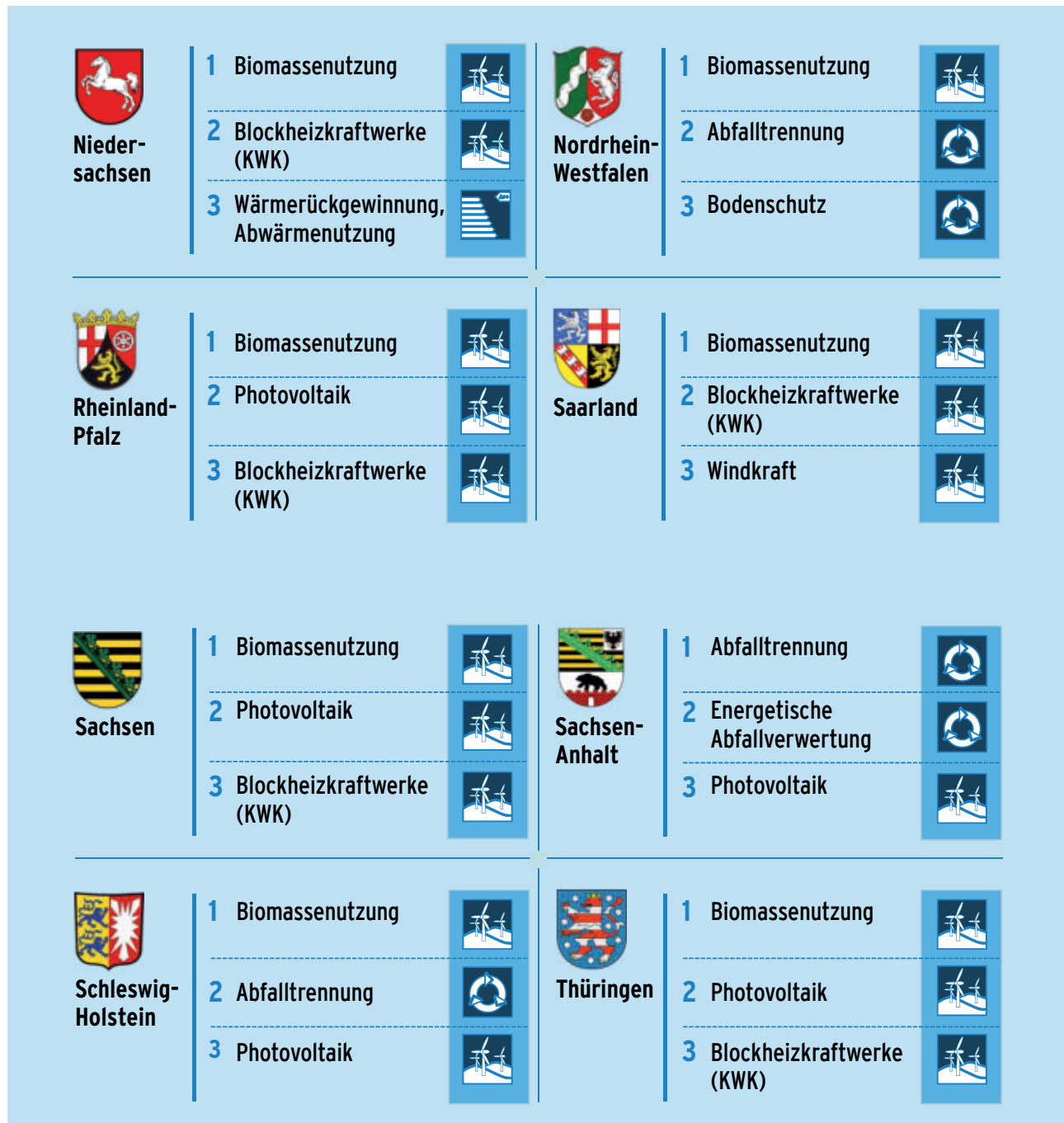
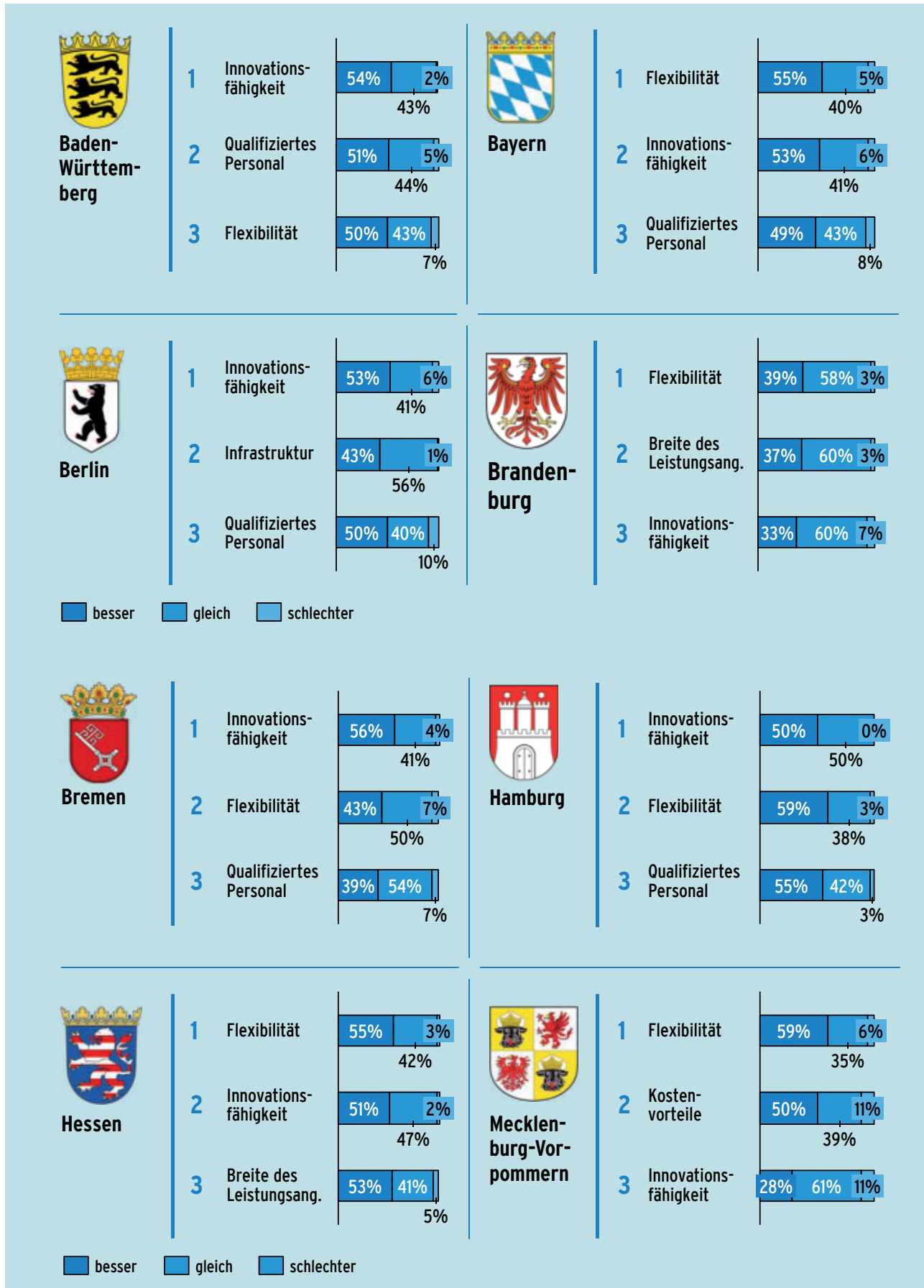
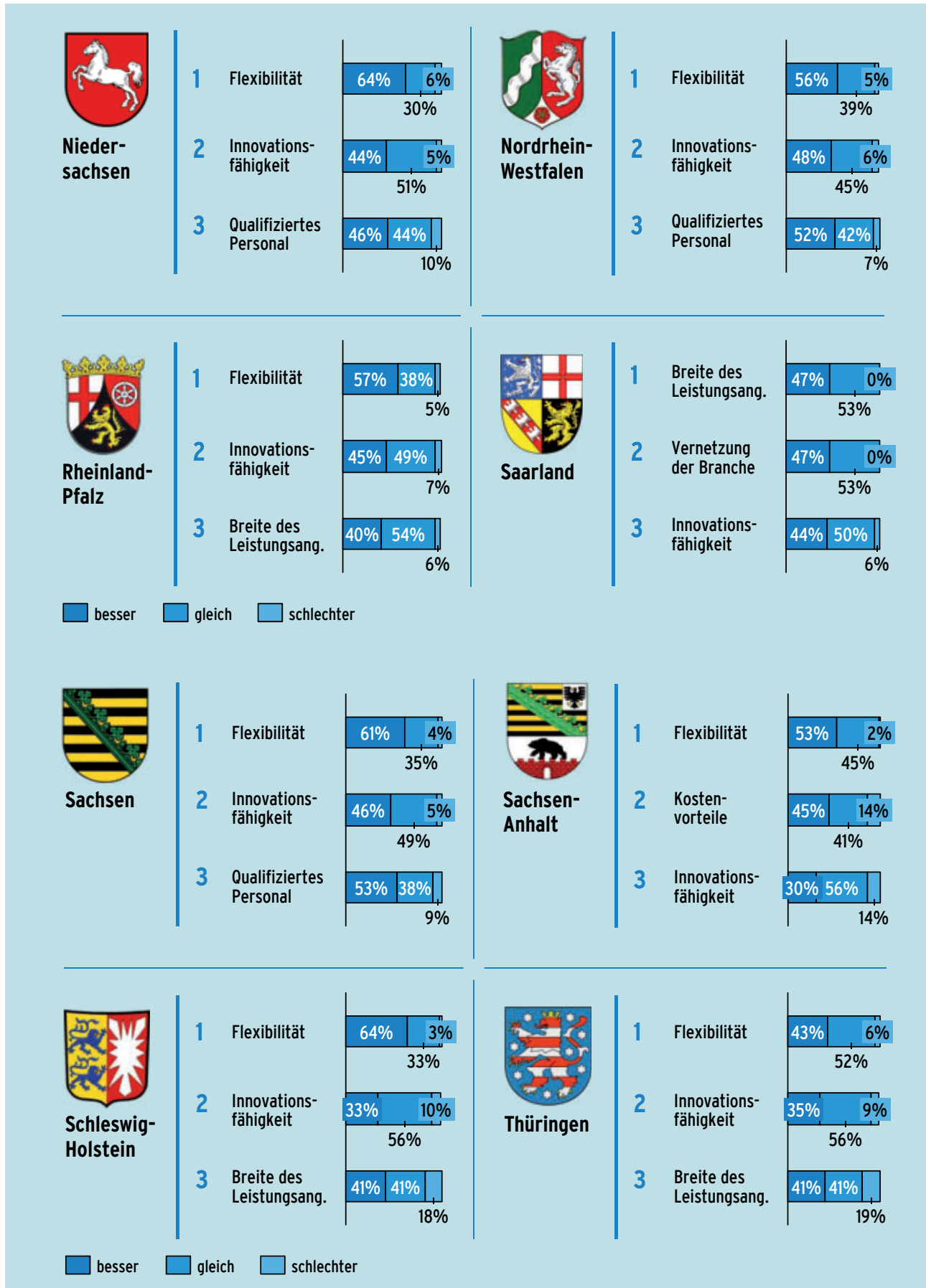


Abbildung 103a: Top-3-Standortfaktoren aus Sicht der Unternehmen nach Bundesland

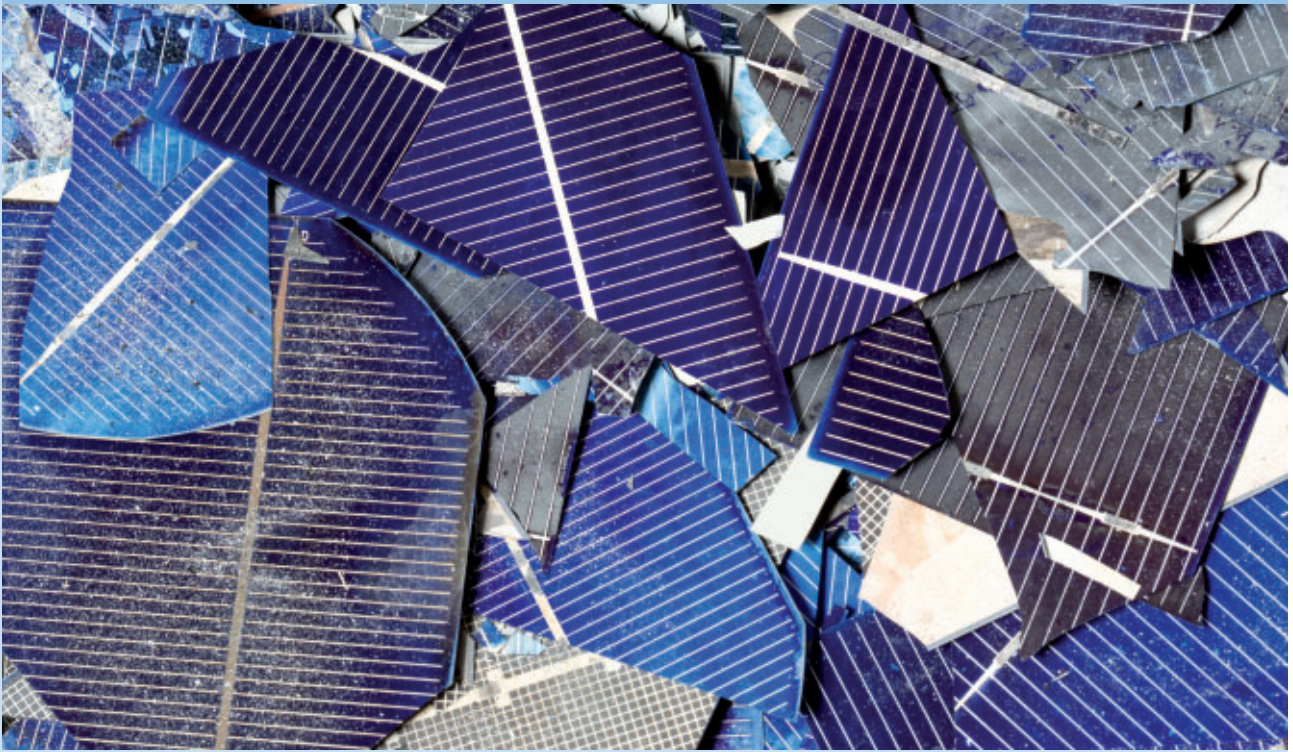


Quelle: Roland Berger

Abbildung 103b: Top-3-Standortfaktoren aus Sicht der Unternehmen nach Bundesland



Quelle: Roland Berger



Unterstützungsmaßnahmen in den Bundesländern

Vor dem Hintergrund der globalen Megatrends Klimawandel und Ressourcenknappheit wird in den nächsten Jahrzehnten die Nachfrage nach Produkten und Verfahren der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz auf den Märkten im In- und Ausland zunehmen. Alles spricht dafür, dass die GreenTech-Branche auch künftig expandiert. Anbieter aus Deutschland können von dieser Entwicklung besonders profitieren, denn sie sind in den meisten Bereichen bereits heute ausgezeichnet auf den globalen „grünen Märkten“ positioniert. Insofern deutet alles darauf hin, dass sich die Umwelttechnik und Ressourceneffizienz künftig zu einer der Schlüsselindustrien am Standort Deutschland entwickeln wird - mit entsprechend positiven volkswirtschaftlichen Effekten für Wachstum und Beschäftigung.

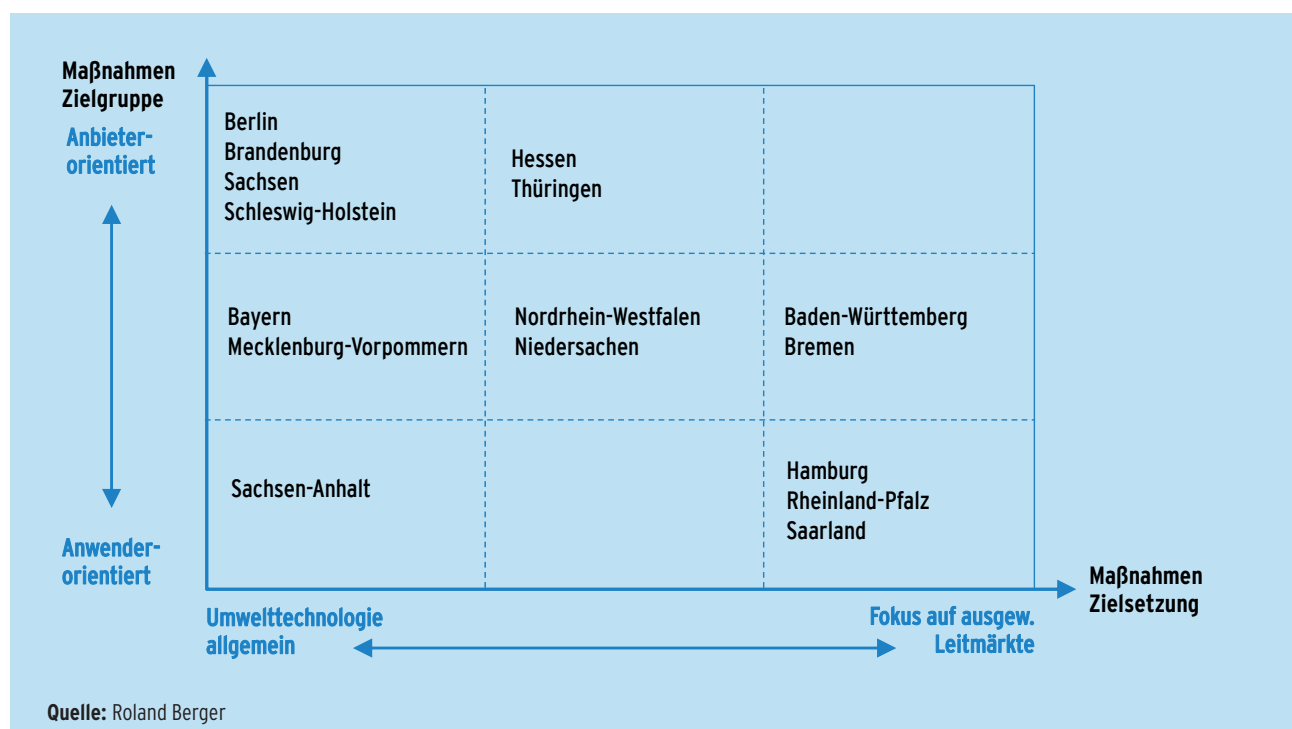
Angesichts dieser hervorragenden Aussichten ist die **Unterstützung der jungen, innovativen Branche Umwelttechnik und Ressourceneffizienz ein wichtiges Anliegen von Bund, Ländern und Kommunen**. Im Fokus stehen hier die vielfältigen Aktivitäten, die die Bundesländer entfalten, um das GreenTech-Potenzial zu heben. Die Unterstützung dieser Branche erfolgt sowohl direkt, das heißt unmittelbar durch die Förderung der GreenTech-Unternehmen, als auch indirekt. In diesem Fall ist der Hebel eine Stimulierung der Nachfrage nach Erzeugnissen der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz. Unterschiede bei der Förderung lassen sich in Bezug auf die Bandbreite der Förderinstrumente feststellen: Es gibt sowohl Unterstützungsmaßnahmen, deren Konzeption leitmarktspezifisch ausgerichtet ist, als auch Förderprojekte, die die Querschnittsbranche Umwelttechnik und Ressourceneffizienz in ihrer Gesamtheit adressieren. Einen Überblick über die Verortung der Schwerpunkte in den Förderansätzen der einzelnen Bundesländer gibt Abbildung 104. Die vertikale Achse dieses Koordinatensystems bildet die Zielgruppenorientierung ab. Die Positionierung der Bundesländer entlang dieser X-Achse richtet sich nach danach, ob die Fördermaßnahmen in erster Linie die Anbieter oder die Anwender von Umwelttechnik adressieren. Auf der horizontalen Achse sind die Bundesländer nach der Zielsetzung der Fördermaßnahmen ausgerichtet. Das Spektrum reicht hier von einer eher allgemeinen,

leitmarktübergreifenden Zielsetzung über die Bearbeitung mehrerer Leitmärkte hin zur Fokussierung auf ausgewählte Leitmärkte.

Die **Förderung der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz** kommt nicht nur den GreenTech-Anbietern zugute: Vom Einsatz umweltfreundlicher und ressourcenschonender Technologie profitiert die gesamte Gesellschaft, denn auf diese Weise wird der **Strukturwandel in Richtung Green Economy** beschleunigt.

Die folgenden Seiten zeichnen ein **Panorama der breiten und vielfältigen Förderlandschaft** mit ihren zahlreichen spannenden Ideen und innovativen Ansätzen. Bei dieser Beschreibung der Förderaktivitäten geht es nicht um eine lückenlose Auflistung, sondern um eine **pointierte Darstellung einzelner, besonders herausragender Maßnahmen**. Dabei wurde für jedes Bundesland ein „Steckbrief“ erstellt, der ein wichtiges Projekt der GreenTech-Förderung zusammenfasst. Grundlage dafür waren Interviews mit Gesprächspartnern aus Umweltministerien und Wirtschaftsministerien aller deutschen Bundesländer. Die Förder-Profile der einzelnen Bundesländer sind identisch aufgebaut: Nach einer Beschreibung des Inhalts folgen Informationen über Branchenfokus, Budget, Laufzeit und Zielgruppe des Projekts.

Abbildung 104: Strategische Ausrichtung der Fördermaßnahmen der Bundesländer - Zielsetzung und Zielgruppen





Baden-Württemberg

Umwelttechnologie & Ressourceneffizienz
KOMPETENZATLAS
Baden-Württemberg



Der „Kompetenzatlas Umwelttechnik und Ressourceneffizienz Baden-Württemberg“ bietet eine umfassende Darstellung der Unternehmens- und Forschungslandschaft Baden-Württembergs in der Umwelt- und Ressourceneffizienzbranche: In den Profilen der Unternehmen und Forschungseinrichtungen werden Produkte, Verfahren und Dienstleistungen beziehungsweise Forschungsschwerpunkte beschrieben. Die Unternehmen sind dabei sechs Leitmärkten und über 100 Technologiefeldern zugeordnet. Der Kompetenzatlas ermöglicht das einfache Zusammenführen von potenziellen Kooperationspartnern durch schnelles und gezieltes Auffinden von Unternehmen auf Basis ihres Leistungsangebots; so schafft er ein Forum für unkomplizierte Vernetzung und Geschäftsanbahnung.

Internet	www.kompetenzatlas-umwelttechnik.de
Schwerpunkt	Innovationsförderung, Vernetzung
Branchenfokus	Branchenübergreifend
Ausgestaltung	Projekt
Budget	Einmalig 200.000 Euro
Laufzeit	Seit 2011
Zielgruppe	Unternehmen, Netzwerke, Verbände, Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen, Verwaltung, Ausland



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND VERKEHR



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR FINANZEN
UND WIRTSCHAFT



Bayern



Das Umweltcluster Bayern bündelt ressortübergreifend die im Freistaat vorhandenen Kompetenzen in den Bereichen Trinkwasser- und Abwasseraufbereitung, Abfall und Recycling, alternative Energiegewinnung, insbesondere Energie aus Abfällen und Biomasse, Luftreinhaltung, Ressourceneffizienz und Stoffstrommanagement. Ziel des Umweltclusters ist es, die bayerischen Unternehmen (vor allem KMU) dabei zu unterstützen, marktfähige Produkte zu entwickeln und herzustellen. Im Mittelpunkt stehen die Vernetzung von Unternehmen und Forschung, die Entwicklung von Pilotprojekten und der Aufbau zielgruppenspezifischer Informationen. Schwerpunktarbeitsgruppen helfen den Unternehmen, maßgeschneiderte Lösungen zu erarbeiten und anzubieten. Das Cluster liefert zudem für die Internationalisierung wichtige Informationen über Auslandsmärkte und Fördermöglichkeiten und stellt Kontakt zu relevanten Partnern her.

Internet	www.cluster-bayern.de/ www.umweltcluster.net/
Schwerpunkt	Internationalisierung, Innovationsförderung, Vernetzung
Branchenfokus	Branchenübergreifend
Ausgestaltung	Keine Angabe
Budget	Keine Angabe (Träger: Wirtschaftsministerium)
Laufzeit	Seit 2006
Zielgruppe	Unternehmen, insbesondere kleine und mittlere Unternehmen, Hochschulen, Forschungseinrichtungen





Berlin **Brandenburg**

Gemeinsame Innovationsstrategie der Länder Berlin und Brandenburg (innoBB)

Die Länder Berlin und Brandenburg haben eine gemeinsame Innovationsstrategie entwickelt. Ziel ist es, die wirtschaftliche Entwicklung in der Hauptstadtregion, insbesondere in wissensbasierten Bereichen, zu bündeln und die Innovationspotenziale und Synergien innerhalb der Gesamtregion in den nächsten Jahren effizient auszuschöpfen. Gemeinsame innovative Branchenbereiche werden als Zukunftsfelder zu nachhaltig wachsenden, international wettbewerbsfähigen Wissenschafts- und Wirtschaftsklustern weiterentwickelt. Die gemeinsamen Zukunftsfelder beinhalten unter anderem die Bereiche Biotechnologie/Medizintechnik/Pharma, Energietechnik sowie Informations- und Kommunikationstechnologie/Medien. Neben diesen Zukunftsfeldern wurden vier weitere Querschnittsthemen definiert, bei denen das Thema „Clean Technologies“ eine wichtige Rolle spielt. Hierzu zählen technologische Entwicklungen, die das Thema Nachhaltigkeit, vor allem Themen wie Umwelt- und Klimaverträglichkeit (bzw. -neutralität), in den Fokus stellen und den Herausforderungen des Klimawandels aktiv begegnen.

Internet	www.innovatives-brandenburg.de/de/2742.aspx www.zab-energie.de/de/3115.aspx
Schwerpunkt	Innovationsförderung, Vernetzung
Branchenfokus	Branchenübergreifend
Ausgestaltung	Institution
Budget	Keine Angabe
Laufzeit	Seit 2010
Zielgruppe	Unternehmen und wissenschaftliche Einrichtungen



Bremen



Ziel der „initiative umwelt unternehmen“ ist es, verschiedene Aktivitäten zur Unterstützung einer umweltgerechten Wirtschaft erkennbar zusammenzuführen und Unternehmen in Bremen und Bremerhaven dabei zu unterstützen, den Anforderungen eines nachhaltigen Wirtschaftens begegnen zu können. Die Initiative vereint die Aktivitäten „partnerschaft umwelt unternehmen“, den „preis umwelt unternehmen“ sowie die Auszeichnung „Klimaschutzbetrieb CO₂-20“; mit ihr werden Unternehmen geehrt, die ihren CO₂-Ausstoß in den vorherigen fünf Jahren um 20 Prozent reduziert haben. Weiterhin umfasst die Initiative Förderprogramme für anwendungsnahe Umwelttechniken und angewandte Umweltforschung sowie Beratungsprogramme zur betrieblichen ökologischen Effizienz und zum verantwortlichen Wirtschaften. Sie komplementiert damit die Innovationsstrategie des Landes Bremen, die ihren Fokus auf Unternehmen im Bereich der erneuerbaren Energien (insbesondere Windkraft) sowie der maritimen Wirtschaft/Logistik und der Luft- und Raumfahrt setzt.

Internet	www.umwelt-unternehmen.bremen.de
Schwerpunkt	Internationalisierung, Innovationsförderung, Vernetzung
Branchenfokus	Branchenübergreifend
Ausgestaltung	Förderprogramm/Wettbewerb
Budget	Keine Angabe, Finanzierung durch Landes- und EU-Mittel
Laufzeit	Seit 2003, zum Teil bereits seit 1995
Zielgruppe	Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft sowie Anbieter von Dienstleistungen, die ihren Sitz oder eine Betriebsstätte im Land Bremen haben; insbesondere kleine und mittlere Unternehmen



Hamburg

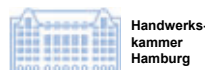


Unternehmen für
Ressourcenschutz

beraten · vernetzen · fördern

Das Programm „Unternehmen für Ressourcenschutz“ richtet sich an alle Hamburger Produktions- und Dienstleistungsunternehmen sowie Handwerksbetriebe. Es zielt darauf ab, vorhandene Potenziale zur Einsparung von Energie, Wasser und Rohstoffen zu erschließen. Mit dem kundenorientierten Programmangebot sollen freiwillige Investitionen in Ressourceneffizienzmaßnahmen zum Klimaschutz initiiert werden. Die Ziele des Programms sind unter anderem die finanzielle Förderung von Investitionen in den Ressourcenschutz, Reduzierung der CO₂-Emissionen, effizienter Einsatz von Ressourcen wie Energie, Wasser und Rohstoffen, Senkung der Betriebskosten in den Unternehmen, Stärkung des vorsorgenden Umweltschutzes, Sicherung des Wirtschaftsstandorts Hamburg und der örtlichen Lebensqualität. Die Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt bietet alles aus einer Hand, von der finanziellen Förderung über die Beratung, auch vor Ort, bis zur Vermittlung von Spezialisten und der Entwicklung von wirtschaftlichen Lösungsansätzen.

Internet	www.klima.hamburg.de
Schwerpunkt	Finanzierung, Innovationsförderung, Vernetzung
Branchenfokus	Branchenübergreifend
Ausgestaltung	Förderprogramm/Wettbewerb
Budget	Circa 5 Mio. Euro pro Jahr
Laufzeit	Seit 2001
Zielgruppe	Produktions- und Dienstleistungsunternehmen, Handwerksbetriebe



INDUSTRIEVERBAND
HAMBURG E.V.



Hessen

Aktionslinie Hessen - Umwelttech

Die „Aktionslinie Hessen-Umwelttech“ ist die zentrale Plattform des Hessischen Wirtschaftsministeriums für die Umwelttechnologiebranche. Sie stärkt die Wettbewerbsfähigkeit und Innovationskraft von hessischen Herstellern und Dienstleistern der Umwelttechnik und fungiert – insbesondere im Hinblick auf die Themen Ressourceneffizienz und Produktionsintegrierter Umweltschutz (PIUS) – als Schnittstelle zu Umwelttechnologieanwendern. Die Aktionslinie bietet Informationen, Kommunikationsangebote und Kooperationsmöglichkeiten für Umwelttechnologieanbieter und -anwender, zum Beispiel aus den Segmenten Wasser- und Abwasser-, Abfall- und Recyclingtechnologie sowie erneuerbare Energien und Energieeffizienz. Sie berät Unternehmen, fördert den Technologietransfer und stellt die Kompetenzen der hessischen Umwelttechnologie dar.

Internet	www.hessen-umwelttech.de
Schwerpunkt	Internationalisierung, Innovationsförderung, Vernetzung
Branchenfokus	Umwelttechnikbranche
Ausgestaltung	Projekt
Budget	Circa 600.000 Euro pro Jahr
Laufzeit	Seit 1999
Zielgruppe	Umwelttechnologie-Unternehmen

HESSEN



Hessisches Ministerium
für Wirtschaft, Verkehr
und Landesentwicklung



Coaching von Bioenergieidörfern

Mecklenburg-Vorpommern

Das „Coaching Bioenergieidörfer“ zielt auf die stärkere Etablierung der Energieversorgung aus regenerativen Quellen ab. Hierfür sollen neue Initiativen zur Erzeugung und Nutzung regenerativer Energien unterstützt und bestehende Bioenergieinitiativen in Mecklenburg-Vorpommern begleitet werden. Das „Coaching Bioenergieidörfer“ der Akademie für Nachhaltige Entwicklung Mecklenburg-Vorpommern wird durch den Zukunftsfonds Mecklenburg-Vorpommern unterstützt und genießt somit die Wertschätzung als eines der innovativen Projekte bei der nachhaltigen Gestaltung des Landes. Durch die Kontakte zu den zahlreichen Initiativen in anderen Ländern und auf Bundesebene sollen zentrale Akteure, Ideen, Projekte und Diskussionsebenen der nachhaltigen Nutzung von erneuerbaren Energien miteinander vernetzt werden. Im Rahmen des Coachings werden beispielsweise die Potenziale der jeweiligen Gemeinde analysiert und darauf aufbauend ein Konzept definiert. Neben dem Aufzeigen der unterschiedlichen Fördermöglichkeiten stehen dann die fachliche Begleitung und Unterstützung bei der Umsetzung des Konzeptes im Mittelpunkt des Coachings.

Internet	www.nachhaltigkeitsforum.de
Schwerpunkt	Finanzierung, Vernetzung
Branchenfokus	Branchenübergreifend
Ausgestaltung	Projekt
Budget	Circa 100.000 Euro pro Jahr
Laufzeit	2009 bis 2011, Weiterführung in Vorbereitung
Zielgruppe	Unternehmen und Kommunen





Niedersachsen

Innovationszentrum Niedersachsen GmbH



Das „Innovationszentrum Niedersachsen“ berät als hundertprozentige Landestochter die Landesregierung ressortübergreifend bei der Strategieentwicklung im Bereich der Technologie- und Innovationspolitik. Zu wichtigen Aufgaben zählen die Aktivierung, Steuerung und Evaluierung technologieorientierter Initiativen sowie die Technologiebewertung in verschiedenen Förderlinien des Landes Niedersachsen. Ziel ist die Förderung technologischer Innovationen zur Steigerung des Wirtschaftswachstums und zur Schaffung zukunftsfähiger Arbeitsplätze in Niedersachsen. Im Fokus des Innovationszentrums Niedersachsen befinden sich dabei zukunftsweisende Schlüsseltechnologien, beispielsweise in den Bereichen Umweltschutz, Produktionstechnik, Fahrzeugtechnik und Life-Science. Beratungsstellen und Förderprojekte zum Thema Umwelttechnik sind in dem „Forschungs- und Kompetenzzentrum Windenergie“, dem „Kompetenzzentrum Nachwachsende Rohstoffe“ sowie der „Landesinitiative Brennstoffzelle Niedersachsen“ und der „Landesinitiative Bioenergie Niedersachsen“ gebündelt.

Internet	www.iz-nds.de
Schwerpunkt	Innovationsförderung
Branchenfokus	Branchenübergreifend
Ausgestaltung	Institution
Budget	Keine Angabe
Laufzeit	Seit 2003
Zielgruppe	Gewerbliche Wirtschaft in Niedersachsen, insbesondere kleine und mittlere Unternehmen



Niedersächsisches Ministerium
für Umwelt und Klimaschutz





Nordrhein-Westfalen

Förderwettbewerb Ressource.NRW

Der Förderwettbewerb „Ressource.NRW“ ist fester Bestandteil des EU-NRW Programms „Regionale Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung 2007-2013“ (EFRE) und wird von der EU und vom Land NRW gemeinsam finanziert. Zum ersten Mal wurde der Wettbewerb 2009/2010 im Auftrag des NRW-Umwelt- und Wirtschaftsministeriums durch die Effizienz-Agentur NRW (EFA) durchgeführt. 2011/2012 wird der Wettbewerb im Auftrag des NRW-Umweltministeriums zum zweiten Mal ausgetragen. Das avisierte Investitions-, Forschungs- und Entwicklungsvolumen des zweiten Durchgangs beträgt circa 88 Mio. Euro.

Der Wettbewerb richtet sich an Akteure aus Wirtschaft und Wissenschaft. Ziel ist es, innovative Effizienzansätze in die Praxis zu übertragen. Gefördert werden Vorhaben mit Bezug zur Ressourceneffizienz, die den Charakter der „Experimentellen Entwicklung“ oder der „Industriellen Forschung“ haben, sowie Investitionen zur Einführung produktionsintegrierter und/oder produktbezogener Maßnahmen, die besondere Umweltrelevanz aufzeigen.

Internet	www.efanrw.de/index.php?id=418&L=
Schwerpunkt	Finanzierung, Innovationsförderung
Branchenfokus	Branchenübergreifend
Ausgestaltung	Förderprogramm/ Wettbewerb
Budget	Circa 4,7 Mio. Euro (Umfang der Landesfördermittel)
Laufzeit	Seit 2009
Zielgruppe	Vorwiegend kleine und mittlere Unternehmen





Rheinland-Pfalz



Die Glas- und Keramikindustrie ist ein bedeutender Industriezweig in Rheinland-Pfalz, der durch die derzeitigen wirtschaftlichen Entwicklungen in erheblichem Maße tangiert wird. Ein „Branchenkonzept zur Verbesserung der Material- und Energieeffizienz in der Keramikindustrie“ unterstützt diese Unternehmen nun dabei, ihre Wettbewerbsfähigkeit weiter zu verbessern. Aufbauend auf Effizienzanalysen werden prozessspezifische Konzepte entwickelt und getestet. Die Verknüpfung der Betriebe in einem Netzwerk ermöglicht darüber hinaus den Informationsaustausch über die gesamte Wertschöpfungskette und birgt Chancen für Win-win-Effekte durch Kooperationen. Das Branchenkonzept ist ein Projekt des Effizienznetzes Rheinland-Pfalz (EffNet), das der zentrale Ansprechpartner für Fragen zu Ressourceneffizienz, Energie und Umwelt in Rheinland-Pfalz ist.

Internet	www.effnet.rlp.de/Projekte/EffNet-Projekte/
Schwerpunkt	Vernetzung, Innovationsförderung
Branchenfokus	Keramikindustrie
Ausgestaltung	Projekt
Budget	216.000 Euro (zum Teil Nutzung von EU-Fördermitteln)
Laufzeit	2010 bis 2012
Zielgruppe	Betriebe der Keramikindustrie und keramischen Rohstoffindustrie





Saarland

Klima Plus Saar

Die Klimaschutz-Strategie im Saarland heißt Minderung des CO₂-Ausstoßes um 80 Prozent bis 2050. Dies wird durch kohlenstoffarme Technologien erreicht, hauptsächlich durch den Einsatz erneuerbarer Energien und die Steigerung der Energieeffizienz. Das neue Programm Klima Plus Saar setzt deshalb folgende Impulse:

- Die Städte und Gemeinden in ihrer strategischen Klimaschutz- und Energieplanung unterstützen
- Mit mehr Energieeffizienz den Wärmebedarf und damit die Heizungskosten senken
- Die Energie, die gar nicht erst benötigt wird, muss auch nicht erzeugt werden
- Den erneuerbaren Energien mehr Marktanteile sichern
- Ziel der Landesregierung ist es, bis 2020 den Anteil der erneuerbaren Energien im Stromsektor auf 20 Prozent gegenüber 2009 zu verfünffachen
- Technische Innovation anregen
- Pilot- und Demonstrationsvorhaben sollen damit auf Marktreife und Breitenanwendung getestet werden

Internet	www.saarland.de/81044.htm
Schwerpunkt	Finanzierung, Innovationsförderung
Branchenfokus	Branchenübergreifend
Ausgestaltung	Förderprogramm/Wettbewerb
Budget	5 Mio. Euro pro Jahr
Laufzeit	2011-2013
Zielgruppe	Privatpersonen, Unternehmen (KMU), Vereine und Verbände

Saarland

Ministerium für Umwelt,
Energie und Verkehr


Sachsen
**Wirtschaftsförderung
Sachsen**

Das Sächsische Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft arbeitet seit Mai 2008 auf der Grundlage eines Geschäftsbesorgungsvertrags mit der Wirtschaftsförderung Sachsen GmbH. Die bereits seit 2003 bestehende Kooperation wurde damit institutionalisiert. Einmal jährlich wird ein Arbeitsprogramm abgestimmt, das zehn bis zwölf Einzelmaßnahmen umfasst. Dazu zählen Auslandsreisen, Maßnahmen im Inland mit Auslandsbezug sowie Aktivitäten zur besseren Vernetzung. Arbeitsgrundlage sind die Ergebnisse der Branchenstudie „Greentech - made in Saxony“, die im Januar 2009 vorgelegt wurde. Diese stellt für die Unternehmen der Umwelttechnik-Branche in Sachsen noch Nachholbedarf fest, unter anderem in den Bereichen Internationalisierung sowie Forschung und Innovation.

Internet	www.sab.sachsen.de www.wfs.sachsen.de
Schwerpunkt	Internationalisierung, Innovationsförderung, Vernetzung
Branchenfokus	Umwelttechnikbranche
Ausgestaltung	Förderprogramm/Wettbewerb
Budget	Keine Angabe
Laufzeit	Seit 2003
Zielgruppe	Kleine und mittlere Unternehmen (KMU), Umwelttechnik-Unternehmen



Sachsen-Anhalt



Die Projektförderung „Biomasse Best4VarioUse“ ist ein Gemeinschaftsprojekt des Fraunhofer-Instituts IFF Magdeburg in Zusammenarbeit mit dreizehn deutschen und vier spanischen Partnern und wird im Rahmen des LIFE+ Programms durch die Europäische Kommission und das Land Sachsen-Anhalt (Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt) finanziert. Ziel des Projekts ist die Entwicklung und Anwendung ökonomisch-ökologischer Top-Technologien für die Biomassenutzung in den Bereichen Land- und Forstwirtschaft sowie Landschaftspflege, der Aufbau ökonomisch-ökologisch effizienter Stoffströme und im Ergebnis die Schaffung wichtiger Impulse für die langfristige Erhaltung der Wettbewerbsfähigkeit und Sicherung von Arbeitsplätzen. Weitere Bereiche innerhalb des Projekts sind Test, Demonstration und Transfer der Anwendbarkeit konventioneller und innovativer Lösungen der Aufgabe, holzartige Abfallstoffe wieder für die Energiegewinnung oder als Rohstoff nutzbar zu machen. Das beinhaltet auch die Bestimmung und Bewertung von Best Practices und Technologien zur Schaffung ökonomisch und ökologisch effizienter Biomasseströme.

Internet	www.best4varioususe.iff.fraunhofer.de/
Schwerpunkt	Internationalisierung, Innovationsförderung, Vernetzung
Branchenfokus	Umwelttechnikbranche
Ausgestaltung	Projekt
Budget	Circa 4 Mio. Euro/ 3 Jahre (Gesamtansatz)
Laufzeit	2009 bis 2011
Zielgruppe	Unternehmen und Einrichtungen der Regionen Sachsen-Anhalt und Valencia





Schleswig-Holstein

Innovationsberatung Innovationsaudit Förderprogramme

Es ist das Ziel dieser Initiative, Greentech-Unternehmen in Schleswig-Holstein durch ein gezieltes, auf Innovation ausgelegtes Beratungsangebot durch Technologieexperten und Innovationsberater zu unterstützen. Vor allem durch gezielte Innovationsaudits kann den Unternehmen bei der Analyse, Entwicklung und Umsetzung innovativer Projekte geholfen werden. Weiterhin informieren die Innovationsberater über branchenbezogene Entwicklungen und Schutzrechte. Eingebunden in regionale, nationale und internationale Netzwerke verstehen sich die Innovationsberater als Bindeglied zwischen Wirtschaft, Wissenschaft und Politik – und vermitteln so die passenden Kooperationspartner. Unternehmen werden weiterhin durch Landesförderprogramme wie „Umweltinnovationen“, „Innovationsassistent“ und „FET – Forschung, Entwicklung und Technologietransfer“ unterstützt. Die Innovationsberatung sowie die Abwicklung der Förderprogramme werden durch die Wirtschaftsförderung und Technologietransfer Schleswig-Holstein GmbH (WTSH) durchgeführt.

Internet	www.wtsh.de
Schwerpunkt	Innovationsförderung, Vernetzung
Branchenfokus	Branchenübergreifend
Ausgestaltung	Institution, Förderprogramm/Wettbewerb
Budget	Circa 1,5 Mio. Euro pro Jahr
Laufzeit	Seit 2008
Zielgruppe	Vornehmlich kleine und mittlere Unternehmen (KMU); antragsberechtigt sind Unternehmen mit Sitz oder Betriebsstätte in Schleswig-Holstein



Ministerium für
Landwirtschaft, Umwelt
und ländliche Räume
Schleswig-Holstein





Thüringen

Förderprogramm
THÜRINGEN
GREENTECH

Das Programm „Thüringen – GreenTech“ soll zielgerichtet zur Entwicklung der Umwelttechnik in Thüringen beitragen. Ziel ist es, höhere Wertschöpfung und neues Wachstum sowie zusätzliche Beschäftigung zu generieren. Insgesamt werden im Rahmen dieses Programms insbesondere folgende Maßnahmen und Aktivitäten im Bereich der GreenTech-Themenfelder durch Zuschüsse des TMWAT aus Mitteln des Freistaates Thüringen, des Bundes und der EU-Strukturfonds EFRE und ESF unterstützt: Investitionen in erneuerbare Energien, Energieeffizienzmaßnahmen, nationale und transnationale Forschungs- und Entwicklungsvorhaben, Investitionen zur Einführung neuester Technologien sowie Technologietransfer, FuE-Verbundprojekte und Netzwerke/Cluster, der Einsatz von Personal in Forschung und Entwicklung, sachkapital- und lohnkostenbezogene Investitionen zur Errichtung und zum Ausbau von Betriebsstätten sowie Beratungsaufwendungen von Thüringer Unternehmen. Das Programm besteht aus einer Reihe von neuen und neu ausgerichteten Förder- und Unterstützungsinstrumenten (zum Beispiel ThEGA, Forschungs- und Technologieförderung).

Internet	www.thueringen.de/imperia/md/content/tmwta/foerderprogramm.pdf
Schwerpunkt	Finanzierung, Innovationsförderung, Vernetzung
Branchenfokus	Branchenübergreifend
Ausgestaltung	Förderprogramm/Wettbewerb
Budget	Circa 150 Mio. Euro
Laufzeit	Seit 2010
Zielgruppe	Unternehmen, Forschungs- und Bildungseinrichtungen, Kommunen, Verwaltungen, private Verbraucher







Highlights der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz „made in Germany“

Nahaufnahmen – Einblicke in eine dynamische und vielfältige Branche

Der Erfolg der Umwelttechnik-Branche in Deutschland ist das Werk einer Vielzahl unterschiedlicher Akteure aus der Wirtschaft, der Forschung und der Politik. Der vorliegende Greentech-Atlas 3.0 bliebe unvollständig, wenn Märkte, Produkte und Verfahren lediglich auf einer abstrakten Ebene behandelt würden. Deshalb sollen auf den folgenden Seiten einige konkrete Beispiele die Vielfalt der Umwelttechnik „made in Germany“ deutlich machen. Dabei wird kein Anspruch auf Vollständigkeit oder eine repräsentative Darstellung anhand objektiver Kriterien erhoben. Vielmehr ist die Beschreibung von 14 Unternehmen beziehungsweise Netzwerken aus unterschiedlichen Leitmärkten der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz ein Versuch, das Bild einer lebendigen Branche anhand einiger Momentaufnahmen zu skizzieren.

Das Kapitel *Aufbruch in die Green Economy* zeigt, dass der Wandel zur Green Economy die gesamte Volkswirtschaft verändert und auf zwei Säulen basiert: einerseits Unternehmen aus allen Branchen, die mit „Sustainable Business“ eine konsequente Nachhaltigkeitsstrategie verfolgen, andererseits einer starken Umwelttechnik-Branche. Vor diesem Hintergrund ist es illustrativ, Unternehmen und Institutionen zu präsentieren, die die Prinzipien einer Green Economy bereits heute erfolgreich umsetzen und damit die Green Transformation im unternehmerischen Alltag vorantreiben. Damit sich dieses Konzept weiterentwickelt und auch auf globalen Märkten durchsetzt, kommt es insbesondere auf die Faktoren Innovation, Vernetzung und Internationalisierung an. Diese drei Tugenden sind entscheidend für die weitere Entwicklung der deutschen GreenTech-Branche.

■ Innovation

Viele Anbieter aus der deutschen GreenTech-Branche haben sich auf den globalen Märkten mit einer Strategie der Qualitäts- und Technologieführerschaft positioniert. In einigen Bereichen – beispielsweise dem Ausbau der erneuerbaren Energien und der dezentralen Energieversorgung sowie Energieeffizienz – sind deutsche Unternehmen Pioniere und haben sich einen Vorsprung erarbeitet. Diese Stellung lässt sich jedoch nur halten beziehungsweise ausbauen, wenn die Innovationsleistung weiterhin im internationalen Spitzenfeld liegt. Die Voraussetzung für eine hohe Innovationsleistung sind erhebliche Anstrengungen in der Forschung und Entwicklung (FuE).

■ Vernetzung

Beim Thema Innovation wird deutlich, dass die kleinteilige Branchenstruktur einen potenziellen Wettbewerbsnachteil darstellt: Kleinen und mittelständischen Firmen fallen Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten tendenziell schwerer, weil häufig die entsprechenden finanziellen und personellen Ressourcen fehlen. Deshalb spielt die Kooperation zwischen Unternehmen und Forschungseinrichtungen eine wesentliche Rolle. Die Beteiligten können dabei vom Know-how-Transfer und der Bündelung der Kompetenzen profitieren. Einen hohen Stellenwert hat auch die Zusammenarbeit von Unternehmen, die an unterschiedlichen Abschnitten der Wertschöpfungskette tätig sind: Viele kleine und mittlere Unternehmen sind hochspezialisiert. Aber bei Ausschreibungen von Großaufträgen sind in vielen Fällen „Paketlösungen“ gefragt, keine Einzelmodule. Vor diesem Hintergrund erhöht die Zusammenarbeit in Netzwerken die Chancen für einzelne Anbieter, insbesondere auf internationalen Märkten. Im Folgenden werden einige erfolgreiche Netzwerke vorgestellt, in denen unterschiedliche Akteure aus Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Verbänden ihre Kompetenzen bündeln.

■ Internationalisierung

Bereits heute zeichnet sich auf dem Weltmarkt eine steigende Nachfrage nach Umwelttechnik ab. Deutsche Anbieter können von diesem Trend profitieren – vorausgesetzt, sie verstärken ihre Aktivitäten auf Auslandsmärkten. Erfahrungsgemäß sind die Eintrittsbarrieren ins internationale Geschäft für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) höher als für Großunternehmen. Da die Umwelttechnik-Branche aber eine kleinteilige Struktur aufweist, sind Ansätze besonders wichtig, die den KMU Wege zur Internationalisierung ebnen. Deshalb finden sich auf den nächsten Seiten einige Auslandskooperationen, an denen deutsche GreenTech-Akteure beteiligt sind.

Die in diesem Kapitel präsentierten Beispiele zeigen, wie die Akteure der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz diese drei Hebel in der Praxis anwenden, um langfristig ihren Geschäftserfolg zu sichern. Bei der Auswahl der Unternehmen wurde darauf geachtet, vor allem junge Betriebe darzustellen. Diese Portraits sollen die Dynamik und die Innovationskraft verdeutlichen, denen die Umwelttechnik maßgebliche Wachstumsimpulse verdankt.¹

1 Als Quellen für dieses Kapitel dienten die Internet-Auftritte und andere Materialien der portraitierten Unternehmen beziehungsweise Institutionen. Außerdem wurden Veröffentlichungen in der Wirtschaftspresse herangezogen.

Zur leichteren Orientierung für die Einordnung der folgenden Beispiele dienen drei Piktogramme (siehe

Legende unten), die jeweils einen dieser drei Erfolgsfaktoren symbolisieren.



Innovation



Vernetzung



Internationalisierung

APK Aluminium und Kunststoffe AG

Schkopau Recycling von Kunststoffen



„Newcycling“ - Ein neues Verfahren schließt Lücken im Stoffkreislauf von Kunststoffen

Für die meisten Konsumenten ist ein Getränkekarton ein unverzichtbarer Alltagsgegenstand. Für Recyclingfachleute sind die Behälter für Milch, Säfte etc. dagegen eine technische Herausforderung, denn bei der Wiederverwertung von Stoffen gilt nämlich die Devise „je reiner, desto besser“. In der Regel müssen die Komponenten von Materialverbänden getrennt werden, ehe sie in den Stoffkreislauf zurückgeführt werden können. Gerade das Kunststoffrecycling ist in dieser Hinsicht anspruchsvoll: Herkömmliche Verfahren sind häufig nicht in der Lage, Kunststoffgemengelagen in ihre einzelnen Bestandteile zu zerlegen, etwa wenn sich die Kunststoffe nicht mechanisch trennen lassen, miteinander verklebt sind oder in einem Verbund mit Metallen vorliegen. Deshalb hatten viele Kunststoffprodukte bislang keine Chance auf eine Zweitverwertung. Dies will die APK AG ändern.

Die APK Aluminium und Kunststoffe AG hat ein neues Verfahren - „Newcycling“ - für das Recycling von Mischkunststoffen und Metallkunststoffverbänden entwickelt, um die bisherigen Lücken im Stoffkreislauf von Kunststoffen zu schließen. Das in Merseburg ansässige Unternehmen setzt dabei auf seinen patentierten zweistufigen Prozess: Der erste Schritt ist die mechanische Aufbereitung, dann folgt ein chemisch-physikalisches Löseverfahren. So lassen sich einzelne Rohstoffkomponenten gezielt wiedergewinnen. Die in Metallkunststoffverbänden enthaltenen Metalle bleiben ungelöst, sodass sie in reiner Form wiedergewonnen werden können.

Die beim „Newcycling“ herausgelösten Kunststoffe zeichnen sich durch einen hohen Reinheitsgrad aus; in puncto Qualität können sie mit „Neuware“ mithalten und genügen sogar den hohen Ansprüchen für den Einsatz im Lebensmittelbereich. Unter ökologischen Aspekten punktet die Rückgewinnung von Kunststoff sowohl hinsichtlich Energieeffizienz als auch Ressourcenschonung: Der Hauptrohstoff bei der Produktion von Polymeren ist Erdöl. Dieses wird langfristig knapp und teuer, während der Bedarf an Kunststoffen weltweit steigt. Vor diesem Hintergrund wächst die Bedeutung des Kunststoffrecyclings.

Die APK AG bietet unterschiedliche Regranulate an: LDPE (low density polyethylene), HDPE (high density polyethylene) und Polypropylen. 2012 wird die Produktpalette um Aluminium ergänzt. Das im „Newcycling“ gewonnene Metall wird in Pulver- oder Brikettform verkauft.

Das Unternehmen hat als Standort für seine Betriebsstätte den ValuePark® Schkopau im „Chemie-Dreieck“ von Sachsen-Anhalt gewählt. Dieser zwischen Halle und Merseburg gelegene Industriepark der Firma Dow Olefinverbund GmbH ist ein Kompetenzzentrum für Kunststofftechnik, das bereits als „Ausgewählter Ort“ beim Wettbewerb „Land der Ideen“ ausgezeichnet wurde.

www.apk-ag.com

Heliatek GmbH

Dresden/Ulm

Organische Photovoltaik auf Basis von Oligomeren



„Solarzellen der dritten Generation“ – Den Weg aus dem Labor in die Serienfertigung beschleunigen

Der Erdkundeunterricht war der Auslöser: In der Oberstufe des Gymnasiums wurde Dr. Martin Pfeiffer der Lehrsatz vorgesetzt, dass regenerative Energien lediglich eine marginale Rolle als Ergänzung zur Energieversorgung aus Kohle, Atomkraft oder Erdöl spielen könnten. Die Begründung dieser These hat den Abiturienten nicht überzeugt: „Von da an wollte ich mehr darüber wissen. Als sich konkret die Chance ergab, in diese Richtung zu arbeiten, habe ich mich sofort darauf gestürzt“, erklärt der Chief Technology Officer der Heliatek GmbH. Der Diplom-Physiker ist heute ein international anerkannter Experte für organische Halbleitertechnologie und Mitbegründer der Novalad AG und der Heliatek GmbH.

Während sich die 2003 gegründete Novalad AG auf OLED-Technologie (Organic Light-Emitting Diode) spezialisierte, konzentrierte sich Heliatek auf die organische Photovoltaik. Das Unternehmen entstand 2006 als gemeinsame Ausgründung der TU Dresden (Institut für angewandte Photophysik) und der Universität Ulm. Diese Wurzeln stellten sicher, dass der gemeinsame Spross die Expertise im Bereich der organischen Optoelektronik und der organischen Oligomer-Synthese weiterentwickeln konnte. Heute beschäftigt das Spin-off an den Standorten Dresden und Ulm rund 70 Mitarbeiter. Ihr gemeinsames Ziel: Sie wollen die organische Photovoltaik voranbringen und neue Anwendungsmöglichkeiten für diese „Solarzellen der dritten Generation“ erschließen.

Organische Photovoltaik (OPV) ist die Bezeichnung für Solarzellen, die aus Werkstoffen der organischen Chemie bestehen, das heißt aus Kohlenwasserstoffverbindungen. Sie weisen durch eine spezielle Elektronenstruktur die Eigenschaften von amorphen Halbleitern auf. Bei den kristallinen Solarzellen der ersten Generation wird Silizium als Rohstoff für den Halbleiter eingesetzt. Auch bei der zweiten Photovoltaik-Generation, den Dünnschichtsolarmodulen, sind amorphe Siliziumzellen der gängige Werkstoff, obgleich auch neue Materialien wie Cadmium-Tellurid (CdTe) oder Kupfer-Indium-Diselenid (CIS) zum Einsatz kommen.

An die organische Photovoltaik werden große Erwartungen geknüpft: Biegsam, dünn, leicht, semi-transparent und bruchfest erzeugen organische Solarzellen auch dort Strom, wo bislang die Installation von Paneelen undenkbar war. So könnte eine Folie mit organischen Photovoltaik-Modulen so einfach wie ein Poster ins Fenster geklebt werden; hauchdünne Module, die in

die Laptop-Tasche oder das Handy-Etui eingenäht sind, könnten einen Rechner oder ein Mobiltelefon mit Strom versorgen. Die Erweiterung der Anwendungsmöglichkeiten ist jedoch nicht der einzige Vorzug, mit dem die OPV aufwarten kann: Ihre Befürworter verweisen außerdem auf die weniger aufwendigen Produktionsverfahren: Die Wertschöpfungskette bei der Herstellung kristalliner Solarmodule sei lang und kostenintensiv. Dagegen biete die organische Photovoltaik gerade in der Massenfertigung zahlreiche Ansatzpunkte zur Kostensenkung. So kommt der Produktionsprozess ohne Reinraum und mit einem geringeren Energieaufwand und Rohstoffeinsatz aus; außerdem fallen keine Gefahrenstoffe an. In Summe sollen diese Vorteile dazu führen, dass die organische Photovoltaik eine hohe Ertragsstärke bei niedrigen Stromgestehungskosten vorweisen kann. So wäre sie imstande, den niedrigeren Wirkungsgrad zu kompensieren: Während Siliziumzellen einen Wirkungsgrad von bis zu 18 Prozent und Dünnschichtzellen bis zu 13 Prozent erreichen, bringen es die organischen Solarzellen auf Werte von etwa 8%.

Während andere Hersteller auf Polymere (große Moleküle) setzen, betrachtet Heliatek die Oligomere als den vielversprechendsten Weg in die Zukunft der organischen Photovoltaik: Die Vorteile lägen in der besseren Prozesskontrolle bei der Herstellung, höheren Effizienz sowie in einer längeren Lebensdauer.

Als Ergebnis jahrelanger Forschung verfügt Heliatek über proprietäres Know-how: Das Unternehmen hält grundlegende Patente für die Herstellung organischer Solarzellen mit dotierten Transportschichten. Die – ebenfalls patentierte – Tandemzellen-Technologie, bei der zwei Solarzellen übereinander gestapelt werden, kann ein breites Sonnenspektrum absorbieren; das solare Kleinstkraftwerk arbeitet auch bei Schwachlicht oder geringem Einstrahlungswinkel. Dabei ist die photoaktive Schicht extrem dünn: Die Tandemzelle misst lediglich 500 Nanometer.

Heliatek bringt die organische Photovoltaik auf Oligomer-Basis aus dem Labor in die Fertigung: Im sogenannten „Rolle-zu-Rolle“-Prozess sollen flexible organische Solarzellen produziert werden. Dieses Verfahren hat sich bereits in der OLED-Industrie bewährt. Diese Erfahrung wollen die Heliatek-Forscher nutzen, um 2012 in die Serienfertigung einzusteigen.

Beim „Rolle-zu-Rolle“-Verfahren, das auf einem Vakuumprozess basiert, werden die Oligomere mittels Verdampfung auf eine PET-Folie aufgebracht, die als Trägermaterial dient. Dieses Herstellungsverfahren – so die Erwartung von Heliatek – wird die Produktionskosten bei einer Ausweitung der Produktionsmenge schnell deutlich sinken lassen – und erheblich günstiger ausfallen lassen als die Kosten für die Herstellung kristalliner Solarmodule.

Auf dem Weg vom Labor in die Serienfertigung wurde Heliatek von Partnern aus der Industrie und Wagniskapital-Gesellschaften unterstützt, beispielsweise von BASF, Bosch, RWE und Wellington Partners. Finanziell gefördert wurde das Unternehmen außerdem vom Freistaat Sachsen, den Bundesministerien für Bildung und Forschung sowie für Wirtschaft und Technologie und der Europäischen Union.

www.heliatek.com

PYUA GmbH

Kiel

Funktionsbekleidung aus nachhaltiger Produktion



Freerider-Outfits „made in Europe“ aus recyceltem Polyestergera

„RIDE FREE, BUT ECORRECT“ – Mit diesem Claim ist seit 2008 die Marke PYUA auf dem Markt, die Liebhaber von Ski- und Snowboardfahrten abseits der Pisten mit den passenden Outfits versorgt. Das Label aus Kiel ist der erste Sportartikelhersteller mit einem Sortiment, das fast ausschließlich aus recycelten Materialien gefertigt wird. Ein weiteres Markenzeichen von PYUA: Alle Stücke der Kollektion werden in Europa produziert. So stellt das Unternehmen sicher, dass der gesamte Herstellungsprozess nach den Umweltschutzrichtlinien und Sozialstandards der Europäischen Union vonstattengeht. Außerdem schonen kürzere Transportwege das Klima, weil weniger CO₂-Emissionen anfallen als über lange Lieferdistanzen.

PYUA gehört zu den Labeln, die das Vorurteil widerlegen, dass „Öko-Mode“ den Verbrauchern Zugeständnisse an Design und/oder Funktionalität abverlangt. So lobt die Fachpresse das PYUA-Sortiment als „Kollektion für eine neue Snowwear-Generation“. Die Freeride-Bekleidung, die über den Sportfachhandel vertrieben wird, ist nach Angaben des Herstellers „100% wasserdicht, 100% atmungsaktiv und 100% recycelbar“.

In den PYUA-Outfits stecken fast ausschließlich sortenreine, recycelte Materialien, die mit dem „Bluesign“ zertifiziert sind. Für dieses Gütesiegel müssen Unternehmen in der gesamten Produktionskette fünf Grundprinzipien beachten: Ressourcenproduktivität, Konsumentenschutz, Arbeitsplatzsicherheit sowie keine Verunreinigungen von Abluft und Abwasser. Auf diese Weise gewährleistet PYUA, dass die verwendeten Materialien nach nachhaltigen Kriterien hergestellt worden sind.

Eine Besonderheit der PYUA-Kleidungsstücke ist das Basismaterial aus dem Eco Circle – nach Angaben des Herstellers weltweit das erste Recyclingsystem für Polyesterprodukte. Polyester wird aus Petroleum gewonnen; durch die Wiederaufbereitung von Polyesterprodukten wird der Verbrauch dieser Ressource gesenkt – der Energieverbrauch und der CO₂-Ausstoß von Eco Circle liegen um 80 Prozent niedriger als bei der Polyestergewinnung aus Primärrohstoffen. Nach dem Eco-Circle-Konzept wird ausgediente Polyester-Bekleidung wiederaufbereitet: Durch Zerkleinern, Granulieren, Aufspalten und Reinigen entsteht Polyestergera, das „neuem“ Polyester in puncto Funktionalität und Qualität gleichwertig ist. Aus diesem recycelten Polyestergera können neue Kleidungsstücke gefertigt werden.

PYUA-Outfits sind zwar langlebig, aber auch sie werden irgendwann ausrangiert. Beim Thema Recycling der eigenen Produkte will der Sportartikelhersteller aus Kiel innovative Wege beschreiten und „neue Maßstäbe bei der Wiederverarbeitung gebrauchter Funktionsbekleidung setzen“. Der Sportartikelhersteller arbeitet mit zwei deutschen Unternehmen zusammen, die sich auf das Textil-Recycling spezialisiert haben: K. & A. Wenkhaus GmbH (Hamburg) und FWS GmbH (Bremen). „Uns war vor allem daran gelegen, den Rücknahmeprozess zu optimieren“, erklärt Timo Perschke, Gründer und Geschäftsführer der Marke PYUA. Dafür wurde mit der K. & A. Wenkhaus GmbH und der FWS GmbH ein besonderes System erarbeitet: Die beiden Recycling-Betriebe organisieren die Rücknahme, und zwar nicht über den Handel, sondern über Altkleidercontainer, die in jeder Stadt zu finden sind. Da die

abgelegten Kleider per Hand aussortiert werden, lassen sich die ausgedienten PYUA-Outfits identifizieren und in den Stoffkreislauf zurückführen. „Damit können wir sicher versprechen, dass unsere PYUA-Produkte tatsächlich zu neuen Produkten recycelt werden“, erklärt Timo Perschke.

PYUA erhielt 2011 zum zweiten Mal den „Eco Responsibility Award“, den Umweltpreis der Sportfachartikel- und

Sportmode-Messe ISPO. Mit dieser Auszeichnung würdigte die Jury „das schlüssige Gesamtkonzept und die konsequente Weiterentwicklung und Optimierung nachhaltiger Wertschöpfungsprozesse“.

www.pyua.de

saperatec GmbH

Bielefeld

Entsorgung und Aufbereitung von Photovoltaik-Produktionsabfällen und Solarmodulen



Auf Schatzsuche im Solarschrott - Wiedergewinnung von Edelmetallen und Seltenen Erden aus Photovoltaik-Modulen

Die Umweltbilanz von Solarzellen während ihrer Betriebsphase fällt glänzend aus: Die Mini-Kraftwerke, die das Sonnenlicht in Strom verwandeln, erzeugen über ihre Lebensdauer betrachtet ein Vielfaches der zu ihrer Herstellung benötigten Energie. Hinzu kommt, dass die Stromproduktion ohne Schadstoffausstoß erfolgt.

Die ökologische Messlatte für Solarenergie liegt also hoch: Die europäischen Photovoltaik-Hersteller sind bestrebt, dass der gesamte Lebenszyklus der Photovoltaik-Zellen inklusive Produktion und Entsorgung nachhaltige Kriterien erfüllt. Um diesen Anspruch einzulösen, gewinnt das Recycling von Solarmodulen immer stärker an Bedeutung. In diesem viel versprechenden Segment agiert die in Bielefeld ansässige saperatec GmbH. Das Unternehmen wurde im Dezember 2010 gegründet und will sich mit einer innovativen Technologie für das Recycling von Photovoltaik-Modulen auf dem Markt etablieren.

Zum Hintergrund: Die Entsorgung und das Recycling von Solarmodulen ist kein einfaches Unterfangen. Solarzellen beinhalten gefährliche Bestandteile. In Dünnschichtsolarmodulen kommt beispielsweise Cadmium-Tellurid vor; Silber und Blei sind Ingredienzen kristalliner Solarzellen. Auch die Besonderheiten der Verarbeitung sind eine Herausforderung für die Wiederverwertung: Ein Solarmodul besteht aus einzelnen, miteinander verschalteten Solarzellen. Um sie „wetterfest“ zu machen, werden sie zwischen Glasscheiben und Folien gepackt. Dies hat Konsequenzen für das Recycling, denn diese Gemengelage aus verschiedenen Materialien muss erst

entwirrt werden, ehe die einzelnen Komponenten wiederverwertet werden können.

Mit den bisher gängigen Verfahren lässt sich eine Recyclingquote von 80 Prozent erreichen. Dabei beschränkt sich die Ausbeute jedoch auf Glas und Aluminium; andere Bestandteile der ausgedienten Module, wie Silber oder Silizium, landen auf der Sondermüll-Deponie. So entsprechen die 80 Prozent Recyclingquote zwar den Vorgaben der EU-Elektroschrottrichtlinie (Waste Electrical and Electronic Equipment Directive - WEEE), die voraussichtlich ab Frühjahr 2012 auf die Photovoltaik-Industrie ausgedehnt wird. Aber angesichts einer möglichen Recyclingquote von 96 Prozent besteht noch reichlich Spielraum für Verbesserungen.

Genau den will die saperatec GmbH nutzen: Das Unternehmen hat eine innovative Technologie entwickelt, mit der sich die Materialverbände in einzelne Bestandteile aufschließen sowie Wafer und andere Materialien „entschichten“ lassen. Die Startup-Firma hat sich auf die Entsorgung und Aufarbeitung von Photovoltaik-Produktionsabfällen und Solarmodulen - Dünnschicht und Dickschicht - spezialisiert. Dabei setzt das Unternehmen auf den Einsatz umweltverträglicher Materialien und hat eine Alternative zu einem Verfahren entwickelt, bei dem die Oberflächenschichten von Solarzellen durch Ätzen gelöst werden. Außerdem arbeitet das saperatec-Verfahren bei Raumtemperatur, während die bisher üblichen Prozesse hohe Temperaturen erfordern - und dabei mehr Energie verbrauchen.

Das Geschäftsmodell der saperatec GmbH will eine Win-win-Situation schaffen: Zum einen gewährleistet das Recycling die umweltgerechte Entsorgung der Photovoltaik-Module; zum anderen können rare - und teure - Rohstoffe wie Seltene Erden und Edelmetalle aus dem Solarschrott geborgen und wiederverwertet werden. Auf diese Weise gehen wertvolle Ressourcen nicht verloren. Das von der saperatec GmbH entwickelte Verfahren ermöglicht es, Edel- und Seltenerdmetalle, beispielsweise Indium, Selen und Tellur, aus Produktionsabfällen der Photovoltaik-Industrie und ausgedienten Photovoltaik-Modulen zurückzugewinnen.

Dieser effiziente und wirtschaftliche Ansatz war für den Gründerfonds Bielefeld-Ostwestfalen und den High-Tech Gründerfonds ein gewichtiges Argument, das Startup-Unternehmen mit einer Million Euro zu unterstützen. Diese Finanzspritze

nutzt saperatec, um am Standort Bielefeld Produktionsanlagen aufzubauen.

Was deren künftige Auslastung anbelangt, ist Dr. Sebastian Kernbaum, Mitgründer und Geschäftsführer des Startup, zuversichtlich: „Der Recyclingmarkt für Photovoltaik-Module wird in den nächsten Jahren stark wachsen und mit ihm saperatec.“ Mit der ersten großen Welle ausrangierter Solarmodule wird etwa 2015 gerechnet. Ab dann wird der Fluss voraussichtlich nicht mehr versiegen. Zur Illustration: 2010 wurden insgesamt 1,4 Mio. Tonnen Module verkauft, deren Lebensdauer bei 25 bis 30 Jahren liegt. Den Recycling-Spezialisten für Photovoltaik-Module dürfte der Nachschub also nicht ausgehen.

www.saperatec.de

TerraNova Energy GmbH

Düsseldorf

Verwertung biogener Abfallstoffe durch Hydrothermale Karbonisierung



Biokohle aus Klärschlamm

„Vier Mio. Jahre brauchte die Erde, um aus Biomasse Kohle zu formen - TerraNova Energy schafft dies in vier Stunden“ - Die Überschrift auf der Homepage der TerraNova Energy GmbH klingt fast zu schön, um wahr zu sein. Aber die Demonstrationsanlage, die seit April 2010 in der Zentralkläranlage Kaiserslautern in Betrieb ist, beweist, dass das Unternehmen keine leeren Versprechungen abgibt. Die 2008 gegründete TerraNova Energy GmbH mit Sitz in Düsseldorf nutzt die Hydrothermale Karbonisierung für die Verwertung von biogenen Abfallstoffen.

Feuchte Reststoff-Biomasse - zum Beispiel Klärschlamm oder Reste aus der Getränke- und Lebensmittelindustrie - sind nach den Kriterien Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit als Ausgangsstoffe für die energetische Verwertung mit den konventionellen Verfahren der Biogasproduktion oder Pyrolyse nur bedingt tauglich. In den Anlagen der TerraNova Energy kommt jedoch ein neues Verfahren zum Einsatz, das feuchte Biomasse ohne aufwendige Zwischenschritte in einen regenerativen Festbrennstoff verwandelt.

Die Hydrothermale Karbonisierung (HTC) kopiert im Zeitraffer den Kohlegestehungsprozess der Natur: Unter Luftabschluss und Zugabe von Katalysatoren wird Biomasse bei einer Tempe-

ratur von rund 200°C und einem Druck zwischen 20 und 35 bar Feuchtigkeit entzogen. Als Ergebnis dieser Reaktion bleibt Kohleschlamm mit einer feinen Partikelstruktur zurück, der sich auf einen Trockensubstanzgehalt von über 50 Prozent entwässern lässt. Die auf diese Weise entstandene Biokohle wird getrocknet und steht anschließend entweder blasfähig oder in Pellet-Form zur Verfügung.

Zu den Vorteilen des HTC-Prozesses gehört, dass der in der Biomasse enthaltene Kohlenstoff fast vollständig erhalten bleibt. Bei der Verbrennung der Biokohle wird nur die Menge CO₂ freigesetzt, die die Biomasse dem Klimakreislauf während ihrer Wachstumsphase entzogen hatte. Die „clean coal“ ist also ein regenerativer, CO₂-neutraler Energieträger, der nach dem Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) als Biomasse gilt und sich zur Verstromung nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) eignet.

Die automatisierten Anlagen der TerraNova Energy GmbH können je nach Ausbaugröße 1.200 bis 12.000 Tonnen Biomasse pro Jahr verarbeiten und sind für den dezentralen Einsatz konzipiert; das heißt, sie können direkt an der Biomassequelle, etwa auf dem Gelände einer Kläranlage, aufgestellt werden. Die Anlagenteile sind standardisiert und mitsamt der

notwendigen Peripherie, beispielsweise Chemikalienlager und Leitwarte, in Container integriert. Die Anlagen der TerraNova Energy GmbH eignen sich für Contracting- sowie für BOT-Modelle (Build-Operate-Transfer). Bei dieser Option übernimmt das Düsseldorfer Unternehmen die Rolle des Anlagenbauers und des Betreibers, ehe die Anlage nach einer vereinbarten Nutzungsdauer (beispielsweise zehn Jahre) an den Kunden übergeben wird.

Im Vergleich zu anderen Verfahren der Klärschlammbehandlung und -verwertung können die TerraNova-Anlagen nach Angaben des Herstellers mit einigen Pluspunkten aufwarten: So erfolgt die Behandlung und Verwertung des Klärschlammes in einem Prozessschritt. Der Klärschlamm kann direkt in einen lager- und transportierfähigen regenerativen Brennstoff umgewandelt werden. Eine anaerobe Stabilisierung des Klärschlammes – der Eintrag von Sauerstoff zur Verhinderung der Methanbildung – ist unnötig, sodass der Energieverbrauch der Kläranlage sinkt. Als weiteren Vorteil hebt TerraNova-Geschäftsführer Marc Buttmann die hohe Energieeffizienz des HTC-Verfahrens hervor: „Andere Biomasseverfahren wie der klassische Biogasprozess verlieren 50 Prozent der chemischen Energie in der Biomasse, bevor sie Energie herstellen. Bei uns liegt die Energieeffizienz bei 80 Prozent.“

Für die Entwicklung der Hydrothermalen Karbonisierung für dezentrale Anlagen wurde die TerraNova Energy GmbH beim bundesweiten Wettbewerb „Land der Ideen“ als „Ausgewählter Ort 2011“ ausgezeichnet. Mit diesem Titel wurde das Düsseldorfer Unternehmen für seine Innovationskraft geehrt. Diese Tugend will die TerraNova Energy GmbH auch künftig unter Beweis stellen. Die Hydrothermale Karbonisierung soll auch für neue Anwendungsfelder weiterentwickelt werden. Dazu gehören die Herstellung eines Bodenzusatzstoffes (Terra Preta) und die Rückgewinnung von Phosphor und anderen Nährstoffen aus dem Klärschlamm.

Dabei arbeitet die TerraNova Energy GmbH eng mit verschiedenen Hochschulinstituten zusammen. Zu den Kooperationspartnern zählen der Fachbereich Chemie der Universität Kaiserslautern, das Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen und das Institut für angewandtes Stoffstrommanagement IfaS am Umweltcampus Birkenfeld der Fachhochschule Trier. Dort liegen übrigens die Wurzeln der TerraNova Energy GmbH: Zum Thema Hydrothermale Karbonisierung wird am IfaS unter der Leitung von Prof. Dr. Michael Bottlinger seit 2006 geforscht.

www.terranova-energy.com

TerraTransfer GmbH

Bochum
Automatisierte Messsysteme



Echtzeitüberwachung von Umweltdaten über das Internet

Die konventionelle Messung von Pegelständen ist ein mühseliges Geschäft: Jemand muss zur Messstelle fahren, die Daten ablesen und erfassen. Ähnlich aufwendig kann sich die Erhebung von Umweltdaten aus dem Boden und der Luft gestalten. Hinzu kommt, dass die Ermittlung und Analyse der Messergebnisse nur mit Timelag möglich ist. Gerade beim Hochwasserschutz sind jedoch Informationen in Echtzeit von unschätzbarem Wert.

Diese Marktlücke haben Marcel Delker und Sven Schulz bereits 2007 erkannt: Als Diplomanden der Ruhr-Universität entwickelten sie im Rahmen eines Drittmittel-Projektes Messsysteme, die Daten automatisch sammeln und an einen Computer übertragen. Die ersten Ansätze waren vielversprechend; die beiden Diplom-Geographen gründeten 2008 gemeinsam mit Ingenieuren und Informatikern die TerraTransfer GmbH und brachten das automatisierte Messsystem zur Marktreife.

Diesem Geschäftsmodell ist das Startup-Unternehmen mit Sitz in Bochum treu geblieben: Die TerraTransfer GmbH entwickelt und vertreibt Messsysteme zur Echtzeitüberwachung von Umweltdaten über das Internet. Der Fokus liegt dabei auf den Bereichen Hydrologie, Klimatologie und Bodenkunde.

Am Beispiel des WasserMessnetz Echtzeit zur Erfassung von Grundwasserstand und Gewässerpegeln wird deutlich, wie die automatisierten Messsysteme von TerraTransfer funktionieren: Der Wasserstand wird von einem Datenlogger erfasst, der wiederum von einem hoch präzisen Sensor mit Messdaten versorgt wird. Diese Informationen „funk“ der Datenlogger über GPRS an eine Datenbank, sodass die Messdaten online über einen Internetbrowser verfügbar sind. Die Kommunikation zwischen Datenlogger und Datenbank erfolgt über GPRS unabhängig von Strom- und Telefonnetzen. Die Hardware ist

also genau auf die Bedingungen von Standorten ohne Infrastruktur zugeschnitten.

Die Software von TerraTransfer steuert als „Online-Wassermanager“ die Messgeräte und hat stets den Überblick, ob diese störungsfrei arbeiten. Außerdem übernimmt die Software das Auslesen der übermittelten Daten, die sich unkompliziert in Excel-kompatible Formate umwandeln lassen oder vom Kunden in die eigene Analyse-Software geladen werden können. Ganz nach Wunsch des Auftraggebers bietet TerraTransfer diese Dienstleistungen auch auf dem eigenen Server an. Zum Leistungsumfang des „Online-Wassermanagers“ gehört außerdem das sogenannte „Alarmmanagement“. Überschreitet oder unterschreitet der Wasserstand eine bestimmte, vorab festgelegte Marke, wird der Kunde per E-Mail oder SMS unverzüglich benachrichtigt.

Nach demselben Grundprinzip arbeiten die anderen Messsysteme im Produktportfolio von TerraTransfer: Es gibt einen GPRS-Datenlogger, der die Bodenfeuchte registriert. Das KlimaMessnetz Echtzeit erfasst Windrichtung und Windgeschwindigkeit, Strahlung (Global, Infrarot, Albedo), Temperatur, Niederschlag (Menge, Dauer und Intensität), Luftdruck und relative Luftfeuchte.

Ehe sich diese Innovationen auf dem Markt etabliert hatten, musste das fünfköpfige Gründungsteam von TerraTransfer – wie die meisten Startups – eine Durststrecke zurücklegen. Aber mit einem Demogerät, das Interessenten zur Verfügung gestellt wurde, leisteten die Jung-Unternehmer Überzeugungsarbeit und gewannen die ersten Kunden. Deren Empfeh-

lungen brachten den Durchbruch. Inzwischen ist die Referenzliste der TerraTransfer ziemlich lang; auf ihr stehen zahlreiche Unternehmen und Institutionen der Wasserwirtschaft.

Als internationalen Vertriebspartner hat das Bochumer Unternehmen die STS Sensor Technik Sirnach AG gewonnen. Dank der Zusammenarbeit mit dem Schweizer Sensorik-Spezialisten sind die automatisierten Messsysteme aus dem Ruhrgebiet bereits in mehr als 30 Ländern erhältlich.

Mit der ehemaligen Alma Mater ihrer Gründer arbeitet TerraTransfer beim Projekt AHEM (Automatisches Hydrologisches Echtzeitmodell) zusammen: Das noch bis 2012 laufende Projekt des Geographischen Instituts verfolgt das Ziel, ein optimiertes Abflussvorhersagemodell auf Basis von automatisch vor Ort erhobenen Messgrößen zu entwickeln.

Das Unternehmen hat bereits einige Auszeichnungen nach Bochum geholt. 2011 wurde es in der Kategorie StartUp für den renommierten Deutschen Gründerpreis nominiert. Die Aufnahme in den Kreis der Nominierten begründete die Jury damit, dass „es dem Unternehmen gelungen ist, durch eine neuartige Kombination bereits bestehender Hardware-Komponenten mit intelligenter Software das aufwändige und nur in großen Zeitabständen mögliche manuelle Messen der Daten zu ersetzen und dadurch eine neue Qualität der Datenanalyse zuzulassen.“ Die Juroren bescheinigten der TerraTransfer GmbH „ein großes Wachstumspotenzial“ – allein in Nordrhein-Westfalen gibt es 30.000 Wassermessstellen.

www.terratransfer.de

DEMAX – Dezentrales Energie- und NetzManagement mit flexiblen Stromtarifen

Konsortium von sechs Partnern aus Industrie und Forschung unter Federführung des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme (ISE)g



Pilotsystem erleichtert den Datenaustausch zwischen dezentralen Stromerzeugern und Stromverbrauchern

Im ersten Halbjahr 2011 hat der Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung in Deutschland erstmals die 20-Prozent-Marke übersprungen. Diese Entwicklung stellt die Struktur der Energieversorgung vor erhebliche Herausforderungen: Die dezentralen Energieerzeugungssysteme – Photovoltaik-Anlagen, Windräder, Blockheizkraftwerke etc. – müssen untereinander verknüpft und in das Stromnetz inte-

griert werden. Als weiteres Problem stellt sich die fluktuierende Einspeisung der regenerativen Energien – Sonnenschein und eine kräftige Brise sind weder plan- noch steuerbar. Um die Netzstabilität sicherzustellen, müssen aber Stromeinspeisung und Stromentnahme im Gleichgewicht stehen. Wenn der Anteil des „grünen Stroms“ weiter ausgebaut wird, bedarf es Mechanismen, die Stromangebot und -nachfrage auszu-

balancieren. Neben dem Aufbau von Speicherkapazitäten spielt dabei das Lastmanagement eine Schlüsselrolle, das den Stromverbrauch von privaten Haushalten und des Gewerbes so weit wie möglich an das Stromangebot anpasst. Voraussetzung dafür ist die intelligente Verknüpfung von dezentralen Stromerzeugern und Stromverbrauchern in „Smart Grids“.

Hier setzt das im Rahmen des ImmoNet-Programms vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderte Projekt DEMAX an. Unter Koordination des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE haben sechs Partner aus Forschung und Industrie ein innovatives Energiemanagement- und Kommunikationssystem entwickelt. Zu dem Konsortium gehörten die Görlitz AG, die SenerTec Kraft-Wärme-Energiesysteme GmbH, EWS (Elektrizitätswerke Schönau), die SSV Software Systems GmbH, das Steinbeis Innovationszentrum und die in.power GmbH.

Mithilfe dieses Pilotsystems sollen dezentrale Erzeuger und Lasten aus dem gewerblichen und privaten Bereich am Energiemarkt teilnehmen. Die kommunikationstechnische Vernetzung erfolgt dabei unter der durchgängigen Verwendung offener, internetbasierter Kommunikationsprotokolle, so die Pressemitteilung des Fraunhofer ISE.

Ergebnis dieses Forschungsverbunds aus mittelständischen Unternehmen und dem Fraunhofer-Institut ist der DEMAX-Gateway. Zum Hintergrund: Ein Gateway - auf Deutsch ‚Protokollumsetzer‘ - macht es möglich, dass Netzwerke miteinander kommunizieren können, obwohl sie auf unterschiedlichen Protokollen basieren. Das ist eine wesentliche Voraussetzung für ein funktionierendes Smart Grid, denn in einem „intelligenten Netz“ werden zahlreiche Netzwerkverbindungen für Abruf und Rückmeldung diverser Systeme benötigt, beispielsweise zwischen Netzbetreiber, Messdienstleister, Stromanbieter und Stromverbraucher. Der DEMAX-Gateway ist in der Lage, diese kommunikative Herausforderung zu meistern, denn die Fraunhofer-Wissenschaftler haben dafür eine frei zugängliche Implementierung entwickelt, die den MUC-Standard erfüllt.

„Mit der openMUC-Plattform können wir abrechnungsrelevante Daten von Strom-, Gas-, Wärme/Kälte- und Wasserzählern in einem modularen Ansatz erfassen. Auf diese Weise kann die Zählertechnologie für den Einsatz in Ein- und Mehrfamilienhäusern schlank beziehungsweise kostengünstig gehalten werden“, so Christian Sauer, der zuständige Projektleiter am Fraunhofer ISE.

Einen wesentlichen Beitrag zur Entwicklung dieses sogenannten Multisparten Metering im Rahmen von DEMAX hat das Steinbeis-Innovationszentrum - Embedded Design and Networking (sizedn) mit der Wireless M-Bus-Technologie geleistet. Der Projektpartner EWS (Elektrizitätswerke Schönau) hat die Systemtechnik mit dem DEMAX-Gateway in einem kleinen Verteilnetz getestet und den Kunden innovative, flexible Stromtarife angeboten. Die Görlitz AG, Spezialist für Messtechnik, brachte ihr Know-how im Bereich der Erfassung und der Integration von Energiedaten in das DEMAX-Projekt ein.

Ein wichtiger Bestandteil des Pilotprojekts war die Netztintegration von Kraft-Wärme-Kopplungen (KWK)-Anlagen. So ist eine weitere zentrale Komponente des DEMAX-Gateway ein Embedded System, das von der SSV Software Systems GmbH entwickelt wurde. Mithilfe dieses „eingebetteten Systems“ lässt sich die KWK-Anlage SenerTec Dachs in Smart-Metering-Systeme einbinden - was zu einer Optimierung des Betriebs der KWK-Anlage führt und deren Einsatz im virtuellen Kraftwerk ermöglicht. In diesem Bereich hat der Projektpartner in.power GmbH seine Kompetenzen eingebracht: Der konzernunabhängige Direktvermarkter von dezentral und regenerativ erzeugter Energie bündelt kleine und mittlere Kraftwerke zu großen vermarktungsfähigen Einheiten.

Die Beteiligten ziehen am Ende der dreijährigen Laufzeit von DEMAX ein positives Fazit: „Die Projektergebnisse liefern den Nachweis, dass durch den Einsatz eines intelligenten Energie- und Netzmanagements fluktuierende und steuerbare Erzeuger bereits heute kosteneffizient in unser Energiesystem integriert werden können.“²

Netzwerk Ressourceneffizienz

Offene Plattform für Unternehmen, Wissenschaftler, Verbände und Multiplikatoren



Forum für den Dialog über ressourcenschonende Produkte, Verfahren und Dienstleistungen

„Unser Land wird bis zum Jahr 2020 zur ressourceneffizientesten Volkswirtschaft der Welt, Vorreiter beim schonenden und umweltverträglichen Umgang mit Energie und Rohstoffen. Das sind die Märkte von morgen.“ - Mit dieser Präambel beginnt die Gründungsurkunde des „Netzwerks Ressourceneffizienz“, das 2007 initiiert wurde.

Um dieses Leitziel zu verwirklichen, wurde mit diesem Netzwerk eine offene Plattform geschaffen, auf der Unternehmen, Ingenieure, Wissenschaftler, Verbände und andere Multiplikatoren wie Stiftungen und Nichtregierungsorganisationen ihr Know-how zur effizienten Nutzung von Ressourcen bündeln können. Dieser Kompetenzverbund wurde unter der Federführung des Wuppertal Instituts im Rahmen der Forschungsförderung des Bundesumweltministeriums und des Umweltbundesamtes unterstützt und in Kooperation mit der dema (Deutsche Materialeffizienzagentur) und der Effizienz-Agentur NRW aufgebaut. Mit dem Abschluss der Aufbauphase ist die Trägerschaft seit August 2011 vom Wuppertal Institut zum VDI Zentrum für Ressourceneffizienz (VDI ZRE) übergegangen.

Das Netzwerk Ressourceneffizienz ist als Plattform für den Austausch von Informationen und Erfahrungen konzipiert worden. Es bietet einen Rahmen, in dem die Mitglieder einen Dialog über ressourcenschonende Produkte, Verfahren und Dienstleistungen sowie über ressourcenschonendes Management führen können. Zentrales Anliegen des Netzwerks war es dabei von Anfang an, mit Vertretern aus der Wirtschaft, Politik und Wissenschaft ein breites Spektrum von Akteuren einzubinden. Auf diese Weise soll die Verbreitung erfolgversprechender Ansätze zur Steigerung der Ressourceneffizienz gefördert werden.

Neben den Unternehmen sind institutionelle Akteure eine wichtige Zielgruppe des Netzwerks. Unternehmerverbände, Gewerkschaften, Handwerkskammern sowie Umwelt- und

Verbraucherorganisationen sollen als Multiplikatoren dem Thema Ressourceneffizienz auf der politischen und gesellschaftlichen Tagesordnung Gehör verschaffen. Die Netzwerk-Organisation fungiert dabei als Katalysator, um gemeinsame Aktivitäten und Pilotprojekte der Mitglieder zu koordinieren und schneller voranzubringen. Außerdem will das Netzwerk Ressourceneffizienz auf Basis des Erfahrungsschatzes ihrer Mitglieder zu einer Verbesserung der Rahmenbedingungen für Ressourceneffizienz beitragen.

Um diese Ziele zu erreichen, entfaltet das Netzwerk Ressourceneffizienz vielfältige Aktivitäten, sowohl landesweit als auch auf regionaler Ebene. Dazu gehören Konferenzen, bei denen beispielsweise nachahmenswerte Praxisbeispiele oder Netzwerkaktivitäten vorgestellt werden und eine Gelegenheit zum „Live“-Dialog geboten wird. Mit einem Newsletter gibt das Netzwerk nicht nur einen Überblick über Termine und Veranstaltungen, sondern versorgt die Leser mit relevanten Informationen rund um das Thema Ressourceneffizienz.

Das besondere Augenmerk des Netzwerks gilt den Bedürfnissen der kleinen und mittleren Unternehmen. Diese Zielgruppe spricht das Netzwerk Ressourceneffizienz mit Veranstaltungen an, die in der Regel einen engen regionalen und/oder branchenspezifischen Bezug haben. Im Vordergrund stehen dabei Informationen über den effizienten Einsatz von Ressourcen, wobei erfolgreiche Beispiele aus der jeweiligen Region beziehungsweise Branche vorgestellt werden. Das Netzwerk Ressourceneffizienz lässt es jedoch nicht bei einer theoretischen Hilfestellung bewenden, sondern unterstützt auch die praktische Umsetzung von betrieblichen Maßnahmen zur Effizienzsteigerung. Unternehmen erhalten zum Beispiel Informationen über Finanzierungsmöglichkeiten innovativer Technologien.

www.netzwerk-ressourceneffizienz.de

StreetScooter

Aachen

**Netzwerk aus Unternehmen und Forschungseinrichtungen
für nachhaltige Mobilitätskonzepte**



Short Distance Vehicle mit Elektroantrieb – „Wir müssen die Technologie am Markt durchsetzen, indem wir sie erst bezahlbar machen“

Bis 2020 sollen nach dem „Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität“ der Bundesregierung eine Million Elektroautos auf deutschen Straßen rollen. Doch der Weg dahin ist noch weit: Ende 2010 gab es knapp 2.000 E-Fahrzeuge in Deutschland. Eine der größten Hürden, die die Elektromobilität auf dem Weg zur Marktdurchdringung umfahren muss, ist der Preis der Fahrzeuge: „Wir brauchen ein preisgünstiges E-Fahrzeug. Denn die Menschen sind nicht bereit, für E-Mobilität mehr zu bezahlen, als sie es für herkömmliche Fahrzeuge gewohnt sind.“ – Dieses Statement von Prof. Dr.-Ing. Günther Schuh, Leiter des Forschungsbereichs Produktionssystematik an der RWTH Aachen, legt den Finger auf einen wunden Punkt: Die wenigen Elektrofahrzeuge, die überhaupt auf dem Markt erhältlich sind, kosten erheblich mehr als vergleichbare Modelle mit Verbrennungsmotor. Beispielsweise liegt der Listenpreis für den i-MiEV von Mitsubishi, das erste Elektroauto aus Großserienproduktion, bei knapp 35.000 Euro. Dagegen kostet der Mitsubishi Colt 1.1 ClearTec Edition als vergleichbares Modell mit Verbrennungsmotor nur etwa 13.000 Euro.

Wenn Käufer jedoch für ein Auto mit geringerer Reichweite wesentlich mehr Geld hinlegen sollen, besteht die Gefahr, dass die Nachfrage nach Elektrofahrzeugen niemals die kritische Masse erreicht, die für die Realisierung von Skalenvorteilen aus der Serienfertigung notwendig wäre. Damit will sich Prof. Dr.-Ing. Achim Kampker nicht abfinden: 2009 gründete der Leiter des Lehrstuhls für Produktionsmanagement an der RWTH Aachen die StreetScooter GmbH. Deren Credo ist so einfach wie ambitioniert: „Wir können nicht so lange warten, bis sich eine teure Technologie langsam am Markt durchgesetzt hat und für alle bezahlbar wird. Wir müssen die Technologie am Markt durchsetzen, indem wir sie erst bezahlbar machen.“

Dieses Ziel will StreetScooter durch die Entwicklung eines „Short Distance Vehicle“ (SDV) erreichen. Die Formel dabei lautet „geringe Reichweite, geringer Preis“: Die Konzeption für die Kurzstrecke drückt die Kosten. „Wir bauen, was der Kunde wirklich braucht. Alles andere lassen wir weg“, erklärt Achim Kampker. Mit dieser Devise will der Gründer und Geschäftsführer von StreetScooter bis 2013 eine Kleinserie von 2.000 Fahrzeugen produzieren, die rund 12.000 Euro kosten sollen. Dazu kommt noch eine Servicepauschale für Batterie, Wartung und Reparatur sowie Strom. Wenn ab 2013 die Massenfertigung angelaufen sein wird, peilt Kampker einen Kaufpreis von 5.000

Euro zuzüglich monatlicher Service-Nebenkosten in Höhe von 150 bis 200 Euro an.

Der Prototyp des StreetScooter – Reichweite 120 Kilometer – bietet Platz für drei Erwachsene und einen Kindersitz. Der StreetScooter ist das greifbare Ergebnis eines Netzwerks aus rund 70 Unternehmen und Forschungseinrichtungen, die gemeinsam an nachhaltigen Mobilitätskonzepten („Concept Zeitgeist“) arbeiten wollen. Dem mittelständisch geprägten Industriekonsortium gehören 20 Unternehmen an (Stand 11/2011), deren Spektrum vom Kleinbetrieb mit zehn Beschäftigten bis zum Konzern mit 20.000 Mitarbeitern reicht. Der Gesellschafterkreis zählt elf Mitglieder; außerdem gibt es rund 50 Kooperationspartner, Unternehmen und Forschungseinrichtungen, die sich an der Forschung, Entwicklung und Produktion beteiligen. Diese Vielfalt der Akteure betrachtet Achim Kampker als wesentlichen Erfolgsfaktor: „Niemand muss ‚Benzin im Blut‘ haben, um bei ‚Concept Zeitgeist‘ zu punkten.“ Auch Unternehmen aus dem Bereich Car Sharing und erneuerbare Energien seien herzlich willkommen.

Wie dieser Anspruch in der Realität gelebt wird, zeigt die Zusammensetzung des Gesellschafterkreises: Dort finden sich unter anderem die niederländische Leasinggesellschaft Athlon Car Lease, die O.T.M GmbH aus Lübeck, die sich auf die Produktion von Lithium-Ionen-Zellen spezialisiert hat, die Rehav VZ AG, die für den StreetScooter ein modulares Batteriekonzept auf Polymer-Basis entwickelt hat, sowie die bekannten Automobilzulieferer Dräxlmaier GmbH, die Kirchhoff-Gruppe, Wittenstein AG und Aumann GmbH.

Etablierte Autobauer sucht man dagegen vergeblich auf der Mitgliederliste: „Auf die Zusammenarbeit mit großen Automobilherstellern wurde bewusst verzichtet, um bestehende Strukturen aufbrechen zu können und den Mittelstand zu stärken“, wie auf der StreetScooter-Homepage nachzulesen ist.

Die Organisation als Netzwerk sehen Kampker und seine Mitstreiter als erheblichen Wettbewerbsvorteil, der ihnen weit größere Spielräume bei der Fahrzeugentwicklung und -gestaltung ermöglicht als den etablierten Playern: StreetScooter setzt auf die integrierte Produkt- und Prozessentwicklung und will maßgeblich über diesen Hebel die avisierte Kostensenkung für die E-Fahrzeuge erreichen: Das Auto wird in Konstruk-

tionsteile zerlegt; für jede Baugruppen hat eine sogenannte ‚Lead Engineering Group‘ die Federführung. Die Projektteams arbeiten bereits während der Entwicklungsphase eng mit dem Team zusammen, das für die Fertigungsplanung verantwortlich zeichnet. Auf diese Weise wird frühzeitig das Fundament für kostenoptimierte Fertigungsprozesse gelegt: „Durch die parallele Entwicklung von Fahrzeug und Produktionsprozessen bei StreetScooter zeigen wir gemeinsam mit unseren Gesellschaftern und Kooperationspartnern auf, mit welchen Methoden hochmoderne Fahrzeuge kostengünstig und damit für den Verbraucher zu erschwinglichen Preisen gefertigt werden können“, erklärt Achim Kampker.

Die Akteure von StreetScooter sind davon überzeugt, dass Elektromobilität nicht nur eine andere Antriebsart ist, sondern auch die Denkweisen und Strukturen der Branche verändern

wird. Dementsprechend geht es beim Gesamtmodell „Concept Zeitgeist“ um ganzheitliche Mobilität. Das bedeutet nicht nur, einen neuen Typ des Elektroautos auf die Straße zu bringen, sondern auch Mobilitätsdienstleistungen vom Leasing über Carsharing, Service und Wartung und Batteriebereitstellung anzubieten. Aber selbst der innovativste Ansatz nützt wenig, solange es an der Nachfrage mangelt. Wie es aussieht, hat StreetScooter dieses Problem gelöst. Entsprechend der Strategie, den Schwerpunkt zunächst im Flottengeschäft zu setzen, wird StreetScooter einen Elektropritschenwagen für die Deutsche Post AG bis zur Serienreife entwickeln. Läuft alles Plan, sollen 20.000 solcher Zustellfahrzeuge über Deutschlands Straßen rollen.

www.streetscooter.eu

Deutsch-Jordanische Forschungs- und Demonstrationsanlage für dezentrale Abwassertechnologien

Netzwerk von Hochschulen, Forschungseinrichtungen, Unternehmen und politischen Institutionen



Multinationale Kooperation fördert das nachhaltige Wassermanagement im Einzugsgebiet des Jordan

Jordanien gehört zu den trockensten Ländern der Erde. Den Wasserbedarf der über fünf Millionen Einwohner deckt das Königreich vor allem mit Grundwasser. Allerdings wird diese kostbare Ressource über Gebühr beansprucht; Übernutzung und wachsende Bevölkerungszahl gefährden langfristig die Wasserversorgung. Schon heute sinkt der Wasserspiegel des Toten Meeres jedes Jahr um einen Meter.

Vor diesem Hintergrund ist eine Schonung der Grundwasser-Vorkommen ein wesentlicher Bestandteil der 2009 beschlossenen Wasserstrategie der jordanischen Regierung. Sie setzt verstärkt auf Abwasser-Recycling, um die knappen Wasserressourcen zu entlasten. So soll bis 2022 die Menge des wiederverwendeten Abwassers auf 256 Millionen Kubikmeter pro Jahr erhöht werden. Das entspräche einer Vierfachung gegenüber dem Niveau von 2010.

Bei der Umsetzung dieser Strategie ist dezentralen Abwassertechnologien eine Schlüsselrolle zugeordnet. In Fuheis, einer Kleinstadt 20 Kilometer von Amman entfernt, wurde 2010 die erste Demonstrationsanlage für eine dezentrale Abwasserwirtschaft an die Technische Universität von

Al-Balqa übergeben. Dieses Projekt ist das konkrete Ergebnis der Zusammenarbeit von jordanischen und deutschen Partnern. Zum Netzwerk, das die Realisierung der Demonstrationsanlage ermöglicht hat, gehören das Jordanische Wasserministerium, die Technische Universität Al-Balqa, das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ), das Bildungs- und Demonstrationszentrum für dezentrale Abwasserbehandlung e.V. (BDZ) sowie die Unternehmen Huber SE, ATB Umwelttechnologien GmbH, Ecoconsult und NAW.

Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unterstützte Projekt soll in den nächsten Jahren auf größere Einzugsregionen erweitert werden und anderen ariden Länder mit steigendem Wasserbedarf als Modell für einen effizienten und nachhaltigen Umgang mit der knappen Ressource Wasser dienen. „Die Erfahrungen aus den Arbeiten in Fuheis helfen uns, die Betriebskosten und die Stabilität der Abwassertechnischen Pilotanlagen im arabisch-ariden Klima zu optimieren. Als nächstes wollen wir das Know-how auf einen größeren Maßstab übertragen“, kündigt Projektleiter Dr. Roland A. Müller vom UTZ an.

Die Demonstrationsanlage in Fuheis ist ein Modul des internationalen Forschungsprojekts SMART. Das Akronym steht für Sustainable Management of Available Water Resources with Innovative Technologies. Im Rahmen dieses Projekts erarbeiten israelische, palästinensische, jordanische und deutsche Partner ein integriertes Wasserressourcenmanagement für das Einzugsgebiet des Jordan. Insgesamt sind im SMART-Konsortium 21 Hochschulen, Forschungseinrichtungen, Ministerien und Unternehmen vertreten.

Angesichts des hohen Wasserbedarfs bei geringem Wasserangebot sieht das Konzept des integrierten Wasserressourcenmanagements vor, dass alle verfügbaren Quellen der Wasserversorgung einbezogen werden: Grundwasser, Oberflächenwasser, Brackwasser, Regenwasser und Abwasser. In Jordanien fließt ein Großteil des Wasserverbrauchs in die Landwirtschaft. Gerade für die Bewässerung kann jedoch gereinigtes, möglichst keimfreies Abwasser verwendet werden.

econet China

Initiative der Deutschen Außenhandelskammern China zur Positionierung deutscher Umwelttechnik in der Volksrepublik China



Unterstützung bei den ersten Schritten in den chinesischen GreenTech-Wachstumsmarkt

Die politische Führung der Volksrepublik China hat der Energie- und Umweltpolitik im 12. Fünfjahresplan (2011-2015) einen hohen Stellenwert eingeräumt. Bis 2015 soll die Energieintensität um 16 Prozent, die CO₂-Intensität um 17 Prozent reduziert werden.

Um diese Ziele zu verwirklichen, will die chinesische Zentralregierung das Wachstum der Volkswirtschaft nachhaltiger gestalten. Dazu sind entsprechende „grüne“ Technologien erforderlich, die häufig nicht aus inländischer Produktion zu Verfügung stehen. Vor diesem Hintergrund scheint absehbar, dass die Nachfrage nach nachhaltigen Produkten und Verfahren künftig zunehmen wird. Diese Entwicklung macht die Volksrepublik zu einem vielversprechenden Absatzmarkt für Umwelttechnik „made in Germany“. Allerdings gehören zu den Akteuren der deutschen GreenTech-Branche viele kleine und mittlere Unternehmen. Viele von ihnen verfügen zwar über technologisches Know-how der Spitzenklasse, haben jedoch teilweise nur wenig Erfahrung bei der Bearbeitung weit entfernter Auslandsmärkte wie China.

Hier will econet China ansetzen und die Hürden beim Betreten des Wachstumsmarktes China aus dem Weg räumen. Gegründet wurde econet China von den Deutschen Außenhandelskammern China (AHK Greater China), um deutsche Firmen der Bau-, Energie- und Umweltbranche bei der Positionierung auf den Märkten der Volksrepublik zu unterstützen. Zu diesem Zweck bietet die Initiative eine umfangreiche Servicepalette.

Zu den Dienstleistungen für deutsche Unternehmen gehören Informationen über einzelne Marktsegmente sowie indivi-

duelle Recherchen. Auf Wunsch des Auftraggebers werden Markteintrittsanalysen erstellt. Außerdem organisieren die econet-Teams in Peking und Shanghai Delegationsreisen und Firmenbesuche bei potenziellen chinesischen Partnern. Beim Knüpfen von Kontakten greift econet China deutschen Unternehmen unter die Arme und nutzt dabei ein umfangreiches Netzwerk und langjährige Erfahrung im China-Geschäft. Für den schnellen Überblick gibt es auf der econet-Homepage ein Online-Verzeichnis, in das sich Firmen eintragen lassen können. Das Angebot „Office in Office“ richtet sich an Unternehmen, die sich zwar zum Schritt auf den chinesischen Markt entschlossen haben, aber die Risiken in der Anfangsphase überschaubar halten wollen. Solche Unternehmen können personelle Unterstützung von econet China in Anspruch nehmen. Die Initiative stellt einen lokalen Manager zur Verfügung, der für das betreffende Unternehmen tätig wird, dabei aber in das econet-China-Team integriert ist.

Neben diesen konkreten Dienstleistungen für einzelne Unternehmen übernimmt econet-China eine wichtige Rolle als „Promoter“ der Umwelttechnik „made in Germany“. Die Initiative zeigt Präsenz und fungiert als Multiplikator für das deutsche Know-how im Bereich GreenTech. Einen hohen Stellenwert haben in diesem Konzept Messeauftritte, Veranstaltungen und Kongresse, wie zwei Beispiele zeigen: Im September 2011 organisierte econet China in Shanghai die Konferenz „Urban Strategies against Climate Change: Eco City, Low Carbon City or Green City“, an der über 300 Stadtplaner, Architekten und Wissenschaftler aus China und Deutschland teilnahmen.

Ein weiteres Highlight aus dem econet-Veranstaltungskalender war die Konferenz „Green Manufacturing China 2011 – The Summit for Technology Solutions and Best Practices“, die im November 2011 in Kooperation mit Ringier, der Schweizer Industrie- und Handelskammer und der Europäischen Handelskammer durchgeführt wurde. Die Teilnehmer haben Lösungen und Strategien diskutiert, wie der Produktionssektor in China nachhaltiger gestaltet werden kann. Seine Ressourcenin-

tensität ist nach wie vor sehr hoch: Chinesische Fabriken verbrauchen 15 bis 20 Prozent mehr Ressourcen je Produktionseinheit als der internationale Durchschnitt. Da Lösungen und Verfahren zur Steigerung der Ressourceneffizienz zu den Stärken deutscher Anbieter gehören, eröffnen sich ihnen grundsätzlich gute Perspektiven in der Volksrepublik.

www.econet-china.com

German Water Partnership e. V.

Vernetzung von Akteuren aus Wirtschaft, Forschung und Politik



Die Dachmarke der deutschen Wasserwirtschaft zeigt Präsenz auf den internationalen Märkten

Bündelung der Kompetenzen und Internationalisierung der deutschen Wasserwirtschaft – diese Leitideen standen Pate, als im April 2008 auf der internationalen Fachmesse IFAT in München der „German Water Partnership e.V.“ aus der Taufe gehoben wurde. Das Netzwerk mit dem schwarz-rot-goldenen Wassertropfen als Logo wurde mit Rückenwind aus der Politik gegründet: Das Auswärtige Amt und die Bundesministerien für Umwelt, Bildung und Forschung, Wirtschaft und Technologie sowie für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung unterstützen die Aktivitäten der German Water Partnership (GWP) nicht nur ideell, sondern mit einer Anschubfinanzierung für die ersten fünf Jahre.

Die Gründe für dieses Engagement liegen auf der Hand: Weltweit gilt die Wasserwirtschaft als gigantischer Wachstumsmarkt; der globale Investitionsbedarf wird auf 400 bis 500 Milliarden Euro geschätzt. Vor allem in den Schwellenländern besteht erhebliches Potenzial: Dort können Aufbau und Ausbau der Infrastruktur für die Wasserversorgung und Abwasserentsorgung kaum mit dem Bevölkerungswachstum, der steigenden Industrialisierung und der Intensivierung der Landwirtschaft mithalten. Vor diesem Hintergrund wächst der globale Bedarf an Technologien entlang des gesamten Wasserkreislaufs – von der Wassergewinnung über Filteranlagen und Desinfektionsverfahren zur Wasseraufbereitung, Wasserverteilung bis hin zur Abwasserreinigung. Deutsche Anbieter sind bereits heute gut auf dem internationalen Wassermarkt positioniert. Jeder vierte Exportartikel im Wassermarkt ist „made in Germany“. Die Wettbewerber aus anderen Ländern sind vor allem Großkonzerne, während die Wasserwirtschaft in Deutschland von zahlreichen kleinen und mittleren Betrieben mit ausgeprägtem Know-how in ihren jeweiligen Spezialgebieten geprägt wird.

Diese kleinteilige Branchenstruktur birgt die Gefahr, dass deutsche Anbieter auf den internationalen Märkten nicht ausreichend wahrgenommen werden. Hinzu kommt, dass die Ausschreibungen für große Infrastrukturprojekte sich nicht an einzelne Spezialisten richten, sondern an Anbieter von Komplettpaketen. „Von internationalen Partnern werden Gesamtlösungen gefordert, die häufig durch einzelne deutsche Unternehmen, insbesondere aus dem Mittelstand, nicht abgedeckt werden können“, erklärt Dr.-Ing. Michael Beckereit, Vorsitzender der German Water Partnership.

Dieser potenzielle Wettbewerbsnachteil sollte durch die Gründung der GWP als „Dachmarke“ und Netzwerk der deutschen Wasserwirtschaft kompensiert werden, wie Geschäftsführer Stefan Girod erläutert: „Unser Ziel ist es, die verschiedenen Unternehmen mit ihren unterschiedlichen Technologien, mit ihrem spezifischen Know-how und mit ihren Dienstleistungen zu bündeln und so die Möglichkeit zu schaffen, auf den Weltmärkten bei entsprechenden Projekten im Verbund mit anderen Partnern mit der gesamten Wertschöpfungskette anzutreten.“

Dass die Vernetzung von Akteuren aus Wirtschaft, Forschung und Politik offensichtlich gelingt, zeigt die Entwicklung der Mitgliederzahlen: Im ersten Quartal nach der Gründung zählte die GWP rund 130 Mitglieder, inzwischen sind es über 330. Die Mitgliederstruktur spiegelt die Vielfalt der Branche wider und repräsentiert die gesamte Wertschöpfungskette des Wassersektors: Hochschulen und Forschungseinrichtungen gehören ebenso dazu wie öffentliche und private Unternehmen (Ingenieurbüros, Komponentenhersteller, Anlagenbauer oder Anlagenbetreiber etc.) sowie Verbände und Institutionen der Wasserwirtschaft.

Dank Input und Engagement ihrer Mitglieder hat sich die German Water Partnership zu einem lebendigen Netzwerk entwickelt, in dem die Beteiligten auf verschiedenen Ebenen zusammenarbeiten. So gibt es drei Plattformen - Zentrale Themen, Innovation und Information - und siebzehn Länderforen (Afrika, Ägypten/Jordanien, Brasilien, Bulgarien, China, Golfstaaten, Indien, Iran, Kroatien, Maghreb, Mexiko, Rumänien, Russland, Türkei, Ukraine, Vietnam, Zentralasien).

Diese länderspezifischen Arbeitsgruppen sollen in den jeweiligen Zielregionen langfristig tragfähige Netzwerke knüpfen, bestehende Kontakte pflegen, Projekte anstoßen und Lösungen für die spezifischen Herausforderungen in den betreffenden Staaten entwickeln. Dabei entfaltet die GWP ein breites Spektrum von Aktivitäten. Dazu gehören Gemeinschaftsstände auf wichtigen internationalen Messen, Beteiligung an Konferenzen, Symposien und anderen Veranstaltungen sowie Delegationsreisen, beispielsweise in Kooperation mit den Auslandshandelskammern.

Diese Aktivitäten der GWP sind besonders in Ländern wie Russland oder der Volksrepublik China wichtig. Die Bearbeitung dieser Wachstumsmärkte stellt gerade für kleine und mittlere Unternehmen eine große Herausforderung dar. Vor allem bei Infrastrukturprojekten ist es sehr schwierig, ohne Kontakte und genaue Kenntnis der Gegebenheiten vor Ort bei der Auftragsvergabe in die engere Wahl zu kommen. Hier setzt die Unterstützung des GWP-Netzwerks an. Die Dachmarke zeigt Präsenz und ebnet auf diese Weise den Mitgliedsunternehmen den Weg in neue Märkte.

Beispiel Russland: Die Regierung der Russischen Föderation will in den nächsten zehn Jahren die Trinkwasserversorgung und Abwasseraufbereitung des Landes verbessern. Dafür sollen pro Jahr etwa 1,9 Milliarden Euro investiert werden.

Deutsche Anbieter sind bereits sehr erfolgreich im russischen Wassersektor aktiv; das Länderforum Russland der German Water Partnership unterstützt diese Positionierung mit einer ganzen Palette von Maßnahmen. So fand beispielsweise im Oktober 2011 in Moskau erstmals der „Russian-German Water Partnership Day“ statt, an dem nicht nur zahlreiche Unternehmen aus dem Wassersektor teilnahmen, sondern auch hochrangige Vertreter des Föderationsrats der Russischen Föderation sowie Repräsentanten aus russischen und deutschen Ministerien.

Auch in der Volksrepublik China ist die German Water Partnership aktiv: Das Land hat immensen Nachholbedarf beim Aufbau der Infrastruktur für die Wasserversorgung und Abwasserentsorgung. Dabei kann Wassertechnologie „made in Germany“ einen wichtigen Beitrag leisten; der chinesische Markt zählt deshalb zu den Fokusregionen des Netzwerks. Produkte und Verfahren deutscher Anbieter werden unter der gemeinsamen Dachmarke präsentiert. Ein Beispiel dafür ist die „German Water Partnership Roadshow“ im Herbst 2011. Auf der Veranstaltung, die in Kooperation mit der China Urban Water Association durchgeführt wurde, wurden Lösungen diskutiert und demonstriert, um die Energieeffizienz in Kläranlagen zu steigern.

Ein Projekt in Kroatien zeigt deutlich, dass die Aktivitäten der GWP nicht ausschließlich auf kurzfristige Exporterfolge abzielen: In der Stadt Karlovac wurde im Juni 2011 ein Trainings- und Kompetenzzentrum eröffnet, in dem Spezialisten für den Wassersektor ausgebildet werden. Das deutsch-kroatische Gemeinschaftsprojekt unter Federführung der German Water Partnership soll Fachkräfte für den Wasser- und Abwassersektor in Kroatien und den anliegenden Ländern qualifizieren.

www.germanwaterpartnership.de

Agraferm Technologies AG

Pfaffenhofen an der Ilm
Planung, Bau und Betrieb von Biogasanlagen



Expansionskurs – Spezial-Know-how für Biogasanlagen ebnet den Weg auf internationale Märkte

Die Agraferm-Gruppe ist einer der wenigen Anlagenbauer, der alle Varianten der Biogas-Erzeugung anbietet. Im Portfolio des Unternehmens mit Sitz in Pfaffenhofen an der Ilm (Bayern) befinden sich Technologien zur Nutzung nachwachsender Rohstoffe (Nawaro), Verwertung kommunaler und gewerblicher organischer Abfälle sowie zur Verwertung industrieller Reststoffe. Das Leistungsspektrum ist ebenfalls breit gefächert: Es reicht von Planung und Bau über den Betrieb der Anlagen bis zum technischen und biologischen Service. Diese Segmente der Wertschöpfungskette werden von den einzelnen Gesellschaften der Agraferm-Gruppe abgedeckt: Agraferm Technologies AG, BTA International GmbH, die Agraserv GmbH sowie von den Auslandstöchtern in Luxemburg, Italien und Frankreich.

Neben dem Anlagenbau hat sich die Dienstleistungssparte zu einem wichtigen Geschäftsfeld entwickelt. So hat Agraferm im Herbst 2011 für den Energieversorger Danpower die biologische Betreuung von insgesamt 23 Nawaro-Biogasanlagen zwischen 19 Kilowatt und 1 Megawatt übernommen. Dieser Großauftrag umfasst die Laboranalytik sowie die Mikro- und Makro-Nährstoffanalytik.

Die Unternehmensführung von Agraferm hat sich zum Ziel gesetzt, „einer der bedeutendsten und anerkanntesten Anbieter von Biogastechnologie weltweit zu werden“. Bei der Verwirklichung dieser Vision setzt das Management der Unternehmensgruppe auf die Weiterentwicklung des technischen Spezial-Know-hows, das sich Agraferm in mehr als zwei Jahrzehnten Branchenerfahrung erarbeitet hat.

Besondere Kompetenzen hat der Biogas-Anlagenbauer im Bereich der Hochlast-Fermentation von Energiepflanzen aufgebaut. Die Bezeichnung ‚Hochlast‘ bezieht sich dabei auf die sogenannte Raumbelastung, das Maß für die biologische Belastung eines Fermenters. Eine Raumbelastung unter 2 kg oTs/m³ (organische Trockensubstanz pro Kubikmeter) bedeutet Schwachlast; bei mehr als 5 kg oTs/m³ spricht man von Hochlast. Die Agraferm-Gruppe hat eine Technologie entwickelt, die Lösungen mit sehr hohen Viskositäten bietet, ohne dabei Abstriche an der Betriebssicherheit, der Flexibilität oder Gasausbeute machen zu müssen.

Im Rahmen der biologischen Betreuung bietet die Agraferm-Gruppe ihren Kunden ein Produkt zur Leistungssteigerung bestehender Biogasanlagen an: Die Methanomex-Mikronährstoffe

sollen eine außerordentlich hohe Fermenterbelastung bei stabilem Anlagenbetrieb ermöglichen - was die Wirtschaftlichkeit der Anlage erhöht. Ein weiteres Kriterium für die Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen ist der Eigenstrombedarf. Auch bei diesem Parameter schneiden Agraferm-Anlagen - nach Angaben des Herstellers - besser ab als der Branchendurchschnitt.

Die Agraferm-Gruppe hat bei ihrem Wachstumskurs nicht nur den deutschen Markt auf dem Radar, sondern baut auf eine Strategie der Internationalisierung. Das Unternehmen ist in Großbritannien, Italien, Luxemburg, Polen, der Tschechischen Republik, der Slowakei und Lettland aktiv. Ein wichtiger Schritt auf dem Weg zur weiteren Internationalisierung des Unternehmens war neben der Verankerung auf dem italienischen Markt und in Luxemburg die Inbetriebnahme der Biogasanlage in Taverham im Herbst 2011, die Agraferm im Auftrag der Future Biogas Ltd. errichtet hat. Die Biogasanlage in der Grafschaft Norfolk, in der pro Jahr rund 25.000 Tonnen Maissilage und Grasschnitt eingesetzt werden, versorgt ein Blockheizkraftwerk mit circa 1.413 Kilowatt. So liefert die Biogasanlage Strom für 2.500 Haushalte.

Auch Mittel- und Osteuropa ist für Agraferm ein wichtiger Zielmarkt: Ein Beispiel für die Aktivitäten der Unternehmensgruppe aus Niederbayern in dieser Region ist die Biogasanlage in Kalsnava, Lettland. In der etwa 150 Kilometer von der Hauptstadt Riga entfernten Gemeinde hat Agraferm eine 2-MW-Biogasanlage mit integrierter Abwasseraufbereitung für Schlempe geplant und gebaut, die im Sommer 2011 in Betrieb genommen wurde. Auftraggeber war die SIA Biodegviela, ein lettischer Ethanolhersteller. Bei der Bio-Ethanol-Produktion - pro Tag rund 38.000 Liter - fallen jährlich etwa 160.000 Kubikmeter Schlempe an. Als Schlempe werden Rückstände einer Destillation wie Eiweiße, Fette und Mineralstoffe bezeichnet. Diese wurden bislang vor allem als Dünge- und Futtermittel verwendet. Durch die Technologie der Agraferm kann die Schlempe in der Biogasanlage zur Strom- und Wärmeversorgung eingesetzt werden. „Die Hochlastfermentation und insbesondere die Vergärung von Monosubstraten wie Schlempe verlangt umfangreiches Know-how, weil wir es hier mit einem sterilen, hochtemperierten Substrat zu tun haben“, so Christian Heck, Technik-Vorstand der Agraferm Technologies AG.

www.agraferm.com

Remondis AG & Co. KG

Lünen

Wasser- und Kreislaufwirtschaft



Recycling und Mülltrennung als Exportartikel – Neue Ära für die Abfallwirtschaft in Russland

„Russlands Abfallwirtschaft bietet ein gigantisches Potenzial. Doch bevor aus den Müllbergen Profit geschlagen werden kann, sind effiziente Sammel- und Aufbereitungssysteme zu schaffen.“ – Zu dieser Einschätzung gelangt ein Fachartikel der Germany Trade and Invest (GTAI) über den russischen Recyclingmarkt und dessen vielversprechende Perspektiven für Entsorgungsunternehmen.

Diese Chancen nutzt die in Lünen ansässige Remondis-Gruppe seit 2008. Das Familienunternehmen, das weltweit fast 20.000 Mitarbeiter beschäftigt, hat bereits in vier russischen Städten Joint Ventures zur Entsorgung von Haushaltsabfällen gegründet.

Dabei leistet der Entsorgungskonzern Pionierarbeit auf einem bisher weitgehend brach liegenden Feld: Über 90 Prozent der festen Haushaltsabfälle landen in der Russischen Föderation auf Deponien und Müllkippen, die ein Gesamtareal von über zwei Millionen Hektar okkupieren. Obwohl Russland mit 17 Millionen Quadratkilometern flächenmäßig der größte Staat der Welt ist, wird vor allem rund um die Ballungszentren der Platz für Deponien knapp. Hinzu kommt, dass viele Müllhalden ökologische Zeitbomben darstellen, weil Gefahrstoffe nicht fachgerecht entsorgt werden und/oder Schadstoffe mangels Abdichtung der Deponien darunter liegende Bodenschichten und das Grundwasser kontaminieren. Die Recyclingquoten in Russland sind im internationalen Vergleich mit 40 Prozent bei Altpapier, 5 Prozent bei Kunststoff und 35 Prozent bei Altglas relativ niedrig. Von einer Kreislaufwirtschaft kann längst nicht die Rede sein, denn wertvolle Ressourcen verrotten auf den Deponien und sind für die Nutzung in der Industrie verloren.

Diese Situation will die russische Regierung verändern und diskutiert über die Gründung einer Staatsholding. Aber in den Regionen existieren bereits öffentlich-private Partnerschaften (Public Private Partnerships - PPP), die einen Beitrag zur Entschärfung der Müllkrise leisten – und dabei auch die Beteiligung ausländischer Unternehmen zulassen. Bei ihren Aktivitäten in Russland hat die Remondis-Gruppe von Anfang an auf PPP-Projekte gesetzt. Der Entsorgungskonzern aus Nordrhein-Westfalen ist nach Angaben der GTAI bisher der einzige ausländische Investor, der in der Russischen Föderation überregional in der Abfallwirtschaft tätig ist.

Als Pilotprojekt in Russland übernahm das von Remondis und einem kommunalen Partner gegründete Gemeinschaftsunter-

nehmen REMONDIS Dzershinsk 2009 die Hausmüllentsorgung der Stadt Dzershinsk in der Region Nishnij Nowgorod. Mit neuen Müllfahrzeugen, Mülltonnen und Stellplätzen wurde die Infrastruktur der Abfallsammlung rundum erneuert. Außerdem wurden Behälter für Glas, Papier, Plastik und Restmüll aufgestellt und damit der Einstieg in die Mülltrennung vollzogen.

Da ‚Mülltrennung‘ bislang im russischen Alltagswortschatz nicht vorkam, führte REMONDIS Dzershinsk mit Unterstützung der Stadtverwaltung eine groß angelegte Infokampagne durch, um die 240.000 Einwohner über Regeln, Sinn und Vorteile der Mülltrennung aufzuklären: Plakate, Flugblätter, Fernseh- und Radiospots sowie Vorträge in Schulen sollen den Bürgern das Konzept näher bringen.

Das Modell von Dzerzhinsk hat Remondis auf andere Städte und Regionen übertragen, beispielsweise in den Kreis Naro-Fominsk im Südwesten von Moskau. Dort hat Remondis ebenfalls ein Gemeinschaftsunternehmen mit einem ehemaligen Kommunalbetrieb gegründet, das nun die Abfallentsorgung übernommen hat.

Das jüngste PPP-Projekt hat der Entsorgungskonzern in Saransk gestartet. In der 300.000-Einwohner-Stadt 650 Kilometer von Moskau entfernt hat im September 2011 das Gemeinschaftsunternehmen REMONDIS Saransk den Betrieb aufgenommen; gegründet wurde dieses Joint Venture von Remondis und dem Kommunalbetrieb „Spezavtohozjajstvo Saranskoe“.

REMONDIS Saransk ist für die Sammlung und Entsorgung der Haushaltsabfälle verantwortlich. Auch in Saransk hat das Unternehmen aus Nordrhein-Westfalen kräftig in den Fuhrpark und neue Müllbehälter investiert. So wurden beispielsweise acht moderne Abfallsammelfahrzeuge eingekauft.

Die Remondis-Gruppe möchte ihr Engagement in den russischen Regionen noch stärker ausweiten. Als nächster Schritt ist zum Beispiel in Saransk eine Beteiligung an der Deponiesanierung und an der Modernisierung einer Sortieranlage angedacht.

Remondis ist in Russland nicht nur in der Abfallwirtschaft aktiv: In Arzamas hat das westfälische Unternehmen ein Joint Venture gegründet; es ist für die Wasserversorgung, Abwasserentsorgung und -reinigung in der 400 Kilometer östlich von Moskau gelegenen 100.000-Einwohnerstadt zuständig.

www.remondis.de

Verzeichnis der Tabellen und Abbildungen

Tabellen

Tabelle 1: Prognose Bevölkerungsentwicklung bis 2050

Tabelle 2: Die 20 größten Städte der Welt 1950, 1975, 2000, 2010, 2025

Tabelle 3: Anteile der BRIC-Länder und Next 11 am globalen Bruttoinlandsprodukt

Tabelle 4: Übersicht der bisher in der Ökodesign-Richtlinie erfassten Produktgruppen

Abbildungen

Abbildung 1: Globaler Primärenergiemix 2010

Abbildung 2: Entwicklung der Rohstoffpreise 1980 bis 2015

Abbildung 3: Klimarelevante politische Initiativen 2008 bis 2010

Abbildung 4: Segmentierung des Leitmarktes in Marktsegmente und Technologielinien

Abbildung 5: Marktsegmente und Technologielinien des Leitmarktes Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung

Abbildung 6: Entwicklung des globalen Marktes für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz 2007 bis 2010 (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2007-2010 in Prozent)

Abbildung 7: Marktwachstum Deutschland (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2007-2010 in Prozent)

Abbildung 8: Anteil Deutschlands am globalen Markt für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz

Abbildung 9: Wachstumsprognose des globalen Marktes für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz 2011, 2015, 2025 (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)

Abbildung 10: Verteilung der Beschäftigten der Umwelttechnik-Branche auf die einzelnen Leitmärkte – Deutschland 2011

Abbildung 11: Beschäftigungsentwicklung in der Branche Umwelttechnik und Ressourceneffizienz 2011 bis 2025 (in Millionen und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)

Abbildung 12: Globales Volumen der einzelnen Leitmärkte 2011 (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)

Abbildung 13: Volumina der Leitmärkte der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz in Deutschland 2011 (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)

Abbildung 14: Weltmarktanteile deutscher Unternehmen in den sechs Leitmärkten der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz 2011

Abbildung 15: Entwicklung der relativen Marktgrößen auf Leitmarktebene

- Abbildung 16:** Deutscher Anteil am globalen Leitmarkt Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung 2011 und 2025
- Abbildung 17:** Deutsche Photovoltaik-Industrie – Anteil am globalen Markt 2011 und 2025
- Abbildung 18:** Weltmarktanteile deutscher Unternehmen am globalen Leitmarkt Energieeffizienz 2007 und 2011 sowie an ausgewählten Technologielinien dieses Leitmarktes
- Abbildung 19:** Weltmarktanteile deutscher Unternehmen am globalen Leitmarkt Rohstoff- und Materialeffizienz 2007 und 2011 sowie an ausgewählten Technologielinien dieses Leitmarktes
- Abbildung 20:** Marktvolumina innerhalb des Leitmarktes Energieeffizienz in Deutschland 2011, 2015, 2025 (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)
- Abbildung 21:** Marktvolumina innerhalb des Leitmarktes Rohstoff- und Materialeffizienz in Deutschland 2011, 2015, 2025 (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)
- Abbildung 22:** Top-10-Technologielinien in Deutschland nach Marktgröße 2011 (in Milliarden Euro)
- Abbildung 23:** Top-10-Technologielinien in Deutschland nach Wachstum 2011 bis 2025 (durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)
- Abbildung 24:** Anteil klassischer Industrien am Gesamtmarkt Umwelttechnik und Ressourceneffizienz (Ausschnitt)
- Abbildung 25:** GreenTech-Anteil am globalen Marktvolumen (in Milliarden Euro) ausgewählter Industrien
- Abbildung 26:** Anteil der Dienstleistungen am Markt für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz
- Abbildung 27:** Wachstum des globalen Marktes für Umwelttechnik-Dienstleistungen 2011 bis 2025 (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)
- Abbildung 28:** Anteil der Dienstleistungen am Markt für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz in Deutschland – Entwicklung seit 2008
- Abbildung 29:** Dienstleistungsintensität auf Leitmarktebene in Deutschland 2010
- Abbildung 30:** Marktprognose Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung 2011, 2015 und 2025 (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)
- Abbildung 31:** Marktprognose Erneuerbare Energien 2011, 2015 und 2025 in Deutschland (in Millionen Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)
- Abbildung 32:** Bruttostromerzeugung in Deutschland nach Energieträgern
- Abbildung 33:** Anteile der erneuerbaren Energien an der Energiebereitstellung in Deutschland
- Abbildung 34:** Struktur der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland 2011: Anteile einzelner Energieträger
- Abbildung 35:** Schemazeichnung einer Biogasanlage (in Anlehnung an Darstellung auf www.bioenergie-portal.de)
- Abbildung 36:** Marktprognose Umweltschonenden Nutzung fossiler Brennstoffe 2011, 2015 und 2025 in Deutschland (in Millionen Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)
- Abbildung 37:** Marktprognose Speichertechnologien 2011, 2015 und 2025 in Deutschland (in Millionen Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)

Abbildung 38: Wirkungsgrade bei der Energiewandlung (in Prozent)

Abbildung 39: Einteilung der Speichertechnologien

Abbildung 40: Energieintensität in den EU-15-Ländern 1998 und 2008 (in kgoe/1.000 Euro)

Abbildung 41: Energieproduktivität und Primärenergieverbrauch in Deutschland 1990 bis 2009

Abbildung 42: Endenergieverbrauch nach Verbrauchergruppen

Abbildung 43: Marktprognose Energieeffizienz 2011, 2015 und 2025 (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)

Abbildung 44: Marktprognose Energieeffiziente Produktionsverfahren 2011, 2015 und 2025 in Deutschland (in Millionen Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)

Abbildung 45: Marktprognose Querschnittstechnologien für Industrie und Gewerbe 2011, 2015 und 2025 in Deutschland (in Millionen Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)

Abbildung 46: Marktprognose Energieeffiziente Gebäude 2011, 2015 und 2025 in Deutschland (in Millionen Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)

Abbildung 47: Marktprognose Energieeffiziente Geräte 2011, 2015 und 2025 in Deutschland (in Millionen Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)

Abbildung 48: Marktprognose Rohstoff- und Materialeffizienz 2011, 2015 und 2025 (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)

Abbildung 49: Marktprognose Materialeffiziente Produktionsverfahren 2011, 2015 und 2025 in Deutschland (in Millionen Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)

Abbildung 50: Kostenstruktur im produzierenden Gewerbe

Abbildung 51: Marktprognose Querschnittstechnologien 2011, 2015 und 2025 in Deutschland (in Millionen Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)

Abbildung 52: Marktprognose Nachwachsende Rohstoffe 2011, 2015 und 2025 in Deutschland (in Millionen Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)

Abbildung 53: Marktprognose Nachhaltige Mobilität 2011, 2015 und 2025 (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)

Abbildung 54: Marktprognose Effizienzsteigerung, Emissionsreduktion 2011, 2015 und 2025 in Deutschland (in Millionen Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)

Abbildung 55: Durchschnittliche CO₂-Emissionen von neu zugelassenen Fahrzeugen in den EU-15-Staaten 1995 bis 2009

Abbildung 56: Marktprognose Alternative Kraftstoffe 2011, 2015 und 2025 in Deutschland (in Millionen Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)

Abbildung 57: Marktprognose Alternative Antriebstechnologien 2011, 2015 und 2025 in Deutschland (in Millionen Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)

Abbildung 58: Marktprognose Verkehrssteuerung und Verkehrsinfrastruktur 2011, 2015 und 2025 in Deutschland (in Millionen Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)

- Abbildung 59:** Marktprognose Kreislaufwirtschaft 2011, 2015 und 2025
(in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)
- Abbildung 60:** Marktprognose Abfallsammlung und Abfalltransport 2011, 2015 und 2025 in Deutschland
(in Millionen Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)
- Abbildung 61:** Marktprognose Abfalltrennung 2011, 2015 und 2025 in Deutschland
(in Millionen Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)
- Abbildung 62:** Marktprognose Abfallverwertung 2011, 2015 und 2025 in Deutschland
(in Millionen Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)
- Abbildung 63:** Marktprognose Abfalldeponierung 2011, 2015 und 2025 in Deutschland
(in Millionen Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)
- Abbildung 64:** Marktprognose Nachhaltige Wasserwirtschaft 2011, 2015 und 2025
(in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)
- Abbildung 65:** Marktprognose Wassergewinnung und -aufbereitung 2011, 2015 und 2025 in Deutschland
(in Millionen Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)
- Abbildung 66:** Marktprognose Wasserverteilung 2011, 2015 und 2025 in Deutschland
(in Millionen Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)
- Abbildung 67:** Marktprognose Effizienzsteigerung bei der Wassernutzung 2011, 2015 und 2025 in Deutschland
(in Millionen Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)
- Abbildung 68:** Marktprognose Abwasserentsorgung Deutschland 2011, 2015 und 2025
(in Millionen Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2011-2025 in Prozent)
- Abbildung 69:** Bezugsrahmen und Merkmale der Green Economy
- Abbildung 70:** Green Economy – Handlungsfelder und ihre Messgrößen
- Abbildung 71:** Ebenen des Stromnetzes (Darstellung in Anlehnung an Agentur für Erneuerbare Energien)
- Abbildung 72:** Anteil der erneuerbaren Energie an der Stromversorgung und am gesamten Endenergieverbrauch
- Abbildung 73:** Smart Building – Themenfelder
- Abbildung 74:** Verteilung der Unternehmen nach Umsatzgröße (Anzahl der Nennungen in Prozent)
- Abbildung 75:** Verteilung der Unternehmen nach Mitarbeiterzahl (Anzahl der Nennungen in Prozent)
- Abbildung 76:** Anteil kleinerer und mittlerer Unternehmen an den sechs Leitmärkten der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz
- Abbildung 77:** Verteilung der Gesamtumsätze der Unternehmen auf die Leitmärkte
(nach absoluten Unternehmensumsätzen gewichtet)
- Abbildung 78:** Anzahl der Unternehmen (Anzahl der Nennungen in Prozent) nach Leitmarktfokus
- Abbildung 79:** Erwartetes jährliches Umsatzwachstum der Umwelttechnik bis 2015 im Vergleich zu anderen Branchen und der Gesamtwirtschaft (angegeben als durchschnittliches nominales Wachstum für Nicht-Umwelttechnik-Branchen und das BIP in Prozent)
- Abbildung 80:** Erwartetes Umsatzwachstum (in Prozent pro Jahr) bis 2015 nach Leitmarktfokus

Abbildung 81: Verteilung der Unternehmen nach Profitabilität (Anzahl der Nennungen in Prozent)

Abbildung 82: Durchschnittliche Profitabilität nach Leitmarktfokus (in Prozent)

Abbildung 83: Durchschnittsalter der Unternehmen, differenziert nach Unternehmensgröße und Leitmarktfokus

Abbildung 84: Durchschnittliche FuE-Quote nach Leitmarkt (in Prozent)

Abbildung 85: Jährliche Differenz aus erwartetem Umsatzwachstum und Anstieg der Beschäftigtenzahl bis 2015 nach Leitmarktfokus (in Prozentpunkten)

Abbildung 86: Veränderung der Bedeutung von Absatzmärkten national/international – Vergleich 2008 und 2011

Abbildung 87: Erwartete Veränderung der Bedeutung von Absatzmärkten national/international – Vergleich 2011 und 2025

Abbildung 88: Anteil der Unternehmen mit internationalem Fokus (Auslandsumsatz mindestens 30 Prozent des Gesamtumsatzes) nach Leitmarktfokus (Anzahl der Nennungen in Prozent)

Abbildung 89: Durchschnittliche FuE-Quote 2010 und erwartetes Umsatzwachstum p. a. bis 2015 – Vergleich zwischen Unternehmen mit internationalem Fokus (Exportquote mindestens 30 Prozent) und nationalem Fokus

Abbildung 90: Leistungsangebot der Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette (Anzahl der Nennungen in Prozent)

Abbildung 91: Top-5-Technologielinien in den Leitmärkten Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung und Energieeffizienz (Anzahl der Nennungen in Prozent; bezogen auf die Gesamtheit aller Umfrageteilnehmer (leitmarktübergreifend))

Abbildung 92: Top-5-Technologielinien in den Leitmärkten Rohstoff- und Materialeffizienz und Kreislaufwirtschaft (Anzahl der Nennungen in Prozent; bezogen auf die Gesamtheit aller Umfrageteilnehmer (leitmarktübergreifend))

Abbildung 93: Top-5-Technologielinien in den Leitmärkten Nachhaltige Wasserwirtschaft und Nachhaltige Mobilität (Anzahl der Nennungen in Prozent; bezogen auf die Gesamtheit aller Umfrageteilnehmer (leitmarktübergreifend))

Abbildung 94: Positionierung in den Standortfaktoren relativ zum nationalen und internationalen Wettbewerb – Selbsteinschätzung der Unternehmen

Abbildung 95: Beurteilung der aktuellen Geschäftslage differenziert nach Leitmarkt

Abbildung 96: Geschäftserwartungen differenziert nach Leitmarkt

Abbildung 97: Veränderung des Geschäftsklimaindex zwischen 2008 und 2011

Abbildung 98: Geschäftserwartungen nach Leitmarkt und Internationalität

Abbildung 99: Durchschnittliche Exportquote (nicht nach Umsatz der Unternehmen gewichtet) nach Bundesländern

Abbildung 100: Top-3 Absatzmärkte außerhalb Europas aus Sicht der Unternehmen

Abbildung 101: Im Bundesland des Firmensitzes erzielter Anteil am Gesamtumsatz

Abbildung 102a: Top-3 Technologielinien (nach Häufigkeit der Nennungen) und Leitmarktzuordnung nach Bundesland

Abbildung 102b: Top-3 Technologielinien (nach Häufigkeit der Nennungen) und Leitmarktzuordnung nach Bundesland

Abbildung 103a: Top-3 Standortfaktoren aus Sicht der Unternehmen nach Bundesland

Abbildung 103b: Top-3 Standortfaktoren aus Sicht der Unternehmen nach Bundesland

Abbildung 104: Strategische Ausrichtung der Fördermaßnahmen der Bundesländer – Zielsetzung und Zielgruppen

Literaturverzeichnis

A

ABH Elektromontage GmbH (2011a): Engineering the Light [http://abh-beleuchtung.de/download/ABH-Revo_Leuchten_Hallenbeleuchtung.pdf]; abgerufen am 8. Januar 2012].

ABH Elektromontage GmbH (2011b): 17. August 2011 – Neue Hallenbeleuchtung bei ArcelorMittal [<http://www.abh-beleuchtung.de/pressemitteilungen/17-august-2011-neue-hallenbeleuchtung-bei-arcelormittal/>]; abgerufen am 8. Januar 2012].

Adam Opel AG (2011): [<http://www.opel-ampera.com/index.php/ger/home>]; abgerufen am 8. Januar 2012].

AG Energiebilanzen e.V. (2012): Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2011 [www.ag-energiebilanzen.de]; abgerufen am 7. März 2012].

Agentur für Erneuerbare Energien (2011a): Der Strommix in Deutschland 2010 [<http://www.unendlich-viel-energie.de/de/detailansicht/article/226/der-strommix-in-deutschland-im-jahr-2010.html>]; abgerufen am 7. Januar 2012].

Agentur für Erneuerbare Energien (2011b): Marktentwicklung Geothermie in Deutschland 2009 [<http://www.unendlich-viel-energie.de/de/erdwaerme/detailansicht/article/89/marktentwicklung-geothermie-in-deutschland-2009.html>]; abgerufen am 7. Januar 2011].

Agentur für Erneuerbare Energien (Hrsg.) (2011c): Erneuerbare im Netz. Die notwendige Anpassung der Versorgungsinfrastruktur. *Renews Special*, Ausgabe 50/März 2011.

Albert Speer & Partner GmbH (2011) [<http://www.as-p.de/projects/stadtplanung/223408-changchun-jingyue-ecological-city.html>]; abgerufen am 25. September 2011].

Allianz (2011): Grüne Städte. Wohnen in Utopia [<http://www.wissen.allianz.at/?1537/gruene-staedte-wohnen-in-utopia>]; abgerufen am 16. Oktober 2011].

Arbeitsgemeinschaft Branchenenergiekonzept Papier (2009): Branchenleitfaden für die Papierindustrie. Ausgabe 2009 [http://iuta-de.arcor-web.de/files/branchenleitfaden_papierindustrie_2009.pdf]; abgerufen am 8. Januar 2012].

Architekturzeitung (2011): Sturmfeste Folienfassade an der Unilever Zentrale [<http://architekturzeitung.com/architektur/architektur-deutschland/599-unilever-behnisch-architekten-formtl.html>]; abgerufen am 16. Januar 2012].

automotiveIT (2011): car2go stellt in Hamburg neue Rekorde auf. In: www.automotiveit.eu vom 22. Juli 2011 [<http://www.automotiveit.eu/car2go-stellt-in-hamburg-neue-rekorde-auf/news/id-0028093>]; abgerufen am 6. Oktober 2011].

B

B&O Stammhaus GmbH & Co. KG (2011) [<http://www.bo-wohnungswirtschaft.de/index.php/eneff-stadt.html>]; abgerufen am 24. August 2011].

BARD-Gruppe (2010): Erster Hochsee-Windstrom aus „BARD Offshore 1“; Pressemitteilung vom 7. Dezember 2010 [<http://www.bard-offshore.de/de/presse-center/pressemitteilungen>]; abgerufen am 7. Januar 2011].

BASF SE (2011a): Konzernlagebericht 2010. Die Wachstumscluster der BASF [<http://berichte.basf.de/2010/de/konzernlagebericht/diebasf-gruppe/forschungundentwicklung/wachstumscluster.html>]; abgerufen am 2. September 2011].

BASF SE (2011b) [http://www.plasticsportal.net/wa/plasticsEU~de_DE/portal/show/common/plasticsportal_news/2011/11_421]; abgerufen am 14. Oktober 2011].

Bauer, M./Mösle, P. (2010): Behaglichkeit und Raumklima. In: Spath, D./Bauer, W./Rief, S. (Hrsg.): *Green Office. Ökonomische und ökologische Potenziale nachhaltiger Arbeits- und Bürogestaltung*. Wiesbaden. S. 99-124.

Bayer AG (2011): Gedämmt und mobil im Klimawandel [<http://www.research.bayer.de/de/energieeffizienz.aspx>]; abgerufen am 8. Januar 2012].

Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.) (2011): Regenwasser – zu schade für den Abfluss. Neumarkter Lammsbräu spart Wasser (http://www.izu.bayern.de/praxisbs/download/praxisbeispiele_neumarkter_lammsbraeu_internet.pdf); abgerufen am 15. Oktober 2011].

Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (2011): Energie-Atlas Bayern [http://www.energieatlas.bayern.de/thema_abwaerme/ausserbetrieblich/anleitung.html]; abgerufen am 18. Januar 2012].

Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie (2011): Institute für Organische Chemie und für Physikalische Chemie der Universität Regensburg [<http://www.stmwivt.bayern.de/rohstoffstrategie/themen/materialeffizienz-und-substitution/ressourcenaufbereitung-und-anwendung/universitaet-regensburg/>]; abgerufen am 8. Januar 2012].

Behnisch Architekten (2011) [<http://behnisch.com/projects/344>]; abgerufen am 16. Januar 2011].

BHKL Schlammentwässerungs-OHG (2011): Thermische Verwertung von Klärschlämmen [<http://www.bhkl.de/thermische-verwertung.html>]; abgerufen am 4. Oktober 2011].

Behrenberg Bank (2007): Klimawandel-Diskussion birgt Chancen für Standort Deutschland; Pressemitteilung vom 8. Oktober 2007 [<http://www.berenberg.de/nc/pressemeldung/artikel/klimawandel-diskussion-birgt-chancen-fuer-standort-deutschland.html>]; abgerufen am 19. Januar 2012].

BINE Informationsdienst (2006): Kraftwerke mit Kohlevergasung (projektinfo 09/06) [http://www.kraftwerkforschung.info/fileadmin/user_upload/Bilder/Publikationen/projekt_0906-KWmitKohlevergas.pdf].

BINE Informationsdienst (2010): Über 60 % Wirkungsgrad im Gas- und Dampfkraftwerk Irsching [<http://www.kraftwerkforschung.info/ueber-60-wirkungsgrad-im-gas-und-dampfkraftwerk-irsching/>]; abgerufen am 7. Januar 2012].

BINE Informationsdienst (2011): Modellhafte Stadtquartierssanierung Freiburg Weingarten-West [www.eneff-stadt.info/de/pilotprojekte/projekt/details/modellhafte-stadtquartierssanierung-freiburg-weingarten-west/]; abgerufen am 24. August 2011].

Bioenergiekraftwerk Emsland (2011): Strom und Wärme aus Stroh [<http://www.bioenergie-emsland.de/>]; abgerufen am 12. September 2011].

bioenergie-portal.de (2011) [<http://www.bioenergie-portal.de/biogasanlage/technik/funktion>]; abgerufen am 28. August 2011].

BioM WB GmbH (2011): Bioethanol aus Stroh. Die Weiße Biotechnologie in Bayern wird weiter gestärkt! [<http://www.biom-wb.de/nachrichten/bioethanol-aus-stroh-die-weiße-biotechnologie-in-bayern-wird-weiter-gestaerkt.html>]; abgerufen am 2. September 2011].

BiomassEnergie (2011): energieschweiz. Die Plattform für biogene Treibstoffe [<http://www.bio-sprit.ch/RohstoffeTechnologien/BiogeneTreibstoffeim%C3%9Cberblick/tabid/567/language/de-CH/Default.aspx>]; abgerufen am 4. Oktober 2011].

biotechnologie.de. Die Informationsplattform (2011): Was ist Biotechnologie? [<http://www.biotechnologie.de/BIO/Navigation/DE/Hintergrund/basiswissen.html>]; abgerufen am 2. September 2011].

BITKOM (2011a): Optimierung von Arbeitsplatzcomputern [<http://www.green-it-wegweiser.de/Green-IT/Navigation/Anwendungsbeispiele/optimierung-von-arbeitsplatzcomputern.html>]; abgerufen am 8. Januar 2012].

BITKOM (2011b): Cloud Computing: Evolution in der Technik, Revolution im Geschäft? [www.bitkom.org/de/themen/61490.aspx]; abgerufen am 27. Dezember 2011].

BITKOM (2011c): „Smart Cities“ – Grüne ITK zur Zukunftssicherung moderner Städte. Diskussionspapier zur 5. Jahreskonferenz BMU/UBA/BITKOM. Berlin.

BMW AG (Hrsg.) (2010): Sustainable Value Report 2010. München.

BMW AG (2011): BMW i3 Concept. Das Megacity Vehicle [http://www.bmw-i.de/de_de/bmw-i3/]; abgerufen am 15. August 2011].

Bockhorst, M. (2011a): Energielexikon auf www.energieinfo.de, Kohlekraftwerk [<http://www.energieinfo.de/eglossar/node96.html>]; abgerufen am 7. Januar 2012].

Bockhorst, M. (2011b): www.energieinfo.de, Fernseher: Welcher braucht wieviel Strom? [www.energieinfo.de/energiesparen/energiespartipps_fernseher_kaufen.html]; abgerufen am 8. Januar 2012].

Borries, F. (2010): Klimakapseln. Überlebensbedingungen in der Katastrophe, Berlin: Suhrkamp.

Buderus Thermotechnik GmbH (2011): Martin-Luther-Krankenhaus, Bochum. Energieeffizienz zum Wohle der Patienten [http://www.buderus.de/Produkte/Referenzanlagen/Gesamtuebersicht/Martin_Luther_Krankenhaus_Bochum-3355805.html]; abgerufen am 9. September 2011].

Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND) (2011): Kohlekraftwerk Moorburg – Umweltfolgen und Alternativen [http://www.bund.net/bundnet/themen_und_projekte/klima_energie/kohlekraftwerke_stoppen/brennpunkt_hamburg/auf_einem_blick/; abgerufen am 7. Januar 2012].

Bundesministerium für Bildung und Forschung (2011): Innovationsinitiative industrielle Biotechnologie [<http://www.bmbf.de/de/16336.php>; abgerufen am 2. September 2011].

Bundesministerium für Bildung und Forschung (2008): Weiße Biotechnologie. Chancen für neue Produkte und umweltschonende Prozesse. Berlin [http://www.bmbf.de/pub/weisse_biotechnologie.pdf; abgerufen am 8. Januar 2012].

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2008): Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff und Brennstoffzellentechnologie (NIP).

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2011a): BMVBS erarbeitet Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie; Pressemitteilung 126/2011 vom 9. Juni 2011 [<http://www.bmvbs.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2011/126-bomba-mobilitaets-und-kraftstoffstrategie.html?view=renderDruckansicht&nn=35788>; abgerufen am 1. Juli 2011].

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2011b): Testfamilie für Energie-Plus-Haus mit Elektromobilität in Berlin gesucht; Pressemitteilung 180/2011 vom 7. September 2011 [http://www.bmvbs.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2011/180-ramsauer-energie-plus-haus.html?linkToOverview=DE%2FPresse%2FPressemitteilungen%2Fpressemitteilungen_node.html%3Fgtp%3D36166_list%25253D11%23id71124; abgerufen am 18. Januar 2012].

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie/Bundesumweltministerium (2010): Energiekonzept für eine umweltfreundliche, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. Berlin.

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (2009): Stand und Entwicklungspotenzial der Speichertechniken für Elektroenergie – Ableitung von Anforderungen an und Auswirkungen auf die Investitionsgüterindustrie (BMW i-Auftragsstudie 08/28; Abschlussbericht) [<http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/Studien/speichertechniken-elktroenergie,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=d,e,rwb=true.pdf>; abgerufen am 7. Januar 2012].

Bundesumweltministerium (2009a): Energieeffizienz – die intelligente Energiequelle. Tipps für Industrie und Gewerbe. Berlin [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/broschuere_energieeffizienz_tipps_bf.pdf; abgerufen am 8. Januar 2012].

Bundesumweltministerium (2009b): Energieeffiziente Rechenzentren – Best-Practice-Beispiele aus Europa, USA und Asien. Berlin.

Bundesumweltministerium (2009c): Fördernehmer: Klinikum Kulmbach, Kulmbach/Bayern. Vorhaben: Servervirtualisierung [http://www.bmu.de/foerderprogramme/pilotprojekte_inland/doc/44019.php; 27. Dezember 2011].

Bundesumweltministerium (2009d): Umwelttechnik-Dienstleistungen. Treiber für ökologische Modernisierung und Beschäftigung. Berlin.

Bundesumweltministerium (2009e): Was Investoren wollen. Nachhaltigkeit in der Lageberichterstattung. Berlin.

Bundesumweltministerium (2010): Verantwortlicher Umgang mit Nanotechnologien. Bericht und Empfehlungen der NanoKommission 2011. Berlin.

Bundesumweltministerium (2011a): Bundesumweltministerium fördert 50 Hybridbusse für umweltfreundlichen Nahverkehr; Pressemitteilung 010/11 vom 21. Januar 2011 [http://www.bmu.de/pressemitteilungen/aktuelle_pressemitteilungen/pm/46939.php; abgerufen am 26. Juli 2012].

Bundesumweltministerium (2011b): Kurzinform Windenergie [<http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/4642/>; abgerufen am 3. Juli 2011].

Bundesumweltministerium (2011c): Erneuerbare Energien 2010. Daten des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2010 auf der Grundlage der Angaben der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) Vorläufige Angaben, Stand 23. März 2011. Berlin.

Bundesumweltministerium (2011d): Erneuerbare Energien in Zahlen. Nationale und internationale Entwicklung. Berlin.

Bundesumweltministerium (2011e): Kreislaufwirtschaft. Abfall nutzen – Ressourcen schonen (Broschüre). Berlin.

Bundesumweltministerium (2011f): Röttgen: Mehr Effizienz, mehr Wettbewerb, mehr Bürgernähe! Pressemitteilung Nr. 131/2011 vom 28. Oktober 2011 [http://www.bmu.de/pressemitteilungen/aktuelle_pressemitteilungen/pm/47898.php; abgerufen am 9. Januar 2012].

Bundesumweltministerium (2011g): Paket von Durban [http://www.bmu.de/klimaschutz/internationale_klimapolitik/17_klimakonferenz/doc/48152.php; abgerufen am 31. Dezember 2011].

Bundesumweltministerium/Umweltbundesamt (Hrsg.) (2007): Von der Umwelterklärung zum Nachhaltigkeitsbericht.

Bundesumweltministerium/Umweltbundesamt (2012): Umweltwirtschaftsbericht 2011. Daten und Fakten für Deutschland. Berlin.

Bundesumweltministerium/Umweltbundesamt (Hrsg.) (Juni 2012): Energiemanagementsysteme in der Praxis - DIN EN ISO 50001: Leitfaden für Unternehmen und Organisationen.

Bundesverband BioEnergie e.V. (2011): Definition [http://www.bioenergie.de/index.php?option=com_content&view=article&id=12&Itemid=19; abgerufen am 7. Januar 2012].

Bundesverband Geothermie e.V. (2011): Tiefe Geothermieprojekte in Deutschland [http://www.geothermie.de/fileadmin/useruploads/aktuelles/projekte/tiefe/deutschland/Geothermie-Projekte-in-Deutschland_12.2010.pdf; abgerufen am 7. Januar 2012].

Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e.V. (2011): Adamec Recycling: Weltweit modernste Recyclinganlage nimmt Testbetrieb auf [http://www.bvse.de/2/4511/Adamec_Recycling_Weltweit_modernste_Recyclinganlage_nimmt_Testbetrieb_auf; abgerufen am 14. Oktober 2011].

Bundesverband Solarwirtschaft (2012): Statistische Zahlen der deutschen Solarwärmebranche (Solarthermie) [http://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/media/pdf/bsw_solar_fakten_st.pdf; abgerufen am 6. März 2012].

Bundesverband Solarwirtschaft (2012): Statistische Zahlen der deutschen Solarstrombranche (Photovoltaik) [http://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/media/pdf/bsw_solar_fakten_pv.pdf; abgerufen am 6. März 2012].

Bundesverband WindEnergie e.V. (2010a): Repowering von Windenergieanlagen. Effizienz, Klimaschutz, regionale Wertschöpfung. Berlin.

Bundesverband WindEnergie e.V. (Hrsg.) (2010b): Wirtschaftlichkeit und Vergütung von Kleinwindanlagen. Berlin.

Bundesverband WindEnergie e.V. (2012): Statistiken [<http://www.wind-energie.de/infocenter/statistiken>; abgerufen am 6. März 2011].

BP Statistical Review of World Energy June 2011 [www.bp.com/assets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2011/STAGING/local_assets/pdf/statistical_review_of_world_energy_full_report_2011.pdf; abgerufen am 6. Januar 2011].

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Hrsg.) (2010): Bundesrepublik Deutschland Rohstoffsituation 2009. Hannover [http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/Rohsit-2009.pdf?__blob=publicationFile&v=3; abgerufen am 22. August 2011].

C

Carbon Disclosure Project (2011a): Carbon Disclosure Project 2011 Deutschland/Österreich 250 [<https://www.cdproject.net/CDPResults/CDP-2011-Germany-Austria-Report-German.pdf>; abgerufen am 17. Januar 2012].

Carbon Disclosure Project (2011b) [<https://www.cdproject.net/en-US/WhatWeDo/Pages/overview.aspx>; abgerufen am 6. Januar 2012].

Cleanenergy Project (2011): Neues Recyclingverfahren für Seltene Erden [<http://www.cleanenergy-project.de/17827/>; abgerufen am 10. Oktober 2011].

Cluster Umwelttechnologien.NRW (Hrsg.) (2011a): Rationelle (Ab)Wärmenutzung in NRW. Düsseldorf.

Cluster Umwelttechnologien.NRW (2011b): Jahresbericht 2010. Düsseldorf [http://www.umweltclusternrw.de/data/files/913/20101115_jahresbroschuere_cluster_web%20%28final%29.pdf; abgerufen am 9. Januar 2012].

CO₂ GeoNet Europäisches Exzellenznetzwerk (2009): Geologische CO₂-Speicherung – was ist das eigentlich? [www.co2geonet.com/UserFiles/file/Rowena/German_final_protégé.pdf; abgerufen am 9. Januar 2012].

CO₂-emissionen-vergleichen.de (2011) [<http://www.co2-emissionen-vergleichen.de/Stromerzeugung/CO2-Vergleich-Stromerzeugung.html>; abgerufen am 7. Januar 2012].

Csapo, L. (2010): Grün und günstig. Materialeffizienz als Fitnessprogramm für Unternehmensbilanz und Umweltschutz. In: Markt und Mittelstand, Ausgabe 4/2010, S. 64-66.

Czycholl, H. (2010): Backpulver soll die Welt vorm Verdursten bewahren. In: Welt online vom 23. August 2010 [<http://www.welt.de/wissenschaft/article9230367/Backpulver-soll-die-Welt-vorm-Verdursten-bewahren.html>]; abgerufen am 3. Oktober 2011].

D

Daimler AG (2011): Hybridantriebe. S 400 HYBRID: Effizienzsteigerung mit dem modularen Hybridsystembaukasten [<http://www.daimler.com/dccom/0-5-1200802-49-1401159-1-0-0-1201129-0-0-8-0-0-0-0-0-0-0.html>]; abgerufen am 8. Januar 2012].

DB Climate Change Advisors (2011): Investing in Climate Change 2011 [http://www.dbcca.com/dbcca/EN/_media/Inv_in_CC_2011_Final.pdf]; abgerufen am 15. Januar 2012].

Deleker, J. (2010): Was die Hersteller alles planen. In: www.auto-motor-und-sport.de vom 11. Juni 2010 [<http://www.auto-motor-und-sport.de/eco/technik-co2-reduktion-was-die-hersteller-alles-planen-1814703.html>]; abgerufen am 4. Oktober 2011]

Design Museum (2011): R. Buckminster Fuller. Inventor, Designer, Architect, Theorist (1895-1983) [<http://designmuseum.org/design/r-buckminster-fuller>]; abgerufen am 8. Oktober 2011].

Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (Hrsg.) (2011): Smart Cities. Deutsche Hochtechnologie für die Stadt der Zukunft. Aufgaben und Chancen [http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Publikationen/Stellungnahmen/acatech_bezieht_Position_Nr10_Smart-Cities_WEB.pdf]; abgerufen am 16. Januar 2012].

Deutsche Bahn (2010): Innovativer Lärmschutz: Deutsche Bahn erprobt ab 2011 Schienenstegdämpfer im Elbtal; Pressemitteilung vom 8. November 2010.

Deutsche Bahn AG (2011a): BMWi und DB starten Forschungsprojekt für neue Verbundstoffbremssohlen [<http://www.deutschebahn.com/site/bahn/de/nachhaltigkeit/umwelt/laermminderung/laegiv/laegiv.html>]; abgerufen am 15. August 2011].

Deutsche Bahn AG (2011b): Die Deutsche Bahn macht Berlin elektrisch mobil – mit Elektroautos [http://www.deutschebahn.com/site/bahn/de/nachhaltigkeit/umwelt/partner__und__kooperationen/bemobility/bemobility__umwelt.html]; abgerufen am 8. Januar 2012].

Deutsche Bank (2011): Festliche Wiedereröffnung der Deutschen Bank-Türme; Pressemitteilung vom 24. Februar 2011 [http://www.deutsche-bank.de/medien/de/content/presse_informationen_2011_3536.htm]; abgerufen am 25. September 2011].

Deutsche Bank Research (2010): Weltwassermärkte. Hoher Investitionsbedarf trifft auf institutionelle Risiken. Frankfurt a. M.

Deutsche Bank Research (2011): CCS für den Klimaschutz: wichtig, mühsam, teuer. Frankfurt/Main 2011.

Deutsche Bundesstiftung Umwelt (2009) [http://www.dbu.de/projekt_11426/01_db_799.html]; 30. Dezember 2011].

Deutsche Emissionshandelsstelle im Umweltbundesamt (DEHSt) (2011): Versteigerung von Emissionsberechtigungen in Deutschland: Periodischer Bericht Juli 2011.

Deutsche Energie-Agentur (Hrsg.) (2010a): Ratgeber „Elektrische Motoren in Industrie und Gewerbe: Energieeffizienz und Ökodesign-Richtlinie.“ Berlin [http://www.industrie-energieeffizienz.de/fileadmin/InitiativeEnergieEffizienz/referenzprojekte/downloads/Leuchtturm/Ratgeber_Motoren_Energieeffizienz_OEkodesign.pdf]; abgerufen am 8. Januar 2012]

Deutsche Energie-Agentur (Hrsg.) (2010b): Kälte-technik für Industrie und Gewerbe, Berlin.

Deutsche Energie-Agentur (2011a): Energieeffizienz in Druckluftsystemen [www.industrie-energieeffizienz.de/technologien/druckluft.html]; 27. Dezember 2011].

Deutsche Energie-Agentur (2011b): Internet-Portal www.zukunft-haus.de [http://www.zukunft-haus.info/fileadmin/zukunft-haus/documents/gebaeudelueftung/zu_abluftanlage_wrg.pdf]; abgerufen am 8. Januar 2012].

Deutsche Energie-Agentur (2011c): Mikro-BHKW (bis 10 Kilowatt) [<http://www.thema-energie.de/energie-erzeugen/blockheizkraftwerke/groessenklassen/mikro-bhkw.html>]; abgerufen am 18. Januar 2012].

Deutsche Energie-Agentur (2011d): Mit Contracting spart Auswärtiges Amt dauerhaft Energiekosten [http://www.kompetenzzentrum-contracting.de/aktuelles/aktuelle-meldungen/details/beitrag/mit-contracting-spart-auswrtiges-amt-dauerhaft-energiekosten-_100000050/]; abgerufen am 28. September 2011].

Deutsche Energie-Agentur (2011f): Energieeffizienz in Pumpensystemen [<http://www.industrie-energie-effizienz.de/technologien/pumpensysteme.html>]; abgerufen am 20. Januar 2012].

Deutsche Lufthansa AG (2011): Biokraftstoff im Praxistext. Wir bringen Nachhaltigkeit in die Luft [<http://verantwortung.lufthansa.com/fileadmin/downloads/de/LH-Biofuel-Flyer.pdf>]; abgerufen am 8. Januar 2012].

Deutsche Materialeffizienzagentur (2008): Schürholz GmbH Co. KG. Verbesserte Prozessabläufe führen zu drastischen Kosteneinsparungen [<http://www.demea.de/pressemitteilungen/schurholz-gmbh>]; abgerufen am 8. Januar 2012].

Deutsche Materialeffizienzagentur (2010a): Materialverluste wie weggeblasen [<http://www.demea.de/was-ist-materialeffizienz/materialeffizienzpreis/archiv/preisverleihung-2009/diebold-gmbh>]; abgerufen am 8. Januar 2012].

Deutsche Materialeffizienzagentur (2010b): Deutscher Materialeffizienz-Preis 2010. Die Preisträger. Berlin.

Deutsche Materialeffizienzagentur (2011a): Basisinformationen. Warum ist Materialeffizienz wichtig? [<http://www.demea.de/was-ist-materialeffizienz/Basisinformationen>]; abgerufen am 8. Januar 2012].

Deutsche Materialeffizienzagentur (2011b): Was ist Materialeffizienz? [<http://www.demea.de/was-ist-materialeffizienz>]; abgerufen am 8. Januar 2012].

Deutsche Telekom AG (2011a): Corporate Responsibility 2010/2011. Wir leben Verantwortung. Bonn.

Deutsche Telekom AG (2011b): 250.000 Handys eingesammelt [<http://www.telekom.com/verantwortung/news/18038>]; abgerufen am 9. Januar 2012].

Deutscher Bundestag (2010a): Drucksache 17/3620 - Schriftliche Fragen mit den in der Woche vom 1. November 2010 eingegangenen Antworten der Bundesregierung [<http://dipbt.bundestag.de/dip21/btd/17/036/1703620.pdf>]; abgerufen am 6. Oktober 2011].

Deutscher Bundestag (2010b): Aktueller Begriff Seltene Erden (Analyse des Wissenschaftlichen Dienstes) [http://www.bundestag.de/dokumente/analysen/2010/seltene_erden.pdf]; abgerufen am 6. Oktober 2011].

Deutsches BiomasseForschungszentrum (2011): Infothek Bioenergie [<http://www.dbfz.de/web/forschung/infothek-bioenergie.html>]; abgerufen am 7. Januar 2012].

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (2010): ADELE liefert Strom, wenn er dringend gebraucht wird; Pressemitteilung vom 20. Januar 2010 [http://www.dlr.de/tt/Portaldata/41/Resourcen/dokumente/tp/Adele_liefert_Strom.pdf]; abgerufen am 14. August 2011].

Dienstleistungsgesellschaft der Norddeutschen Wirtschaft mbH (Hrsg.) (2010): Leitfaden Betriebliches Energiemanagement. Praxisorientierte Hilfestellung für mittelständische Unternehmen. Hannover.

Diermann, R. (2010): Heizen für Könner. In: LUX. Das Magazin für intelligente Energie, Nr. 4/2010. S. 37-41.

Donner, S. (2011): Bakterien als Goldgräber. In: www.wiwo.de vom 10. Februar 2011 [<http://www.wiwo.de/technik-wissen/bakterien-als-goldgraeber-456092/>]; abgerufen am 10. Oktober 2011].

Dorsch Gruppe (2011) [<http://www.dorsch.de/projekte/>]; abgerufen am 18. Januar 2012].

Dow Jones Sustainability Index (2012) [http://www.sustainability-index.com/djsi_pdf/publications/Factsheets/SAM_IndexesMonthly_DJSIWorld.pdf]; abgerufen am 6. Januar 2011].

Dow Jones Sustainability Index (2010): BP removed from the Dow Jones Sustainability Indexes; Pressemitteilung vom 1. Juni 2010 [http://www.sustainability-index.com/djsi_pdf/news/PressReleases/20100531_Statement%20BP%20Exclusion_Final.pdf]; abgerufen am 6. Januar 2011].

Dürr AG (2011) [http://www.durr.com/de/unternehmen/unternehmensbereiche/paint-and-assembly-systems/application-technology/news-events/fachpresse-fachartikel/fachpressefachartikel/?tx_ttnews%5Btt_news%5D=9170&cHash=827ac36d8c43f46854784b4dbaab062d&no_cache=1]; abgerufen am 6. Oktober 2011].

DVFA/EFFAS (2010): KPIs for ESG. A Guideline for the Integration of ESG into Financial Analysis and Corporate Valuation. Frankfurt/Main.

E

Eberl, U. (2000): Technologien für lebenswerte Städte. In: Spektrum der Wissenschaft vom 1. Oktober 2000 [<http://www.spektrum.de/artikel/826901>]; abgerufen am 17. Oktober 2011].

Econitor (2011): Elektroschrott effizienter recyceln [http://www.econitor.de/magazin/lifestyle/elektroschrott-effizienter-recyceln_12757.html; abgerufen am 13. Oktober 2011].

EnBW (2010): Dezentrale Kraftwerke: Mehr Effizienz durch Kraft-Wärme-Kopplung; Pressemitteilung vom 11. März 2010 [http://www.enbw.com/content/de/presse/pressemitteilungen/2010/03/20100311_dlr_cu_ys01/index.jsp; abgerufen am 9. September 2011].

EnBW (2011): Mitten im Meer [http://www.enbw.com/content/de/windkraft_offshore/baltic1/das_projekt/index.jsp; abgerufen am 7. Januar 2012].

Enercon (2011): Meerwasserentsalzungsanlagen – ein Anwendungsbeispiel [http://www.wwindea.org/technology/ch05/de/5_2_1.html; abgerufen am 4. Oktober 2011].

EnergieAgentur.NRW (2009): Innovatives Verfahren in der Metallverarbeitung spart Energie und Rohstoffe [http://www.ea-nrw.de/_infopool/page.asp?InfoID=7423; abgerufen am 22. September 2011].

EnergieAgentur.NRW (2011) [<http://www.energieagentur.nrw.de/contracting/page.asp?TopCatID=2739&RubrikID=2739>; abgerufen am 28. September 2011].

energie-sparen-aktuell.de (2011) [<http://www.energie-sparen-aktuell.de/neue-energie-effizienzklasse-energiesparlabel-fuer-waschmaschinen/>; abgerufen am 8. Januar 2012].

Energiewende Aktuell, Ausgabe 2/2012 [http://www.bmu.de/energiewende_aktuell/content/48415.php; abgerufen am 7. März 2012].

Enertrag AG (2011): Wasserstoffhybridkraftwerk in Prenzlau geht in Betrieb; Pressemitteilung vom 25. Oktober 2011 [https://www.enertrag.com/download/presse/pm_de_2011_10_25_hybridkraftwerk_eroffnung.pdf; abgerufen am 7. Januar 2012].

Entsorgungstechnik Bavaria GmbH (2010): Bessere Sortierergebnisse durch modernste Technologie in der Papiersortierung; Pressemitteilung Juli 2010 [<http://www.entsorgungstechnik-bavaria.de/Aktuell/Pressemeldung14.htm>; abgerufen am 10. Oktober 2011].

Envio AG (2010): BEBRA Biogas: Membrantechnologie gewinnt Sonderpreis der dena [www.envio-group.com/ir/news-und-kalender/news-eintrag/article/bebra-biogas-membrantechnologie-gewinnt-sonderpreis-der-dena/28.html; abgerufen am 9. Januar 2012].

Erneuerbare Energien (2010): Plusenergiehaus: Architektur und Energie [<http://www.erneuerbare-energien.de/plusenergiehaus-architektur-und-energie/150/490/29701/>; abgerufen am 18. Januar 2012].

Erneuerbare Energien (2011): Greenpeace Energy. Energie-Genossenschaft fördert Mikrokraftwerke [<http://www.erneuerbareenergien.de/energie-genossenschaft-foerdert-mikrokraftwerke/150/406/31563/>; abgerufen am 6. September 2011].

Ernst & Young GmbH (2012) [<http://www.ey.com/DE/de/Services/Specialty-Services/Climate-Change-and-Sustainability-Services/CCaSS---Home>; abgerufen am 18. Januar 2012].

E.ON AG (2010): Deutschland lässt sich bei der Verbreitung intelligenter Zähler Zeit [www.eon.com/de/downloads/E.ON_e-magazin_2010_1.pdf; abgerufen am 18. Januar 2012].

E.ON Kraftwerke GmbH (2012): Bereit für die Spitzenlast [http://www.kraftwerk-wilhelmshaven.com/pages/ekw_de/Huntorf/Portraet/index.htm; abgerufen am 7. Januar 2012].

EU (2012): Europe 2020 [http://ec.europa.eu/europe2020/index_en.htm; abgerufen am 17. Januar 2012].

EU (JRC, ipts) (2011): Final draft sectoral reference document on Best Environmental Practice for the Retail Trade Sector, June 2011.

Eurostat (2011): Energy, transport and environment indicators, 2010 edition [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-DK-10-001/EN/KS-DK-10-001-EN.PDF; abgerufen am 9. Januar 2012].

F

Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe e.V. (2011a): Basisinfo nachwachsende Rohstoffe [<http://www.nachwachsenderohstoffe.de/basisinfo-nachwachsende-rohstoffe/ueberblick/>; abgerufen am 7. Januar 2012].

Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe e.V. (2011b): Daten und Fakten [<http://www.nachwachsenderohstoffe.de/service/daten-und-fakten/anbau/?spalte=3>; abgerufen am 28. Dezember 2011].

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (2011c): Nachwachsende Rohstoffe in der Industrie [<http://www.nachwachsenderohstoffe.de/nachwachsende-rohstoffe/produktgruppen/>; 28. Dezember 2011].

flinc AG (2012): Bundesweites „Social Mobility Network“ gestartet; Pressemitteilung der flinc AG [<http://presse.flinc.org/?p=24#more-24>; abgerufen am 27. September 2011].

Fraunhofer-Gesellschaft (2011): Hannover Messe: Riesen-Batterien für Ökostrom; Pressemitteilung vom 24. März 2011 [<http://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2011/maerz/riesen-batterien-fuer-oekostrom.html>; 27. Dezember 2011].

Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB (o. J.): Energieeffiziente Kläranlagen – Hochlastfaulung für Klärschlamm [http://www.igb.fraunhofer.de/content/dam/igb/de/documents/broschueren/Energieeffiziente_Klaeranlagen_Hochlastfaulung_fuer_Klaerschlamm.pdf; abgerufen am 4. Oktober 2011].

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE (2011): Dezentral, flexibel und smart: DEMAX Pilotprojekt für Energie- und Netzmanagement erfolgreich beendet; Presseinformation 06/11 vom 24. März 2011 [<http://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/presseinformationen/presseinformationen-2011/dezentral-flexibel-und-smart-demax-pilotprojekt-fuer-energie-und-netzmanagement-erfolgreich-beendet>; abgerufen am 24. Januar 2012].

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (Hrsg.) (2010): Ressourceneffizienz potenzieren. Broschüre zum Förderschwerpunkt „Innovative Technologien für Ressourceneffizienz – rohstoffintensive Produktionsprozesse“. Karlsruhe [http://www.r-zwei-innovation.de/_media/r2_broschuere_web.pdf; abgerufen am 8. Januar 2012].

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (2011): Projekt Intelliekon legt erste Ergebnisse zur Stromeinsparung durch Smart Metering vor: Zeitnahe Information ermöglicht 3,7 Prozent weniger Verbrauch; Pressemitteilung vom 30. Juni 2011 [<http://isi.fraunhofer.de/isi-de/service/presseinfos/2011/pri11-13.php>; abgerufen am 12. September 2011].

Freie und Hansestadt Hamburg (Hrsg.) (2008): Unternehmen für Ressourcenschutz, Sie mindern den Druck auf ihr Budget. Hamburg.

Freie und Hansestadt Hamburg (Hrsg.) (2010): Damit Kälte bleibt wo sie hingehört. Hamburg.

Fuchs, W. (2011): Wachsen ohne Wachstum. München: Hanser.

Future Communities (2011): Hammarby Sjostad, Stockholm, Sweden, 1995 to 2015. Building a ‘Green’ City Extension [<http://www.futurecommunities.net/case-studies/hammarby-sjostad-stockholm-sweden-1995-2015>; abgerufen am 16. Januar 2012].

G

Gabler Wirtschaftslexikon (2010), 17., kompl. akt. und erw. Aufl., Wiesbaden: Gabler.

Geothermie Unterhaching GmbH & Co. KG (2011): Daten & Fakten [https://www.geothermie-unterhaching.de/cms/geothermie/web.nsf/id/pa_daten_fakten.html; abgerufen am 7. Januar 2012].

German Trade & Invest (2010a): Brasilien präsentiert Investmentplan über 870 Mrd. US\$. Artikel vom 21. April 2010 [<http://www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/Trade/maerkte,did=70890.html>; abgerufen am 6. Januar 2012].

German Trade & Invest (2010b): Konjunkturprogramme weltweit – Chancen in der Krise. USA [http://www.gtai.de/GTAI/Content/DE/Trade/_SharedDocs/Pdf/Maerkte/Konjunkturprogramme/usa.pdf; abgerufen am 6. Januar 2012].

German Trade & Invest (2010c): Germany: Lead Market for Energy Storage & Fuel Cell Systems. A Profile of Selected Market and Research Opportunities. Berlin.

German Trade & Invest (2011a): Branche kompakt – Solarenergie – Indien, 2011 [<http://www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/Trade/maerkte,did=75858.html>; abgerufen am 6. Januar 2012].

German Trade & Invest (2011b): Branchenbarometer – Asien/Pazifik. Umwelttechnik [www.gtai.de/GTAI/Content/DE/Trade/_SharedDocs/Pdf/Maerkte/Branchen/asien-pazifik-umwelttechnik,property=pdf,ereich=gtai,sprache=de,rwb=true.pdf; abgerufen am 6. Januar 2012].

German Trade & Invest (2011c): Branche kompakt – Solarenergie – VR China, 2011 [<http://www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/Trade/maerkte,did=77738.html>; abgerufen am 6. Januar 2012].

Global Carbon Project (2010): Update on CO₂ emissions [http://www.globalcarbonproject.org/global/pdf/Friedlignstein_2010.Update%20of%20CO2%20emissions.Naturegeo.pdf; abgerufen am 22. August 2011].

Global Reporting Initiative (2011): Leitfaden zur Nachhaltigkeitsberichterstattung.

Greenpeace/European Photovoltaic Industry Association (2010): Solar Generation 6 Executive Summary October 2010 [<http://www.greenpeace.org/seasia/ph/Global/international/publications/climate/2010/Solar-Generation2010.pdf>; abgerufen am 7. Januar 2011].

Grömling, M./Haß, H.-J. (2009): Globale Megatrends und Perspektiven der deutschen Industrie. IW Analysen, Forschungsberichte aus dem Institut der deutschen Wirtschaft Köln Nr. 47.

GTM Research (2010): PV Technology, Production and Cost Outlook: 2010-2015. GTM Research [forms.greentechmedia.com/Extranet/95679/forms.aspx?msgid=gmfjtjhrxahcaijyzw2ib1ns; abgerufen am 7. Januar 2012]

GWA – Gesellschaft für Wertstoff- und Abfallwirtschaft Kreis Unna mbH (2011) [<http://www.gwa-online.de/v2/gwa/gwa/presse/wertstoffhofbergkamen-erhaelt-bundesweite-auszeichnung-fuerkundenservice.html?suggest=true>; abgerufen am 14. Oktober 2011].

H

haufe.de/controllerwissen (2010): Interview: Nachhaltigkeit als Treiber des langfristigen Unternehmenserfolgs vom 3. September 2010.

Heintze, A. (2011): Fair gewinnt!. In: enorm Ausgabe 3/2011, S. 86-89.

Henkel AG & Co. KGaA (2011): Coole Wäsche [<http://www.henkel.de/SID-0AC83309-2866FDA5/innovation/30652.htm>; abgerufen am 8. Januar 2012].

Henzelmann, T. (2010): Erfolg durch Green Transformation. Köln: Brunomedica.

Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung (2009): Materialeffizienz durch den Einsatz von Nanotechnologien und den Einsatz neuer Materialien [http://www.hessen-nanotech.de/mm/Materialeffizienz_durch_Nanotechnologie_und_neue_Materialien.pdf; abgerufen am 8. Januar 2012].

Hobart GmbH (2011): Umwelttechnikpreis in der Kategorie „Mess-, Steuer- und Regeltechnik“ geht an die HOBART GmbH [http://hobart.de/wDeutsch/news/news_records/510598116.php; abgerufen am 8. Januar 2012].

Hoffmann, J./Scherhorn, G./Busch, T. (Hrsg.) (2004): Darmstädter Definition nachhaltiger Geldanlagen. Wuppertal [http://www.wupperinst.org/uploads/tx_wibeitrag/ws31.pdf; abgerufen am 6. Januar 2012].

Hoffmann, V. (2008): Damals war's. Ein Rückblick auf die Entwicklung der Photovoltaik in Deutschland. In: Sonnenenergie, 11/12-2008, S. 38-39.

Holzhey, M. (2010): Schienennetz 2025/2030 – Ausbaukonzeption für einen leistungsfähigen Schienengüterverkehr (Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes) [<http://www.uba.de/uba-info-medien/4005.html>; abgerufen am 16. August 2011].

Honeder, J., et al. (2009): Herausforderung des Dieselmotors zur Erfüllung zukünftiger Abgasnormen. Tagungsband zur 12. Tagung - Der Arbeitsprozess des Verbrennungsmotors. Graz: Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik - TU Graz, 2009, S. 156-171. BMW Motoren GmbH, Entwicklung Dieselmotoren, Steyr.

Honsel, G. (2011): Das öffentliche Automobil. In: Technology Review, Ausgabe 9/2011, S. 62-66.

Hoven, B. (2011): Lautlos zum Müll. In: www.op-online.de vom 15. Februar 2011 [<http://www.op-online.de/nachrichten/offenbach/lautlos-muell-1123876.html>; abgerufen am 5. Oktober 2011].

Huber DeWaTec GmbH (2011a) [<http://www.huber-dewatec.de/index.php?id=90>; abgerufen am 15. Oktober 2011].

Huber DeWaTec GmbH (2011b) [http://www.huber-dewatec.de/fileadmin/Daten/PDF/Huber_Produktinfo_3KPLUS.pdf; abgerufen am 15. Oktober 2011].

Huber DeWaTec GmbH (2011c) [http://www.huber-dewatec.de/fileadmin/Daten/PDF/Huber_Produktinfo_Relax.pdf; abgerufen am 15. Oktober 2011].

Huber DeWaTec GmbH (2011d) [http://www.huber-dewatec.de/fileadmin/Daten/PDF/Huber_Produktinfo_Membran.pdf; abgerufen am 15. Oktober 2011].

I

IBA Hamburg GmbH (2011): Hügel der neuen Horizonte. Energieberg Georgswerder [<http://www.iba-hamburg.de/themen-projekte/energieberg-georgswerder/projekt/energieberg-georgswerder.html>; abgerufen am 9. Januar 2012].

Industrie- und Handelskammer Nürnberg für Mittelfranken (2011) [<http://www.ihk-nuernberg.de/de/Geschaefsbereiche/Innovation-Umwelt/Energie/Energietechnik-und-management/EnergieManager-IHK-.html>; abgerufen am 19. Januar 2012].

Industry Journal (2011). Metropolitan Solutions 2011 [http://www.siemens.com/industryjournal/pool/3478_IJ_HMI_201_Komplett_D.pdf]; abgerufen am 16. Januar 2012].

infas Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH/ Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (2010): Mobilität in Deutschland 2008. Kurzbericht. Struktur – Aufkommen – Emissionen – Trends. Bonn/Berlin.

Initiative „2° - Deutsche Unternehmer für Klimaschutz“ (Hrsg.) (2011): Klimaschutz liefern. Logistikprozesse klimafreundlich gestalten [http://www.iml.fraunhofer.de/content/dam/iml/de/documents/OE%20310/2Grad_Bericht_080611.pdf]; abgerufen am 17. Februar 2012]

Innovationsallianz Carbon Nanotubes (2011) [<http://inno-cnt.de/de/>]; abgerufen am 1. September 2011].

innovations-report (2011): Siemens successfully concluded R&D project on low-energy seawater desalination [http://www.innovations-report.de/html/berichte/verfahrenstechnologie/siemens_successfully_concluded_r_d_project_low_178003.html]; abgerufen am 9. Januar 2012].

Insituform Rohrsanierungstechniken GmbH (2011) [www.insituform.de]; abgerufen am 9. Januar 2012].

Institut der deutschen Wirtschaft Köln e.V. (2011): Internet-Plattform www.klimazwei.de: CO₂-Reduktion bei der Herstellung chemischer Grundstoffe [<http://www.klimazwei.de/ProjektzumKlimaschutz/Projekt%C3%BCbersicht/%20ChemischeGrundstoffe/tabid/132/language/de-DE/Default.aspx>]; abgerufen am 8. Januar 2012].

Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (2011): Das Institut [<http://www.ifeu.de/index.php?seite=dasinstitut>]; abgerufen am 16. Oktober 2011].

Institut für Umweltverfahrenstechnik der Universität Bremen (2011): Wasserwissen (www.wasser-wissen.de) [<http://www.wasser-wissen.de/abwasserlexikon/d/duschkopf.htm>]; abgerufen am 9. Januar 2012].

International Chamber of Commerce (2011): Green Economy [<http://www.iccwbo.org/policy/environment/id40754/index.html>]; abgerufen am 17. Januar 2012].

International Energy Agency (2010a): World Energy Outlook 2010. Zusammenfassung. German Translation. Paris.

International Energy Agency (2010b): CO₂ Emissions from Fuel Combustion Highlights (2010 Edition). Paris.

International Energy Agency (2011a): World Energy Outlook 2011. Zusammenfassung. German Translation. Paris.

International Energy Agency (2011b): CO₂ Emissions from Fuel Combustion Highlights (2011 Edition). Paris.

International Energy Agency (2011c): Key World Energy Statistics 2011. Paris.

International Transport Forum (2011): Transport Outlook 2011. Meeting the Needs of 9 Billion People [<http://www.internationaltransportforum.org/Pub/pdf/11Outlook.pdf>]; abgerufen am 6. Januar 2012].

IPCC (2008) (Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC – Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen): Klimaänderung 2007. Synthesebereich. Berlin.

IUTA e.V. (2011) (Institut für Energie- und Umwelttechnik) [<http://www.iuta.de/files/iuta-kurzdarstellung-2010.pdf>]; abgerufen am 16. Oktober 2011].

J

juwi Holding AG (2011): Die Erfolgsgeschichte von juwi [http://www.juwi.de/ueber_uns/daten_fakten.html]; abgerufen am 28. September 2011].

K

Kafsack, H. (2011): Industrie soll mehr Elektroschrott wiederverwerten. In: www.faz.net vom 3. Februar 2011 [<http://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/wirtschaftspolitik/altgeraete-industrie-soll-mehr-elektroschrott-wiederverwerten-1592307.html#Drucken>]; abgerufen am 9. Januar 2012].

Karlsruher Institut für Technologie (2011): Celitement® erhält Umwelttechnik-Sonderpreis; Pressemitteilung 115/2011 vom 6. Juli 2011 [http://www.kit.edu/besuchen/pi_2011_7662.php]; abgerufen am 20. September 2011].

KNX Deutschland (2011) [<http://www.knx.de/>]; abgerufen am 4. Oktober 2011].

Koll, S. (2011): Die Druckluft wird grün. Wärmerückgewinnung und das Schließen von Lecks steigern die Energieeffizienz. In: INDUSTRIE anzeiger (online) [http://www.industrieanzeiger.de/home/-/article/12503/33367914/Die-Druckluft-wird-gr%C3%BCn/art_co_INSTANCE_0000/maximized/]; abgerufen am 8. Januar 2012].

Konsens – Versicherungsmakler KG (2011)

[<http://www.konsens-web.de/index.php?id=23>;
abgerufen am 29. September 2011].

Kosch, B./Wagner, H. (2010): Alles im grünen Bereich – Mit Green IT zu Energieeffizienz und Nachhaltigkeit. In: Spath, D./Bauer, W./Rief, S. (Hrsg.) (2010): Green Office. Ökonomische und ökologische Potenziale nachhaltiger Arbeits- und Bürogestaltung. Wiesbaden. S. 205-212.

L

Landeshauptstadt Dresden, Umweltamt (2007)

[<http://www.dresden.de/de/08/03/01/ausstellung/pdf/hochwasser-09.pdf>; abgerufen am 15. Oktober 2011].

Langbein, L. (2011): Weniger Stau dank neuem Verkehrsleitsystem. In: [www.swissinfo.de](http://www.swissinfo.ch/ger/wissen_und_technik/Weniger_Stau_dank_neuem_Verkehrsleitsystem.html?cid=29252862) vom 18. Januar 2011 [http://www.swissinfo.ch/ger/wissen_und_technik/Weniger_Stau_dank_neuem_Verkehrsleitsystem.html?cid=29252862; abgerufen am 4. Oktober 2011].

LaTherm GmbH (2011) [<http://www.latherm.de/index.php?id=6>; abgerufen am 14. August 2011].

Leson, A. (2007): Neue Werkstoffe für intelligente Produkte (Fraunhofer Institut für Werkstoff- und Strahltechnik (IWS), Dresden) [http://www.demea.de/pressemitteilungen/pressemitteilungen/FHG_Leson.pdf; abgerufen am 8. Januar 2012].

LichtBlick AG (2011): Intelligente Energie von LichtBlick – behagliche Wärme für Sie, SchwarmStrom für alle [http://www.lichtblick.de/h/ZuhauseKraftwerk_285.php; abgerufen am 28. September 2011].

Lucas, R./Fekkak, M. (2011): Urban Mining – von der Vision zur praktischen Umsetzung. In: UmweltMagazin, Ausgabe 9/2011, S. 36-37.

M

Mastrandrea, M./Schneider, S. (2011): Vorbereitungen für den Klimawandel. In: Crutzen, P./Davis, M./Mastrandrea, M./Schneider, S./Sloterdijk, P.: Das Raumschiff Erde hat keinen Notausgang. Berlin: Suhrkamp. S. 11-59.

mitfahrgelegenheit.de (2012) [www.mitfahrgelegenheit.de; abgerufen am 18. Januar 2012].

Mühlstein, J. (2010): Sieg für Ästhetik und Effizienz. In: Energie & Management, Nr. 23-24/2010, S. 35-38.

Müller-Wondorf, R. (2010): Industrielle Zulieferer glänzen mit Leichtbau im Multi-Material-Design. In: VDI Nachrichten vom 16. April 2010 [<http://www.vdi-nachrichten.com/artikel/Industrielle-Zulieferer-glaenzen-mit-Leichtbau-im-Multi-Material-Design/47239/2>; 28. Dezember 2011].

myclimate (2011): myclimate Jahresbericht 2010

[[http://www.myclimate.org/de/service/news/detail/archive/2011/june/article/weiteres-erfolgreiches-jahr-fuer-myclimate.html?tx_ttnews\[day\]=21&cHash=760858be8897bd1a4f8e2e04f07e94a3](http://www.myclimate.org/de/service/news/detail/archive/2011/june/article/weiteres-erfolgreiches-jahr-fuer-myclimate.html?tx_ttnews[day]=21&cHash=760858be8897bd1a4f8e2e04f07e94a3); abgerufen am 27. September 2011].

N

Natur-Aktien-Index (2011) [http://nai-index.de/seiten/kriterien_kurz.html; abgerufen am 26. Oktober 2011].

Natur-Aktien-Index (2012a) [http://www.nai-index.de/seiten/firmen_liste.html; abgerufen am 6. Januar 2012].

Natur-Aktien-Index (2012b) [http://www.nai-index.de/seiten/kriterien_kurz.html; abgerufen am 6. Januar 2012].

Neumarkter Lammsbräu (2011): Nachhaltigkeitsbericht und 19. Öko-Controlling Bericht 2010.

Nickel, N. (2009): Aus Schlamm wird Strom. In: [www.stimme.de](http://www.stimme.de/heilbronn/nachrichten/schozach-bottwar/sonstige;art1909,1592988) vom 10. Juli 2009 [<http://www.stimme.de/heilbronn/nachrichten/schozach-bottwar/sonstige;art1909,1592988>; abgerufen am 4. Oktober 2011].

NOW GmbH (2011) (Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie): NOW Jahresbericht 2010. Berlin.

Nordex SE (2011): Projektleistungen für den optimalen Windpark [<http://www.nordex-online.com/de/produkte-service/projektleistungen.html>; abgerufen am 18. Januar 2012].

O

Oberschmidt, J. et al. (2007): Rationelle Energieverwendung. In: BWK. Das Energie-Fachmagazin 59 (2007), 4, S. 138-146 [isi.fraunhofer.de/isi-de/publ/download/isi07p31/BWK2007.pdf; 8. Januar 2012].

OECD (2011) (Organisation für Economic Co-operation and Development): Cool, clean water [http://www.oecd.org/document/27/0,3746,en_2649_201185_48518683_1_1_1_1,00.html; abgerufen am 22. August 2011].

Öko-Instituts e.V. (2011) [http://oeko.de/das_institut/dok/558druck.php; abgerufen am 16. Oktober 2011].

Oertel, D. (2008): Energiespeicher - Stand und Perspektiven. Sachstandsbericht zum Monitoring „Nachhaltige Energieversorgung“.

Osram (2011a): Effizienzrekord bei flexiblen OLED; Pressemitteilung vom 11. November 2011 [http://osram.de/osram_de/Presse/Fachpresse/Optohalbleiter_%28LED%2c_Laser%29/2011/111111_OLED_Record.html#]; abgerufen am 15. Januar 2012].

Osram (2011b): OLED: Effizienz-Rekordverdächtig; Pressemitteilung vom 15. Juni 2011 [[www.osram.de/osram_de/Presse/Fachpresse/Optohalbleiter_\(LED%2c_Laser\)/2011/110615_OLED_Effizienz-Rekordverdaechtig.html](http://www.osram.de/osram_de/Presse/Fachpresse/Optohalbleiter_(LED%2c_Laser)/2011/110615_OLED_Effizienz-Rekordverdaechtig.html)]; abgerufen am 8. Januar 2012].

Osram (2011c): Osram feiert Meilenstein in der OLED-Fertigung; Pressemitteilung vom 30. August 2011 [http://www.osram.de/osram_de/Presse/Wirtschaftspresse/2011/110830_OLED_Pilotproduktionslinie.html]; abgerufen am 8. Januar 2012].

Otterbach, B. (2011): Öko-Kunststoff im Sai. In: www.automobil-industrie.de vom 18. Oktober 2011 [<http://www.automobil-industrie.vogel.de/interieurkomfort/articles/335230/>]; abgerufen am 8. Januar 2012].

Otto Group (Hrsg.) (2011): Otto Group Trendstudie 2011. 3. Studie zum ethischen Konsum. Verbraucher-vertrauen. Auf dem Weg zu einer neuen Wertekultur. Hamburg.

o.V. (2010a): Zertifikat für grüne Lösungen. *Industry Journal*, Ausgabe 3/2010, S. 80-81.

o.V. (2010b): Weniger Kosten, weniger CO₂. In: *Lux*, Ausgabe 5/2010, S. 26f.

o.V. (2011a): Sonne aus Kunststoff. *Süddeutsche Zeitung* vom 15. Juni 2011.

o.V. (2011b): Watt für Watt. *Süddeutsche Zeitung* vom 15. Juni 2011.

o.V. (2011c): Das Stromaauto feiert 130. Geburtstag. In: *Welt online* vom 4. August 2011 [<http://www.welt.de/dieweltbewegen/elektromobilitaet/article13519866/Das-Stromaauto-feiert-130-Geburtstag.html>]; abgerufen am 8. Januar 2012].

o.V. (2011d): Recycling von Elektroschrott kann Lunge schädigen. In: *Welt online* vom 31. Mai 2011 [<http://www.welt.de/wissenschaft/umwelt/article13403485/Recycling-von-Elektroschrott-kann-Lunge-schaedigen.html>]; abgerufen am 9. Januar 2012].

o.V. (2011e): Aurubis: Goldsuche bei der Kupferherstellung. In: www.recyclingmagazin.de vom 23. August 2011 [http://www.recyclingmagazin.de/rm/news_detail.asp?ID=14948&SID=498805192168100100&NS=1]; abgerufen am 9. Januar 2011].

o.V. (2011f): Grüne Energie aus Deponiegas. In: *Recycling Technology (online)* vom 23. März 2011 [<http://www.recycling-technology.de/News-Nachrichten/Verwertung-Beseitigung-Entsorgung-Recycling-Aufbereitung/3228/Gr-ne-Energie-aus-Deponiegas>]; abgerufen am 5. Oktober 2011].

P

Pehnt, M./Lutz, C./Seefeldt, F./Schlomann, B./Wünsch, M./Lehr, U./Lambrecht, U./Fleiter, T. (2009): Kurzstudie zur Energieeffizienz, Wachstum und Beschäftigung. Analyse der Potenziale und volkswirtschaftlichen Effekte einer ambitionierten Effizienzstrategie für Deutschland. Berlin 2009.

Photovoltaiklexikon (2010) [<http://www.rechner-photovoltaik.de/photovoltaiklexikon/tandem-solarzelle>]; abgerufen am 15. September 2011].

Pinzler, P. (2010): Wachstumsskeptisch. Eine Umfrage zeigt: Die Deutschen zweifeln am Kapitalismus. In: *Die Zeit*, Nr. 34/2010 (18. August 2010).

Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung

(2011a): Pressemitteilung vom 23. Juni 2011 [<http://www.pik-potsdam.de/aktuelles/pressemitteilungen/kipp-elemente-im-klimasystem-forscher-verfeinern-ihre-einschaetzung>].

Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung

(2011b): Pressemitteilung vom 11. Dezember 2011 [<http://www.pik-potsdam.de/aktuelles/nachrichten/durban-ein-zwiespaltiges-ergebnis>]; abgerufen am 31. Dezember 2011].

PricewaterhouseCoopers (2011): PUMA mit PwC auf dem Weg zur umfassenden ökologischen Gewinn- und Verlustrechnung [<http://www.pwc.de/de/nachhaltigkeit/puma-mit-pwc-zur-oekologischen-gewinn-und-verlustrechnung.jhtml>]; abgerufen am 18. Januar 2012].

Pudenz, K. (2011): Verkehrslage in Echtzeit: Neues Informationssystem vom BMW. In: www.atonline.de vom 1. Februar 2011 [<http://www.atonline.de/Aktuell/Nachrichten/1/13211/Verkehrslage-in-Echtzeit-Neues-Informationssystem-von-BMW.html>]; abgerufen am 4. Oktober 2011].

R

Radkau, J. (2011): Die Ära der Ökologie. Eine Weltgeschichte. Bonn: Lizenzausgabe für die Bundeszentrale für politische Bildung.

Regierungsprogramm Elektromobilität (2011). Herausgegeben vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bundesministerium für Bildung und Forschung. Berlin [http://www.bundesregierung.de/Content/DE/Publikation/Bestellservice/2011-05-20-regierungsprogramm-elektromobilitaet.pdf;jsessionid=767C8202212DE71ECEF99B1F8F60DD90.s2t2?__blob=publicationFile; abgerufen am 8. Januar 2012].

Rewe Group (2011): Logistik [http://www.rewe-group.com/nachhaltigkeit/energie-klima-umwelt/energieeffizienz/logistik/; abgerufen am 22. September 2011]

Rifkin, J. (2011): Was bleibt? Was kommt?. In: think: act, Magazin von Roland Berger Strategy Consultants, Ausgabe 2/2011, S. 66.

Roland Berger Strategy Consultants (2011): Effizienzsteigerung in stromintensiven Industrien. Ausblick und Handlungsstrategien bis 2050 – Kurzfassung (Studie). München.

Rubin, J. (2010): Warum die Welt immer kleiner wird. Öl und das Ende der Globalisierung. München: Hanser.

S

Schönwitz, D. (2011): Die Öko-Musterknaben. In: Wirtschaftswoche Green Economy vom 15. August 2011, S. 38-41.

Schott AG (2011): 20-Prozent-Marke durchbrochen: SCHOTT Solar erreicht neuen Wirkungsgradrekord mit monokristalliner Siebdruck-Solarzelle; Pressemitteilung vom 24. August 2011 [http://www.schott.com/solar/german/news/press.html?NID=3382; abgerufen am 7. Januar 2011].

ShortNews (2011): Fraunhofer-Institut entwickelt Bahnschwellen aus Abfall. [www.shortnews.de/id/901770/Fraunhofer-Institut-entwickelt-Bahnschwellen-aus-Abfall; abgerufen am 11. August 2011].

Siemens AG (2010a): Virtuelles Wassernetz optimiert Versorgung; Pressemitteilung vom 27. Januar 2010.

Siemens AG (2010b): Nachhaltigkeitsbericht 2010. Chancen nutzen, Risiken minimieren, Werte leben. München [http://www.siemens.com/sustainability/pool/de/nachhaltigkeitsreporting/nachhaltigkeitsbericht_2010.pdf; abgerufen am 7. Januar 2012].

Siemens AG (2011a) [http://www.siemens.com/press/de/pressebilder/?press=de/pressebilder/innovation-news/2011/in20110606-01.htm; abgerufen am 6. Oktober 2011].

Siemens AG (2011b) [http://www.siemens.com/innovation/de/forschungsthemen/energy/update_02/kohlendi-abscheidung.htm; abgerufen am 14. September 2011].

Siemens AG (2011c): Energieeffizienz [http://www.industry.siemens.de/buildingtechnologies/de/de/energy-efficiency/Seiten/Energy-efficiency.aspx; abgerufen am 8. Januar 2012].

Siemens AG (2011d): Der ICx. Eine neue Ära im Intercity-Verkehr der Deutschen Bahn [http://www.siemens.com/press/pool/de/events/2011/industry/mobility/2011-05-icx/siemens-icx-broschuere-d.pdf; abgerufen am 20. Januar 2012].

Siemens AG (2011e): Weniger Staus, weniger CO₂ – Sonderfahrspur Richtung Tel Aviv eröffnet: Siemens liefert innovatives Verkehrssteuerungssystem; Pressemitteilung vom 1. Februar 2011 [http://www.siemens.com/press/de/pressemitteilungen/?press=de/pressemitteilungen/2011/mobility/imo201101014.htm; abgerufen am 16. Januar 2012].

SMART 2020 Addendum Deutschland. Die IKT-Industrie als treibende Kraft auf dem Weg zu nachhaltigem Klimaschutz.

smartmeter (2011): Weitere SG Ready Anwendungen von Miele auf der IFA präsentiert [http://smartmeter.de/news/einzelanzeige/article/weitere-sg-ready-anwendungen-von-miele-auf-der-ifa-praesentiert/; abgerufen am 10. September 2011].

Solartechnikberater (2011): Glossar [http://www.solartechnikberater.de/glossar/duennschichtzelle/; abgerufen am 15. September 2011]

Sonepar Deutschland GmbH (2011): report (Kundenmagazin Ausgabe 119, Februar 2011) [http://www.sonepar.de/imperia/md/content/sonepar_de/eh/report/2011/nr119-januar2011/119_feb2011.pdf; abgerufen am 8. Januar 2012].

SSPKommunikation (2011a): www.natuerliche-verpackungen.de. Anwendungsgebiete [http://www.natuerliche-verpackungen.de/was-sind-bioverpackungen/anwendungsgebiete/; abgerufen am 8. Januar 2012].

SSPKommunikation (2011b): www.natuerliche-verpackungen.de. News [http://www.natuerliche-verpackungen.de/news/; abgerufen am 8. Januar 2012].

Stadler Anlagenbau GmbH (2011): Ballistik Separatoren [http://www.w-stadler.de/komponenten/ballistik_sep.html; abgerufen am 14. Oktober 2011].

Standard Chartered (2010): The Super-Cycle Report [http://www.standardchartered.com/id/_documents/press-releases/en/The%20Super-cycle%20Report-12112010-final.pdf; abgerufen am 6. Januar 2012].

Stadtwerke München (2011): Trinkwasser-Schutz [<http://www.swm.de/privatkunden/m-wasser/gewinnung/wasserschutz.html>; abgerufen am 9. Januar 2011].

Statistisches Bundesamt (2010): Energieverbrauch der privaten Haushalte für Wohnen rückläufig; Pressemitteilung Nr. 372 vom 18. Oktober 2010 [www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Presse/pm/2010/10/PD10__372__85,templateId=renderPrint.phtml; abgerufen am 8. Januar 2012].

Statistisches Bundesamt (2011a): Umweltökonomische Gesamtrechnungen. Nachhaltige Entwicklung in Deutschland. Indikatoren zu Umwelt und Ökonomie. Wiesbaden [http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Publikationen/Fachveroeffentlichungen/UmweltoekonomischeGesamtrechnungen/Umweltindikatoren/Indikatoren__5850012119004,property=file.pdf; abgerufen am 7. Januar 2012].

Statistisches Bundesamt (2011b): Abfallbilanz 2009. Wiesbaden [<http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Statistiken/Umwelt/UmweltstatistischeErhebungen/Abfallwirtschaft/Tabellen/Content75/Abfallbilanz2009,property=file.pdf>; abgerufen am 9. Januar 2012].

Sustainable Business Institute (2011) [<http://www.nachhaltiges-investment.org/News/Marktberichte.aspx>; abgerufen am 16. Oktober 2011].

Sustainable Business Institute/Deutsches Aktieninstitut (2011): Nachhaltigkeit gewinnt für Emittenten weiter an Bedeutung; Pressemitteilung vom 20. September 2011 [<http://www.nachhaltiges-investment.org/getattachment/News/Sonstige-News/Nachhaltigkeit-und-Shareholder-Value-aus-Sichtbor/2011-09-20-Pressemitteilung-DAI-SBI-Studie.pdf.aspx>; abgerufen am 16. Oktober 2011].

T

Talanx Deutschland AG (2011): Sicherheit für jede Wetterlage: KLIMArisk – Die Wetterrisikoversicherung [<http://www.hdi-gerling.de/de/industrie/loesungen/klimarisk/index.jsp>; abgerufen am 29. September 2011].

Titz, S. (2011): Hightech-Metalle aus dem Müll, Potsdamer Neueste Nachrichten vom 23. September 2011 [<http://www.pnn.de/wissen/579782/>; abgerufen am 10. Oktober 2011].

ThyssenKrupp Tailored Blanks GmbH (2011) [<http://www.tailored-blanks.com/produkte/tailored-products/thyssenkrupp-tailored-blanks.html>; abgerufen am 8. Januar 2012].

Trumpf GmbH + Co. KG (2011): Umweltpreis für restgitterfreie Materialeffizienz; Pressemitteilung vom 11. Juli 2011 [<http://www.de.trumpf.com/de/presse/pressemitteilungen/pressemitteilung/rec-uid/63759.html>; abgerufen am 8. Januar 2012].

U

Uken, M. (2010): Die Stadt als Rohstoffquelle. In: Die Zeit vom 11. März 2010.

Umwelt spezial (2011): Sonderausgabe der Zeitschrift Umwelt des Bundesumweltministeriums Juni 2011. Berlin.

UmweltBank AG (2011): UmweltBank wächst seit 15 Jahren in Folge; Pressemitteilung vom 9. August 2011 [https://www.umweltbank.de/presse/presse_2011.html#090811; abgerufen am 30. September 2011].

Umweltbundesamt (2008): Ökodesign-Richtlinie und EBP-G [http://www.umweltbundesamt.de/produkte/oekodesign/EbP-Richtlinie.htm; abgerufen am 6. September 2011].

Umweltbundesamt (2010a): Rohstoffeffizienz – Umwelt entlasten, Wirtschaft schonen. Dessau-Roßlau.

Umweltbundesamt (2010b): Daten zur Umwelt. Emissionen des Verkehrs [http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeIdent=3577; abgerufen am 8. Januar 2012].

Umweltbundesamt (2010c): Verkehr. Biokraftstoff, Wasserstoff und Elektrizität [http://www.umweltbundesamt.de/verkehr/alternative-kraftstoffe/bio_wasser_elektro.htm; abgerufen am 28. Dezember 2011].

Umweltbundesamt (Hrsg.) (2010d): Export von Elektroaltgeräten. Fakten und Maßnahmen. Dessau-Roßlau.

Umweltbundesamt (2010e): Wasserwirtschaft in Deutschland. Teil 1 Grundlagen. Dessau-Roßlau.

Umweltbundesamt (2010f): Wasserwirtschaft in Deutschland. Teil 2 Gewässergüte. Dessau-Roßlau.

Umweltbundesamt (2011a): Daten zur Umwelt [<http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeId=2323>; abgerufen am 27. Dezember 2011].

Umweltbundesamt (2011b): Ökodesign [<http://www.umweltbundesamt.de/produkte/oekodesign/index.htm>; abgerufen am 6. September 2011].

Umweltbundesamt (2011c): Treibhausgasemissionen in Deutschland [<http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeId=3152>; abgerufen am 18. Januar 2012].

Umweltbundesamt (2011d): Nanotechnik für Mensch und Umwelt – Chancen fördern und Risiken mindern [<http://www.umweltbundesamt.de/chemikalien/nanotechnik/index.htm>; abgerufen am 20. September 2011].

Umweltbundesamt (2011e): Daten zur Umwelt. Emissionsmindernde Anforderungen im Verkehr [<http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeId=2363>; abgerufen am 4. Oktober 2011].

Umweltbundesamt (2011f): Anteile der Endenergieformen Strom, Wärme, Kraftstoffe am Endenergieverbrauch [<http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeId=5979>; abgerufen am 9. Januar 2012].

Umweltbundesamt (2011g): Anteile der Quellkategorien an den Treibhausgasemissionen (berechnet in CO₂-Äquivalenten) 2009 [<http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/document/downloadImage.do?ident=21087>; abgerufen am 9. Januar 2012].

Umweltbundesamt (2012): Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland nach Sektoren [http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/2012/pdf/pd12-002_treibhausgasemissionen_grafiken.pdf; abgerufen am 7. März 2012].

Umweltgutachterausschuss, Geschäftsstelle (2009): 7 gute Gründe für ein Umweltmanagementsystem nach EMAS.

UN (2011): Twentieth-Century Model ‚A Global Suicide Pact‘, Secretary-General Tells World Economic Forum Session on Redefining Sustainable Development; Pressemitteilung vom 28. Januar 2011 [<http://www.un.org/News/Press/docs/2011/sgsm13372.doc.htm>; abgerufen am 7. November 2011].

UN Desa (Department of Economic and Social Affairs) (2011a) [<http://esa.un.org/unpd/wpp/unpp/p2k0data.asp>; abgerufen am 21. August 2011].

UN Desa (Department of Economic and Social Affairs) (2011b) [<http://esa.un.org/unpd/wpp/Excel-Data/population.htm>; abgerufen am 6. Januar 2012].

UN Desa (Department of Economic and Social Affairs) (2011c): 30 largest cities [<http://esa.un.org/unpd/wup/index.htm>; abgerufen am 6. Januar 2012].

UNEP (2011): Green Economy Initiative [<http://www.unep.org/greeneconomy/AboutGEI/FrequentlyAskedQuestions/tabid/29786/Default.aspx>; abgerufen am 17. Januar 2012].

UNESCO (2009): The United Nations World Water Development Report 3 – Facts and Figures.

UN-Habitat (2006): [http://www.unhabitat.org/downloads/docs/5160_22240_PressClimateBriefing-Nov06DED.pdf; abgerufen am 10. Oktober 2011].

UN-Habitat (2011a): Water for sustainable human settlements [http://www.unwater.org/downloads/WWAP_Urban_Settlements_Web_version.pdf; abgerufen am 6. Januar 2012].

UN-Habitat (2011b): Global Report on Human Settlements 2011. Cities and Climate Change [<http://www.unhabitat.org/pmss/listItemDetails.aspx?publicationID=3086>; abgerufen am 10. Januar 2012].

Union Investment (2011): Institutionelle Anleger befürworten nachhaltige Investments; Pressemitteilung der Union Investment vom 3. August 2011 [http://unternehmen.union-investment.de/-snm-0184282173-1318748843-05e2600000-0000000000-1318748998-enm-Newsletter/Pressemitteilungen/9da644ee77900c22cf8def5f05c36e26.0.0/PM_20110801_Nachhaltigkeitsstudie_2011.pdf; abgerufen am 16. Oktober 2011].

Universität Kassel (2011): Umfassende Bodensanierung auf Campus Nord [<http://www.uni-kassel.de/uni/universitaet/uni-nachrichtenportal/nachrichten/article/umfassende-bodensanierung-auf-campus-nord.html>; abgerufen am 6. Oktober 2011].

Utopia (2011a) [<http://www.utopia.de/utopia>; abgerufen am 11. Oktober 2011].

Utopia (2011b) [<http://www.utopia.de/changemaker>; abgerufen am 11. Oktober 2011].

V

Vattenfall Europe AG (2011a): Goldisthal – das größte Pumpspeicherkraftwerk Deutschlands [<http://kraftwerke.vattenfall.de/powerplant/goldisthal>; abgerufen am 7. Januar 2012].

Vattenfall Europe AG (2011b): Die Pilotanlage in Schwarze Pumpe [<http://www.vattenfall.de/de/pilot-anlage.htm>; abgerufen am 14. August 2011].

Vattenfall Europe AG (2011c): Virtuelles Kraftwerk [<http://www.vattenfall.de/de/virtuelles-kraftwerk.htm>; abgerufen am 8. September 2011].

VDV-Kernapplikations GmbH & Co. KG (2011) [<http://www.eticket-deutschland.de/default.aspx>; abgerufen am 8. Oktober 2011].

Velobiz (2010) : Marktbetrachtung Elektrofahrräder – Teil I
Elektrofahrräder verändern das Gesicht der gesamten Branche [http://www.adfc.de/misc/filePush.php?mimeType=application/pdf&fullPath=http://www.adfc.de/files/2/135/100818_velobiz_Marktbetrachtung-Elektrofahrraeder_Teil_1.pdf].

Verband der Automobilindustrie (2011): Jahresbericht 2011. Berlin [<http://www.vda.de/de/publikationen/jahresberichte/index.html>; abgerufen am 8. Januar 2012].

Viessmann Werke GmbH & Co. KG (2011): Neuaufbau der Produktion – Effizienz auf der Verbraucherseite [http://www.effizienz-plus.de/de/Projekt_Effizienz_Plus_-_auf_dem_Weg_zur_Nachhaltigkeit/Neuaufbau_der_Produktion___Effizienz_auf_der_Verbraucherseite.html; abgerufen am 18. September 2011].

W

Wasserwirtschaftsamt Ingolstadt (2011): Grundsätze der Wasserverteilung [http://www.wwa-in.bayern.de/trinkwasser/versorgungstechnik_und_organisation/verteilung/index.htm; abgerufen am 15. Oktober 2011].

Welle, F. (2010): Recycling von Kunststoffverpackungen – PET Getränkeflaschen und andere Anwendungen (Fraunhofer Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung; Präsentation auf dem 9. BfR Forum Verbraucherschutz, 28. Oktober 2010 in Berlin [http://www.bfr.bund.de/cm/343/recycling_von_kunststoffverpackungen.pdf; abgerufen am 7. Oktober 2011].

Werner & Mertz GmbH (2011) [http://www.werner-mertz.de/fileadmin/pdf/Fact_Sheet_neue_Hauptverwaltung_081110.pdf; abgerufen am 24. August 2011].

WIND-projekt (2011) (WIND-projekt Ingenieur- und Projektentwicklungsgesellschaft mbH): Das Innovationsprojekt RH2-Werder/Kessin/Altentreptow (RH2-WKA) [<http://www.wind-projekt.de/deu/hydrogen/index>; abgerufen am 7. Januar 2012].

Wissens- und Informationsnetzwerk Polymertechnik (2011): Fujitsu führt Bio-Tastatur ein [<http://wip-kunststoffe.de/wip/nachrichten/fujitsu-fuehrt-bio-tastatur-ein/>; abgerufen am 8. Januar 2012].

Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltfragen, Klimawandel (2009): Warum 2°C?. In: Factsheet (2009) Nr. 2 [http://www.wbgu.de/fileadmin/templates/dateien/veroeffentlichungen/factsheets/fs2009-fs2/wbgu_factsheet_2.pdf; abgerufen am 22. August 2011].

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH (2012): Das Wuppertal Institut [http://www.wupperinst.org/das_wuppertal_institut/index.html; abgerufen am 19. Januar 2012].

Z

Zentrum für Sonnenenergie und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZWS) (2010): Ökostrom als Erdgas speichern; Presseinformation 06/2010 vom 26. April 2010 [http://www.zsw-bw.de/fileadmin/ZSW_files/Infoportal/Presseinformationen/docs/pi06-2010-ZSW-StromzuErdgas.pdf; abgerufen am 14. August 2011].

Zweirad-Industrie-Verband e.V. (2011): Elektromobilität - E-Bike-Markt wächst weiter; Pressemitteilung vom 25. März 2012 [http://www.ziv-zweirad.de/public/pm-25.03.2011_elektromobilitaet.pdf; abgerufen am 16. Januar 2012].

„Der Staat schützt auch in Verantwortung für die künftigen Generationen die natürlichen Lebensgrundlagen ...“

Grundgesetz, Artikel 20 a

BESTELLUNG VON PUBLIKATIONEN:

Publikationsversand der Bundesregierung

Postfach 48 10 09

18132 Rostock

Tel.: 01805 / 77 80 90*

Fax: 01805 / 77 80 94*

E-Mail: publikationen@bundesregierung.de

Internet: www.bmu.de/bestellformular

(*0,14 Euro/Minute aus dem deutschen Festnetz; abweichende Preise aus den Mobilfunknetzen möglich)

Diese Publikation ist Teil der Öffentlichkeitsarbeit des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Sie wird kostenlos abgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt. Gedruckt auf Recyclingpapier.