



Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung
Institute for Futures Studies and Technology Assessment

Querschnittstechnologien Innovationssprünge für Ressourceneffizienz

Eine Explorationsstudie

Siegfried Behrendt

Lorenz Erdmann

im Auftrag

ZRE VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH

25. August 2010

Ansprechpartner

Dr. Siegfried Behrendt

Lorenz Erdmann

Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT) gGmbH

Schopenhauerstr. 26, 14129 Berlin

Tel. 030 / 803088-10

E-Mail: s.behrendt@izt.de

.

1. EINLEITUNG.....	5
1.1 Ziele der Studie	5
1.2 Definitionen.....	6
1.3 Aufbau der Studie	7
2. TRENDS UND HERAUSFORDERUNGEN	8
3. QUERSCHNITTSTECHNOLOGIEN: IHRE BEDEUTUNG FÜR DIE RESSOURCENEFFIZIENZ.....	20
4. POTENZIALANALYSE: INFORMATIONS-, KOMMUNIKATIONS- UND AUTOMATIONSTECHNIK.....	24
4.1 Industrielle Automatisierung	25
4.2 E-Logistik und Management der Wertschöpfungsnetze	41
4.3 Intelligente Produktnutzungssysteme	47
4.4 Ressourcenkreisläufe und Bestandsbewirtschaftung nicht erneuerbarer Ressourcen.....	57
4.5 Fazit	63
5. ERSCHLIEßUNG VON RESSOURCENEFFIZIENZPOTENZIALEN	66
5.1 „Inkrementalismus“.....	66
5.2 „Beschleunigung“	67
5.3 „Neue Paradigmen“.....	67
5.4 Informations-, Kommunikations- und Automationstechnik als Enabler	72
6. AKZENTE FÜR EINE RESSOURCENEFFIZIENZPROGRAMMATIK.....	74
6.1 Anspruchsvolle Ausgestaltung des politisch-rechtlichen Ordnungsrahmens: Dynamisierung und Internationalisierung	76
6.2 Beschleunigung der Marktdiffusion ressourceneffizienter Lösungen mit hohem Reduktionspotenzial.....	81
6.3 Sustainable-Value-Ansatz: Bewertung von Ressourceneffizienzmaßnahmen in der Logik des Finanzmanagements	81
6.4 Kooperatives Roadmapping: Instrument innovationsorientierter Wirtschaftspolitik zur Schaffung und Unterstützung von Leitmärkten für Material-, Produkt- und Systeminnovationen	83
6.5 Aufgaben der Unternehmens- und Wirtschaftsverbände: Neue Intermediäre und Promotoren	86
7. QUELLEN.....	88
8. GLOSSAR.....	93

1. Einleitung

1.1 Ziele der Studie

Die Frage, wie die Ressourceneffizienz gesteigert werden kann, beschäftigt zunehmend Forschung und Politik. Bisherige Studien zeigen erhebliche Ressourceneffizienzpotenziale, die zu Kosteneinsparungen führen und daher wirtschaftlich vorteilhaft sind. Sie machen aber auch deutlich, dass deren Erschließung erhebliche und gezielt Anstrengungen sowohl auf Seiten der Politik, auf Seiten der Wirtschaft als auch bei den Konsumenten erfordert.

Querschnittstechnologien kommt dabei sowohl unter wirtschaftlichen als auch unter Innovations- und Ressourceneffizienzgesichtspunkten eine bedeutende Rolle zu. Mit Blick darauf verfolgt die Studie zwei Ziele:

- Erstens geht es darum, die Möglichkeiten von Querschnittstechnologien zur Steigerung der Ressourceneffizienz in wichtigen Anwendungsfeldern auszuloten und abzuschätzen.
- Zweitens sollen Instrumente und Maßnahmen der Politik und der Wirtschaft identifiziert werden, mit denen das Ressourceneffizienzpotenzial beschleunigt erschlossen werden kann.

Hintergrund ist die Entwicklung des Ressourcenverbrauchs, der in Deutschland zwar teilweise schon vom Wirtschaftswachstum entkoppelt werden konnte, insgesamt allerdings nur in geringem Umfang. Eine drastische Ressourcenreduktion ist zukünftig nur dann möglich, wenn die Ressourceneffizienz gesamtwirtschaftlich wesentlich höher ausfällt als das Wirtschaftswachstum. Trotz Effizienzsteigerungen in den vergangenen Jahren bestehen weiterhin erhebliche nicht erschlossene Potenziale. Bisher wenig beachtete Hebel zur Steigerung der Ressourceneffizienz liegen in Bereichen neuer Querschnittstechnologien, insbesondere der Informations-, Kommunikations- und Automationstechnik. Ihr Einsatz verringert heute schon den Rohstoff- und Energieverbrauch vieler Produkte während ihrer Herstellung, ihrer Distribution, ihres Gebrauchs und ihrer Entsorgung. Die konsequente Nutzung ihrer innewohnenden Potenziale könnte nicht nur inkrementell die Ressourcenproduktivität bei bestehenden Produkten weiter erhöhen, sondern auch neue Systemlösungen unterstützen und damit „Quantensprünge“ für einen schonenderen Umgang mit Ressourcen ermöglichen („Enabler für Ressourceneffizienz“). Dies gilt insbesondere dort, wo sich neue Paradigmen im Umgang mit Ressourcen abzeichnen. Von ihnen kann eine starke gestalterische Kraft ausgehen, die über verschiedene Anwendungsfelder hinweg wirkt und Selbstorganisationsprozesse auslöst. Dadurch eröffnen sich neue Gestaltungsmöglichkeiten („windows of opportunity“) für eine effizientere Ressourcennutzung. Zu fragen ist, wie weitergehende Material-, Produkt- und Systeminnovationen gefördert werden können, die die Potenziale der Ressourceneffizienz und der absoluten Reduzierung der globalen Umweltbelastungen erschließen.

1.2 Definitionen

Der unterschiedliche Gebrauch des Begriffs Ressourceneffizienz macht Definitionen und Abgrenzungen notwendig.

Ressourceneffizienz wird im weiten Sinne als der schonende Umgang mit natürlichen Ressourcen angesehen, darunter fallen (nach Definition der EU-Kommission)¹ Rohstoffe wie Mineralien (einschließlich fossiler Energieträger und Metallerze) und Biomasse, außerdem Umweltmedien wie Luft, Wasser und Boden. Diese Ressourcen dienen zur Erhaltung der Lebensgrundlagen und der Tragfähigkeit der Ökosysteme. Auch der Raum zählt als natürliche Ressource. Beispiele sind Landnutzung für Siedlungen, Infrastruktur, Industrie, Mineralgewinnung, Land- und Forstwirtschaft.

Einen alle Aspekte umfassenden Indikator für die Abbildung der Ressourceneffizienz gibt es bis dato nicht, daher sind Einzelindikatoren heranzuziehen. Diese können sich auf Rohstoffe, Energie, Fläche, Wasser, Luftemissionen (z.B. CO₂) und Abfall beziehen. Bezugspunkt ist die preisbereinigte Wertschöpfung, ausgedrückt entweder als Produktivitätsleistung oder Nutzungsintensität.

Rohstoffproduktivität ist die Bildung des Quotienten aus Wertschöpfung (BIP) und seinem Rohstoffverbrauch (BIP/Rohstoffmasse). Energieproduktivität wird ausgedrückt als Einheit BIP im Verhältnis zum Primärenergieverbrauch oder zum Endenergieverbrauch. Die Effizienz ist umso höher je niedriger der Ressourceneinsatz ist.

Die Umkehrung dieser Quotienten wird ebenfalls verwendet und beschreibt die Ressourcenintensität als Verhältnis von genutzter Umweltressource zur erwirtschafteten Leistung einer Wirtschaft. Dabei ist eine sinkende Ressourcenintensität gleichbedeutend mit einer zunehmenden Ressourceneffizienz oder anders ausgedrückt, je sparsamer eine natürliche Ressource in Relation zur ökonomischen Wertschöpfung verwendet wird, desto weniger wird die Umwelt belastet.

Bei der Betrachtung der jeweiligen Ressourceneffizienzindikatoren werden die im Inland eingesetzten Ressourcen berücksichtigt. Das bedeutet, dass unberücksichtigt bleibt, wie importierte Ressourcen gewonnen oder geerntet werden (am Anfang der Wertschöpfungskette) oder wie sie die Medien Luft, Wasser und Boden beeinflussen (bis zum Ende der Wertschöpfungskette). Die dabei anfallenden Umweltbelastungen werden damit den jeweiligen Herstellungsländern zugerechnet und nicht den Nutzern der importierten Produkte. Daher wurden der Globale Materialaufwand (TMR, Total Material Requirement) und der Globale Materialverbrauch (TMC, Total material Consumption) als Indikatoren entworfen, die die indirekten, vorgelagerten Materialflüsse von Produktion und Konsum messen. TMR zeigt den Primärmaterialaufwand der Produktion einer Wirtschaft an, während TMC die Aufwendungen für den Inlandsverbrauch schätzt.

Neben den verschiedenen Indikatoren zur Ressourceneffizienz wird der Begriff Materialeffizienz verwendet. Er kann als indirektes Maß für mehr Ressourceneffizienz gelten. Unter Materialeffizienz

¹ Mitteilung der Kommission vom 1. Oktober 2003 - Entwicklung einer thematischen Strategie für die nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen KOM/2003/0572

ist das Verhältnis der Materialmenge in den erzeugten Produkten zu der für ihre Herstellung eingesetzten Materialmenge zu verstehen.

1.3 Aufbau der Studie

Vor diesem Hintergrund zielt die Studie darauf ab, wichtige, bis dato in der Debatte wenig beachtete Aspekte der Querschnittstechnologien näher zu beleuchten und mit der Frage neuer Paradigmen zu verknüpfen sowie dabei zukünftige Chancen, Herausforderungen und Handlungsbedarfe herauszuarbeiten.

Nach dem die Bedeutung von Querschnittstechnologien für die Ressourceneffizienz generell dargestellt wird, untersucht die Studie Ressourceneffizienzpotenziale:

Potenzialanalyse

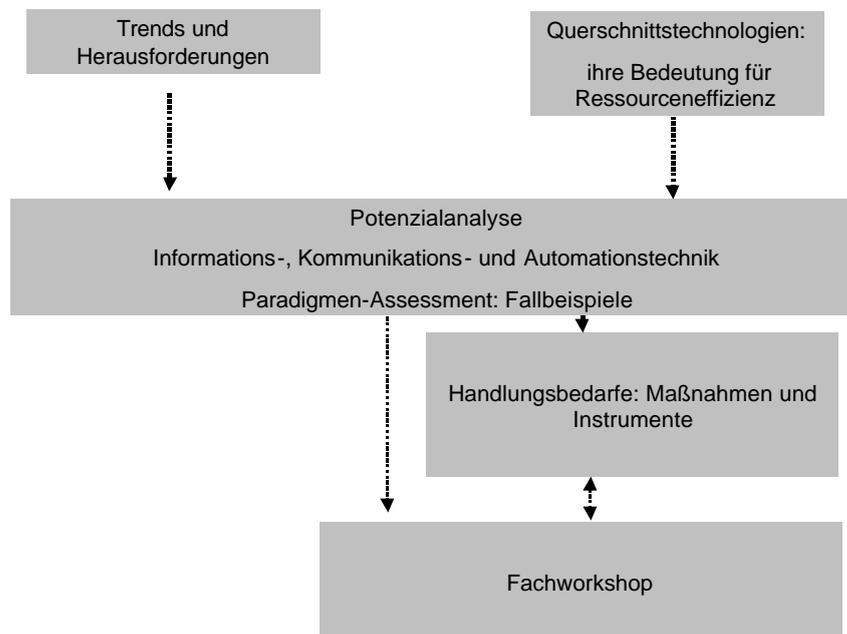
Die Potenzialanalyse konzentriert sich auf Informations-, Kommunikations- und Automationstechniken. Ihr Einsatz bestimmt heute schon in hohem Maße die Entwicklung von Wirtschaft und Unternehmen. Sie stellen Schlüsseltechnologien dar, die nicht nur über ein weiterhin hohes ökonomisches Potenzial verfügen, sondern auch im Hinblick auf eine ressourceneffiziente Wirtschaftsweise von größter Bedeutung sind. Bisherige Untersuchungen konzentrieren sich auf Energie- und Klimaschutzfragen, die Potenziale zur Steigerung der Rohstoff- und Materialeffizienz fanden bisher kaum Aufmerksamkeit, entsprechend unzureichend ist die Datenlage. Bei der Abschätzung der Ressourceneffizienzpotenziale wird der lückenhaften Datenlage dadurch begegnet, dass die Fragestellung aus zwei grundlegend verschiedenen Blickwinkeln betrachtet wird, die als „bottom up“ und „top down“ bezeichnet werden können. Bottom up verfolgt die Analyse von Einzelmaßnahmen. Vorteil ist die Genauigkeit und das damit einhergehende Verständnis der Einsparpotenziale. Man kann aber nicht alle Einzelmaßnahmen systematisch erfassen, sondern muss sich auf besonders relevante konzentrieren. Ergebnis ist eine Bestandsaufnahme („Landkarte“) möglicher Beiträge der Informations-, Kommunikations- und Automationstechniken zur Ressourceneffizienz. Top town werden aggregierte Daten aus der amtlichen Statistik und Sekundäranalysen für die Abschätzung der Ressourcenpotenziale verwendet, was die Analyse von Einzelmaßnahmen ergänzt und hoch aggregierte Abschätzungen möglicher Ressourceneffizienzpotenziale durch den Einsatz von Informations-, Kommunikations- und Automationstechniken erlaubt.

Jenseits vom zielgerichteten Erschließen von einzelnen Potenzialen für Ressourceneffizienz gehen von neuen Paradigmen („Wirtschaften in neuen Perspektiven“) möglicherweise breitere Impulse aus. Die Veränderung dominanter Logiken eröffnet neue Gelegenheiten (windows of opportunity), die zu ressourceneffizienten Systemlösungen und neuen Märkten führen, die in den bisherigen Denkräumen nicht oder nur schwer möglich waren. Mittels eines Assessments werden zukünftige Möglichkeiten ausgelotet. Beispiele werden in Fallanalysen tiefer dargestellt.

Maßnahmen und Instrumente

Derzeit wirkt sich die Debatte über den Klimaschutz und steigende Ressourcenpreise stimulierend auf die Nachfrage nach Ressourceneffizienzlösungen aus. Allerdings reicht das nicht aus, um die Einsparpotenziale zu erschließen und wirft deshalb die Frage auf, wie starke Markthebel entwickelt werden können, die die Erschließung von Effizienzpotenzialen unterstützen und beschleunigen. Neue Akzente für eine Ressourceneffizienzprogrammatik werden auf einem Fachworkshop (u.a. mit Vertretern der politischen Parteien, ZVEI, VDMA, BITKOM, Unternehmen der AT und IKT) mit Blick auf Handlungsbedarfe und die Erschließung möglicher Ressourceneffizienzpotenziale diskutiert.

Abbildung 1-1: Aufbau der Studie



Da ein Großteil der Ressourceneffizienzpotenziale von Querschnittstechnologien und ihren Anwendungen noch nicht untersucht wurden, hat diese Analyse explorativen Charakter. Sie dient der Abschätzung möglicher Veränderungspotenziale und zielt dabei auf die Erschließung von Chancen zur Steigerung der Ressourceneffizienz durch Informations-, Kommunikations- und Automationstechniken.

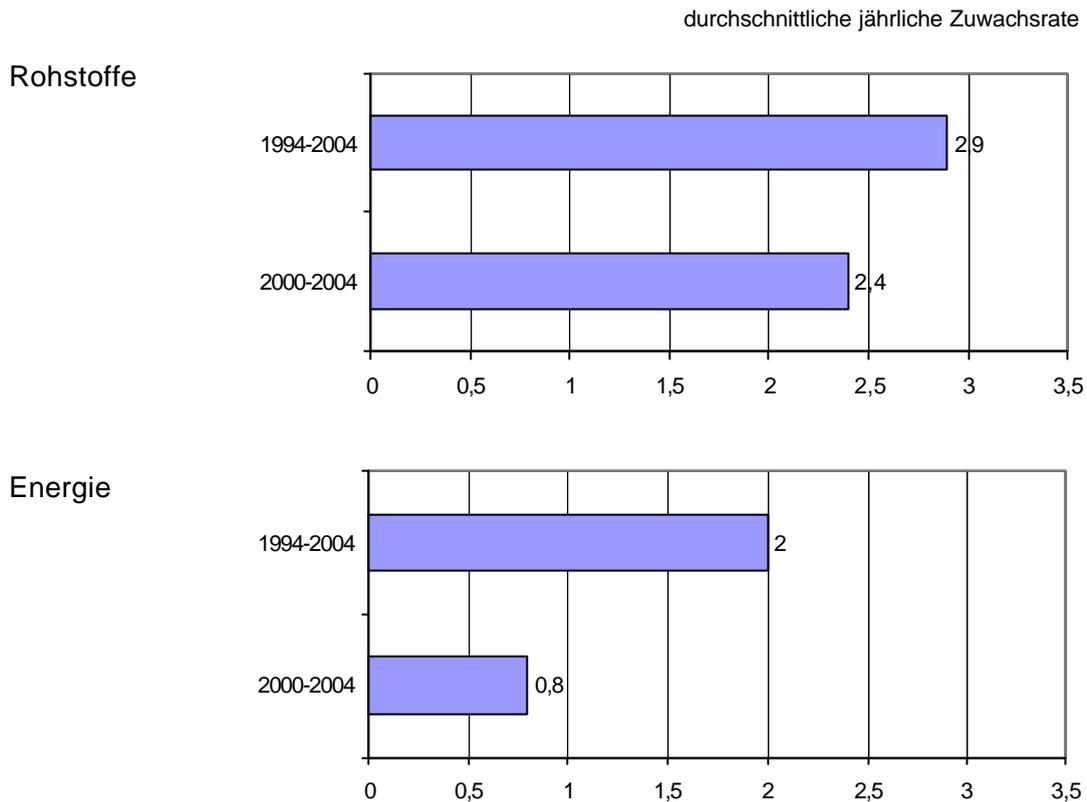
2. Trends und Herausforderungen

Die Auswertung aktueller Forschungsprojekte, Initiativen und Erfahrungsberichte verschiedener Förderinitiativen und Beratungseinrichtungen macht mit Blick auf die Erschließung von Ressourceneffizienzpotenzialen mehrere Trends und Herausforderungen deutlich:

Ressourceneffizienz der Unternehmen steigt; die Dynamik hat sich abgeschwächt.

Die Rohstoffproduktivität² erhöhte sich zwischen 1994 und 2007 um 36,1%. Bei rückläufigem Materialeinsatz (-10,1%) stieg das Bruttoinlandsprodukt um 22,3%. Ähnlich, aber abgeschwächt, steigt die Energieproduktivität seit Jahren kontinuierlich an. Damit entwickeln sich beide Indikatoren positiv.

Abbildung 2-1: Rohstoff- und Energieproduktivität in Deutschland



Quelle: UBA 2008, eigene Darstellung

Eine genauere Betrachtung zeigt, dass sich der Anstieg der Produktivität seit 2002 verlangsamt hat. Außerdem ist festzustellen, dass die Entwicklung der Rohstoffproduktivität zwischen 1994 und 2007 vor allem auf einen Strukturwandel hin zu weniger rohstoff- und energieintensiven Branchen zurückzuführen ist. So sind die weniger materialintensiven Branchen (insbesondere Dienstleistungsbereiche) stark gewachsen, während Branchen mit hohem Materialverbrauch wie zum Beispiel das Baugewerbe oder andere Bereiche des Produzierenden Gewerbes geschrumpft sind. Vernachlässigt man die Einflüsse dieser Branchen erhält man ein weiter differenziertes Bild. So beträgt der preisbereinigte Produktivitätsanstieg im Verarbeitenden Gewerbe zwischen 1995 und 2006

² Definiert als Bruttowertschöpfung in EUR pro eingesetzte Menge an abiotischem Primärmaterial in Tonnen.

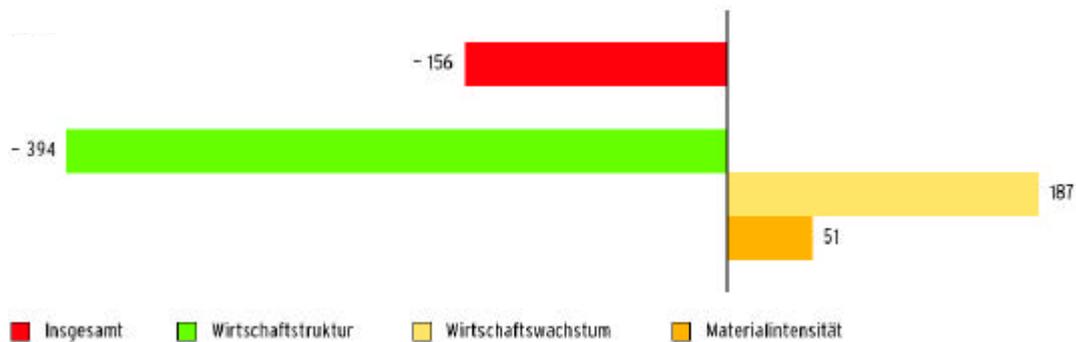
nur noch 4,2%, was bedeutet, dass „die um Sondereinflüsse und Preiseffekte bereinigte Materialproduktivität im Verarbeitenden Gewerbe seit 1995 kaum gestiegen ist“ (kfw 2009).

Bestätigt werden diese Ergebnisse auch durch eine Dekompensationsanalyse struktur-, intensitäts- und wachstumsbedingter Einflüsse auf Material- und Energieverbrauch (UBA 2007). Ihr zufolge wirkte sich vor allem die Veränderung der Wirtschaftsstruktur stark verbrauchsmindernd auf Material und Energie aus. Bei Energie hat die Zunahme der Energieproduktivität in einzelnen Produktionsbereichen ebenfalls einen verbrauchsdämpfenden Effekt, wozu vor allem Verbesserungen bei Kraftwerken und die Erschließung von Energieeinsparpotenzialen beigetragen haben. Interessanterweise gibt es diesen Einfluss auf den Materialverbrauch nicht. Im Gegenteil: Die auf einzelne Branchen bezogene Erhöhung der Rohstoffproduktivität hatte einen verbrauchsteigernden Effekt. Die gesamtwirtschaftliche Rohstoffproduktivität „ist also ausschließlich auf einen Strukturwandel hin zu weniger materialintensiven Branchen zurückzuführen“ (UBA 2007)

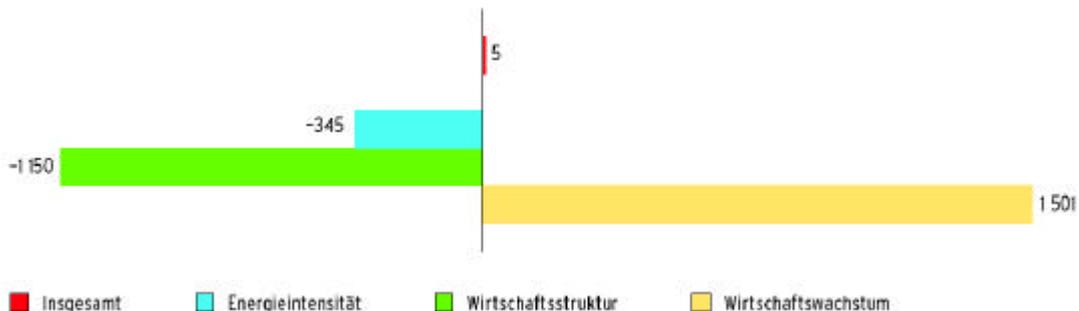
Abbildung 2-2: Struktur-, intensitäts- und wachstumsbedingte Einflüsse auf Material- und Energieverbrauch

Veränderung 1995-2004 nach Einflussfaktoren; Ergebnisse einer Dekompensationsanalyse

Materialverbrauch der Produktionsbereiche in Mio. t



Energieverbrauch der Produktionsbereiche in PJ



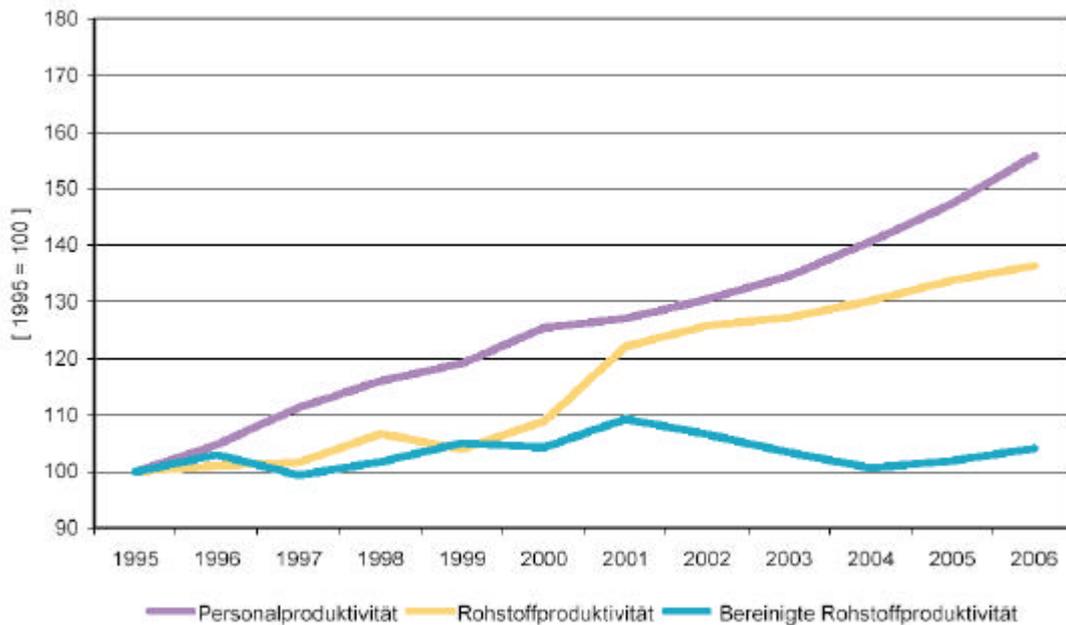
Quelle: UBA 2007, 101/104

Bedeutsam für die Interpretation der Entwicklung der Rohstoffproduktivität ist auch, dass der Materialeinsatz zunehmend durch Importe gedeckt wird. Quantitativ relevant sind bei dieser

10

Verlagerung insbesondere die gestiegenen Importe von metallischen Halb- und Fertigwaren sowie die Ablösung von heimischer Kohle durch importierte Energie träger. Die inländische Umwelt wird also weniger in Anspruch genommen und Umweltbelastungen, die mit der Entnahme von Rohstoffen und ihrer Weiterverarbeitung zu Halb- und Fertigwaren verbunden sind, werden in das Ausland verlagert (UBA 2008).

Abbildung 2-3: Bereinigte Rohstoffproduktivität in Deutschland



Die bereinigte Rohstoffproduktivität bezieht sich auf das Verarbeitende Gewerbe abzüglich der Einflüsse der Wirtschaftssektoren Glas, Keramik, Steine und Erden.

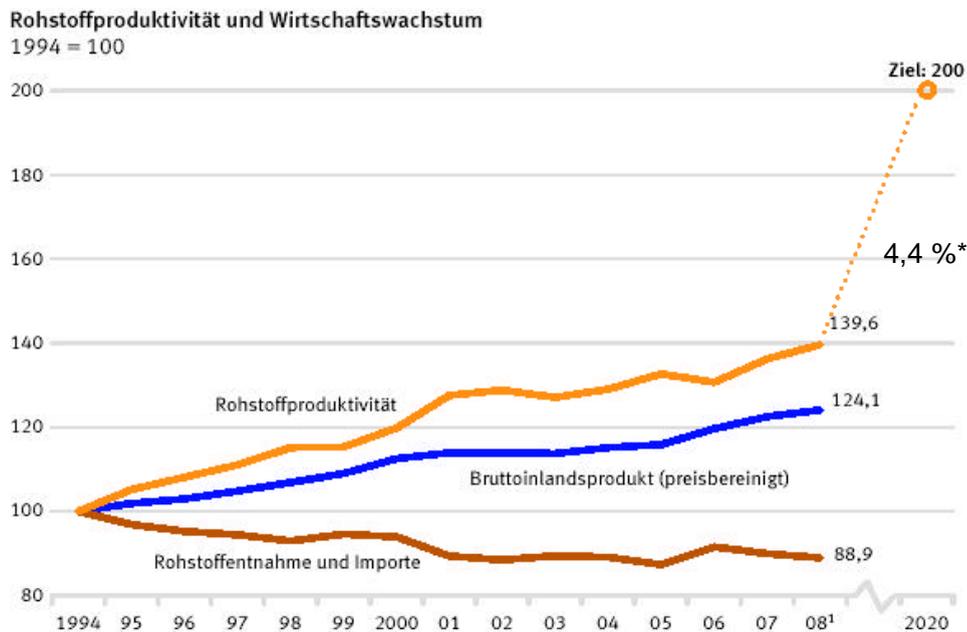
Quelle: Statistisches Bundesamt 2009; kfw 2009

Effizienzfortschritte entkoppeln Wirtschaftswachstum und Ressourcenverbrauch, reichen aber nicht, um die Ressourcenproduktivität bis 2020 zu verdoppeln

Die bisher realisierte Ressourceneffizienz entkoppelt Wirtschaftswachstum und Ressourcenverbrauch, bleibt aber weit hinter dem erreichbaren Effizienzpotenzial zurück. Deshalb kann das Ziel der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie, die Rohstoffproduktivität bis 2020 gegenüber 1994 zu verdoppeln, bei der bisherigen Dynamik nicht erreicht werden. Eine absolute Senkung des Ressourceneinsatzes ist zukünftig nur dann möglich, wenn die Ressourceneffizienzsteigerung wesentlich höher als in den vergangenen Jahren ausfällt. Soll das Ziel einer Verdoppelung der Rohstoffproduktivität erreicht werden, müssten die Effizienzfortschritte mindestens 4,4% jährlich betragen. Tatsächlich müsste die

Rohstoffproduktivität noch viel höher ausfallen, wenn man bedenkt, dass die bisherigen Fortschritte im wesentlichen auf einen Strukturwandel hin zu weniger rohstoffintensiven Branchen zurückzuführen sind, weniger aber auf eine sparsamere Verwendung der Rohstoffe. Insofern sind zusätzliche und weitergehende Anstrengungen zur Erhöhung der Ressourceneffizienz notwendig.

Abbildung 2-4: Rohstoffproduktivität in Deutschland



*Notwendige jährliche Veränderung für die Erreichung des Ziels

Quelle: Statistisches Bundesamt, Indikatorenbericht 2010, eigene Berechnung der Änderungsrate

Reboundeffekte kompensieren Ressourceneffizienzgewinne

Effizienzsteigerungen können konsumsteigernde Auswirkungen haben. Man spricht von einem Rebound-Effekt. Quantitativ geben Rebound-Effekte an, wie viel Prozent des technisch gegebenen Einsparpotenzials dadurch verloren gehen, dass sich die Nachfrage aufgrund der Effizienzerhöhung ausdehnt. Sie schmälern erzielte Effizienzgewinne, können sie auch gänzlich aufheben. Das papierlose Büro ist ausgeblieben, der Verkehr wächst trotz Telekommunikation, die Hardwaremassenströme schwellen trotz Leistungssteigerung und Miniaturisierung der Informations- und Kommunikationstechnik an. Die ersten Mobiltelefone waren mehrere Kilogramm schwer, heute wiegen sie nur noch ein Zwanzigstel. Aber gerade das geringe Gewicht und damit die Handlichkeit und die sinkenden Kosten machten sie zur Massenware.

Zum Rebound-Effekt tragen verschiedene Mechanismen bei. Er kommt insbesondere dadurch zustande, dass Effizienzverbesserungen preissenkende und einkommensstärkende und daher

konsumsteigernde Wirkungen haben können. Außerdem können Effizienzfortschritte zu Zeitgewinnen führen, die sich wiederum in einen veränderten Konsum niederschlagen. Volkswirtschaften reagieren im allgemeinen auf Effizienzerhöhungen mit einer Nachfrageausweitung (Binswanger 2001).

Zu unterscheiden sind direkte und indirekte Rebound-Effekte. Bei den direkten Rebound-Effekten werden etwa effizientere Geräte angeschafft, die dann aber weniger sparsam oder nicht dem Bedarf angepasst genutzt werden. Ein Beispiel sind stromsparende Waschmaschinen. Sie werden aufgrund veränderter Reinigungsanforderungen und zunehmend kleinerer Haushalte öfter genutzt, ein sparsamer Fernseher häufiger eingeschaltet oder beim Neukauf eines effizienten Kühlgerätes fällt dieses größer aus als nötig. Bei den indirekten Rebound-Effekten werden durch Einspargewinne zusätzliche Konsumausgaben ermöglicht. Eingesparte Kraftstoffkosten eröffnen finanzielle Spielräume, um mit einem Billigflug eine Städtekurzreise zu unternehmen. Der zusätzliche Konsum kann sich wiederum in einer höheren Umweltbelastung niederschlagen, sofern nicht weitere Maßnahmen dies verhindern.

Bislang weiß man recht wenig über Rebound-Effekte, entsprechend groß ist die Unsicherheit bei der Abschätzung der Auswirkungen von Ressourceneffizienzgewinnen auf volkswirtschaftliche Systeme. Das staatliche britische Energieforschungszentrum (UKREC) hat 2007 einen Bericht über Reboundeffekte im Bereich der Energieeffizienz vorgelegt (Sorell 2009). Hilty et. al. haben Rebound-Effekte für die schnell wachsenden Informations- und Kommunikationstechnologien untersucht (Hilty 2002). In Dänemark wurden die ökologischen Auswirkungen der Konsumeffekte von Einkommenserhöhungen abgeschätzt (Thiesen 2008). Demzufolge werden pro zusätzlich ausgegebenem Euro rund 1,5 kg CO₂-Äquivalente freigesetzt. Einigermaßen robuste Zahlen gibt es lediglich über direkte Reboundeffekte und zu Bereichen wie Verkehr und Haushalt. Dabei ist festzustellen, dass es sektoral unterschiedliche Auswirkungen von Effizienzsteigerungen auf den spezifischen Konsum gibt. Die Abschätzung der Größe des Reboundeffektes variiert erheblich, wie Abbildung 2-5 zeigt, und reicht von null bis fünfzig Prozent, das heißt, dass weniger als die Hälfte des technischen Sparpotenzials tatsächlich genutzt wird. Kaum bekannt sind die Effekte günstigerer Preise auf die Konsumausgaben. Belastbare Daten und Fakten über die Größe dieser Reboundeffekte liegen bis dato kaum vor. Fest steht, dass Reboundeffekte keine vernachlässigbare Größe darstellen, sondern neue Antworten erfordern. Trotz der hohen Eigendynamik sind Reboundeffekte nicht deterministisch, sondern in vielen Bereichen zukunfts offen und damit gestaltbar. Hier besteht erheblicher Forschungsbedarf.

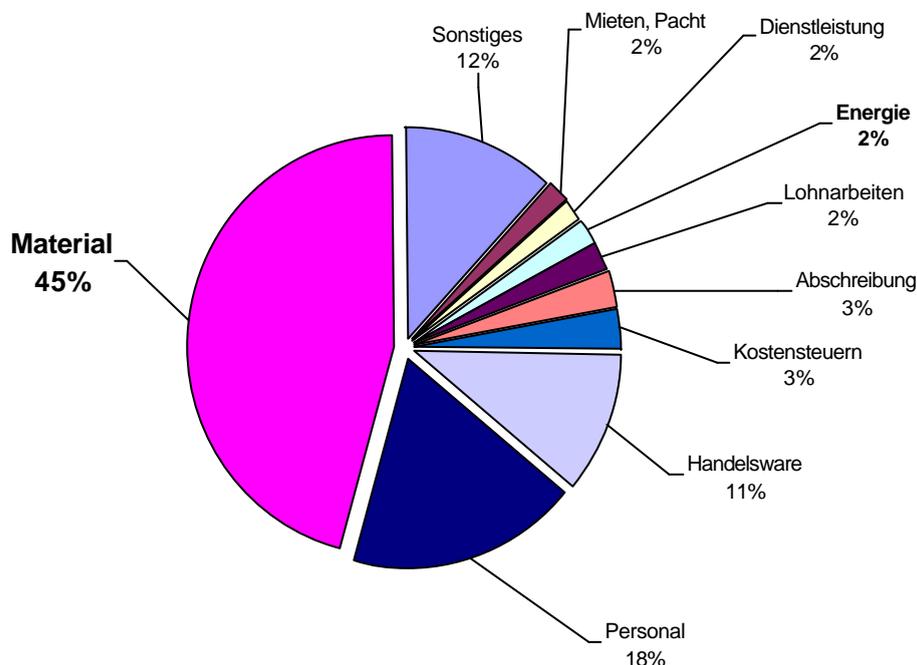
Abbildung 2-5: Auswirkungen von Effizienzsteigerungen auf den spezifischen Konsum

System	Größe des Rebound-Effekts (%)	Quelle
Raumheizung	10-30	Greening, Green, Difiglio 2000
Raumkühlung	0-50	Greening, Green, Difiglio 2000
Wasserheizung	<10-40	Greening, Green, Difiglio 2000
Licht im Wohnbereich	5-12	Greening, Green, Difiglio 2000
Haushaltsgeräte	0	Greening, Green, Difiglio 2000
Fahrzeuge	10-30	Greening, Green, Difiglio 2000
Putzen/Waschen (Pervasive Computing)	20-60	Hilty et.al. 2002
Verkehr (Pervasive Computing)	10 - >100	Hilty et.al. 2002
Energieeffizienz	>50	Sorell 2009

Bedeutung der Material- und Energiekosten

Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes liegen die Materialkosten im Verarbeitenden Gewerbe (2007) durchschnittlich bei rund 46% des Bruttoproduktionswertes. 1995 lagen die Materialkosten noch bei 37,7% der Gesamtkosten. Materialkosten stellen den mit Abstand größten Kostenfaktor im Verarbeitenden Gewerbe dar. Der Anteil der Energiekosten ist wesentlich niedriger, er liegt bei 2%.

Abbildung 2-6: Kostenstruktur im Produzierenden Gewerbe

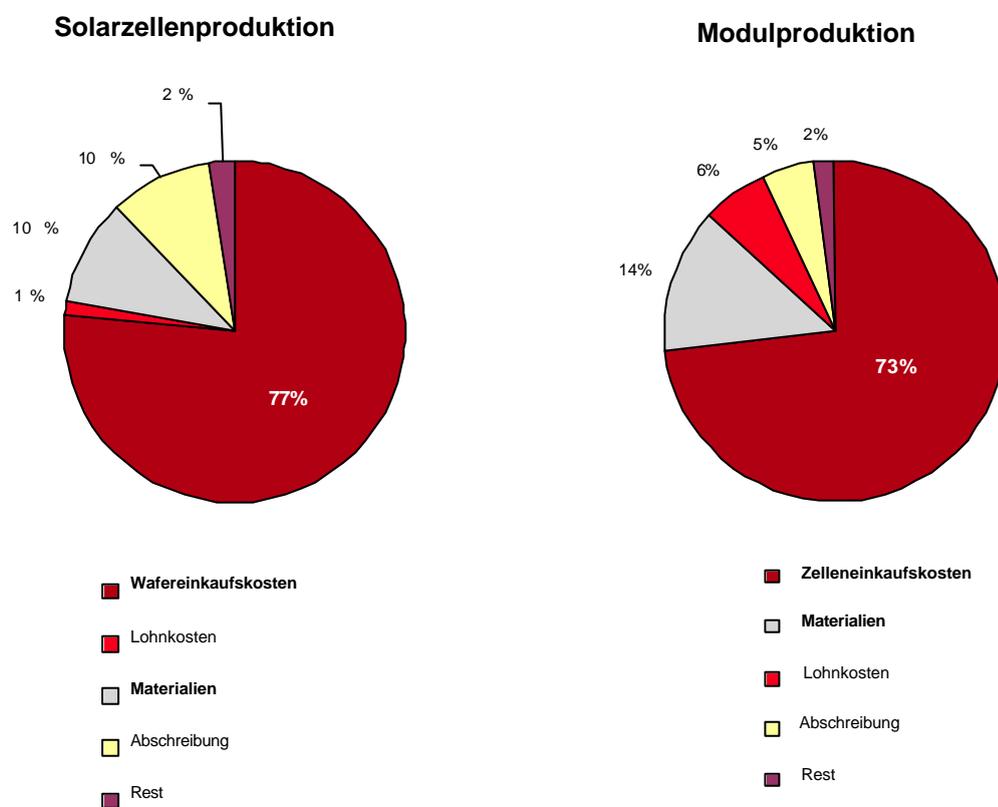


Kosten in Prozent am Bruttoproduktionswert, Zahlen gerundet

Quelle: Statistisches Bundesamt 2009

Allerdings muss dabei bedacht werden, dass die Angaben auch Vorleistungen der Zulieferer enthalten. Vor allem Arbeitskosten der vorangegangenen Stufen der Wertschöpfungskette summieren sich so mehr und mehr im Materialkostenblock. Je länger die Wertschöpfungskette, desto mehr rohstofffremde Kosten sind auf der nächsten Stufe der Wertschöpfungskette im Materialkostenanteil enthalten. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht relevant sind vor allem aber die Materialkosten, die direkt in dem Unternehmen anfallen und einen ernsthaften Preisdruck erzeugen können. So liegen beispielsweise die unternehmensspezifischen Materialkosten der Solarzellenproduktion bei 10% und die der Modulproduktion bei 14%.

Abbildung 2-7: Kostenstruktur der Solarzellen- und Modulproduktion



Quelle: Herbst 2009

Die Rohstoffkosten fallen weniger ins Gewicht, als dies die Materialkosten gemessen am Bruttoproduktionswert nahe legen, so dass sich nicht folgern lässt, dass heute schon ein starker Anreiz für Ressourceneinsparungen für Unternehmen besteht. Daher ist die Bruttowertschöpfung eine geeignetere Bezugsgröße. Hinzu kommt, dass neben der Höhe der Kostenanteile die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit der Produktionsfaktoren berücksichtigt werden muss. Ökonometrische Untersuchungen (Henn 2002) kommen zu dem Ergebnis, dass die Produktionselastizität des Faktors Arbeit deutlich niedriger liegt als die des Faktors Energie und Material. Dieser Befund ist mit ein weiterer Grund dafür, weshalb Ressourceneffizienzpotenziale oftmals nicht als Möglichkeit zur Kosteneinsparung wahrgenommen werden.

Es existieren erhebliche Verbesserungspotenziale, die zu einer Kostenentlastung und Ressourceneinsparung führen

Die Industrie hat grundsätzlich ein Eigeninteresse an einer Senkung der Energie- und Materialkosten. Der Fokus liegt auf Energiesparmaßnahmen, Materialeinsparmöglichkeiten werden weniger als Hebel zur Kostensenkung gesehen und genutzt. Ansatzpunkte zur Materialeinsparung sind aber vielfältig vorhanden. Die Ergebnisse abgeschlossener Projekte (z.B. der demea) zeigen, dass teilweise erhebliche Verbesserungspotenziale existieren, die zu einer Kostenentlastung und Ressourceneinsparung im Unternehmen führen (Landtag Baden-Württemberg 2009). In allen beratenen und geförderten Unternehmen sind deutliche Potenziale zur Steigerung der Ressourceneffizienz festgestellt worden. In der Regel können etwa 1% bis 2,5% Kosten und damit Ressourcen durch eine verbesserte Materialeffizienz eingespart werden.

Je nach Branche wird das Potenzial sehr unterschiedlich von wenigen Prozent bis zu 20% des Bruttoproduktionswertes geschätzt. Abbildung 2-8 illustriert Kosteneinsparpotenziale in ausgewählten Branchen, die 2005 in einer gemeinsamen Studie von Arthur D. Little, des Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt und Energie sowie des Fraunhofer-Instituts für Systemtechnik und Innovationsforschung abgeschätzt wurden.

Besonders groß sind die Kostensenkungspotenziale in jungen Branchen mit noch nicht ausgereiften Technologien und hoher Innovationsdynamik. Beispielhaft ist die Fotovoltaik: Für kristalline Silizium-Solarmodulen geht die Roadmap ressourceneffiziente Fotovoltaik davon aus, dass durch die kombinierten Wirkungen technologischer Verbesserungen bei gleichzeitiger Weiterentwicklung der industriellen Produktionen sich die Modulherstellungskosten um 52% auf 1,0 €/pro Wattpeak³ senken ließen (IZT 2010).

Abbildung 2-8: Branchenspezifische Einsparpotenziale

Branche	Materialeinsatz in Mrd. EUR in 2002	Materialeinsparpotenzial in Mrd/EUR/a
Herstellung von Metallerzeugnissen	18,6	0,8 – 1,5
Herstellung von Kunststoffwaren	10,8	1,0 – 2,0
Herstellung von Geräten der Elektrizitätserzeugung und -verteilung	10,2	1,5 – 3,0
Chemische Industrie (ohne Grundstoffindustrie)	11,1	1,8 – 3,4
Baugewerbe: Hochbau und Ausbaugewerbe	11,1	0,2 – 1,2

Quelle: ADL 2005

Insgesamt könnte nach ADL et.al. (2005) bis 2016 in Deutschland ein jährliches Kostensenkungspotenzial durch Materialeffizienzmaßnahmen in Höhe von 27 Mrd. EUR erschlossen werden. Allein für kleine und mittelständische Betriebe liegt das Einsparpotenzial zwischen 6,4 und

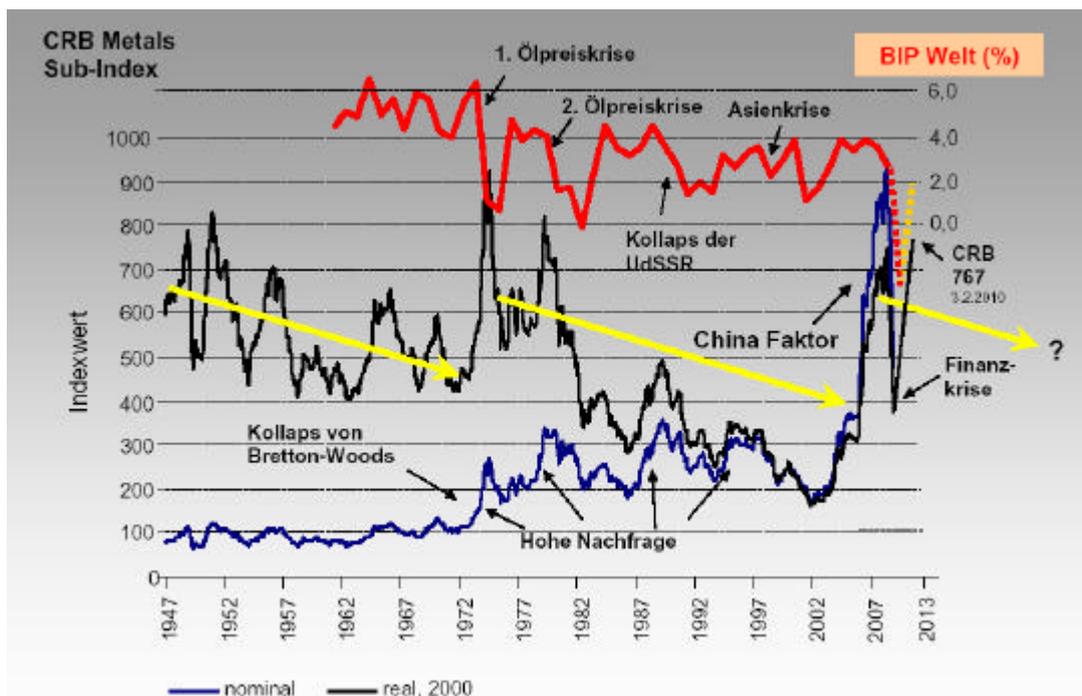
³ Mit Wattpeak (W_p) wird die abgegebene Spitzenleistung von Fotovoltaikmodulen bei der maximal möglichen solaren Einstrahlung bezeichnet.

13 Mrd. EUR pro Jahr (ADL et. al. 2005). Das Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg schätzt das volkswirtschaftliche Einsparpotenzial durch Materialeffizienz bundesweit auf 100 Mrd. € jährlich (Drucksache 14/4480 Landtag Baden-Württemberg) und bezieht sich dabei auf ADL 2005. Neuere Zahlen liegen nicht vor, werden aber angesichts der Markt- und Technologiedynamik benötigt, um aktuelle Kostensenkungsmöglichkeiten durch Materialeffizienz besser bewerten zu können.

Volatilität der Rohstoffpreise

Rohstoffpreise sind der entscheidende Faktor für die Rentabilität der Ressourceneffizienz. In den vergangenen Jahrzehnten hat es immer erhebliche Schwankungen auf den Rohstoffmärkten gegeben. Die Preissteigerungen der jüngsten Zeit (Super-Hausse) haben unterschiedliche, nachfrage- und angebotsbedingte und teilweise auch spekulative Gründe. Insbesondere die enorm starke Nachfrage Chinas („China-Faktor“) und anderer Schwellenländer sowie der Umstand, dass das Angebot der gestiegenen Nachfrage nicht schnell genug nachgekommen ist, führten zu ungewöhnlich hohen Preisanstiegen bei nahezu allen Rohstoffen. Zwar hat die Rezession die Rohstoffnachfrage gedämpft, teilweise ist aber bereits wieder ein Anstieg zu beobachten.

Abbildung 2-9: Entwicklung der Rohstoffpreise: langfristige Preisschwankungen



CRB Metals Sub-Index Kupfer-, Stahl-, Bleischrott, Zink, Zinn

Quelle: Buchholz (BGR) 2010

Die Wachstumsdynamik der Schwellen- und Entwicklungsländer, allen voran die BRICS Staaten, also Brasilien, Russland, Indien, China und Südafrika, dürfte die globale Nachfrage nach Rohstoffen langfristig vervielfachen. Wenn das durchschnittliche Wachstum der Weltwirtschaft anhält, erreicht

die Weltwirtschaftsleistung in 20 Jahren das 2,4 fache gegenüber heute. Unklar ist, inwieweit sich diese Entwicklung auf die Rohstoffpreise auswirken wird. Längerfristig betrachtet, sind die Rohstoffpreise in Bezug zu den Preisen der Industrieländer inflationsbereinigt eher gefallen. Mineralische Rohstoffe sind weder knapper noch real wesentlich teurer geworden. Die aktuellen Preissteigerungen sind deshalb kein Anzeichen für „versiegende“ Rohstoffe. Ausnahme ist Erdöl, die bisher wichtigste Ressource der Weltwirtschaft, ist nah am Förderlimit (peak oil). Die Internationale Energiebehörde (IEA) geht (neuerdings) davon aus, dass die Erdöl exportierenden Staaten der OPEC ab 2012 die Nachfrage nicht mehr decken können. Aber nicht nur Erdöl, sondern viele andere Rohstoffe, darunter Metalle, Eisensande, Phosphor und einige nachwachsende Rohstoffe lassen in längerer Sicht volatile Preise erwarten und werfen Fragen nach der Rohstoffverfügbarkeit auf.

Noch schneller als die Nachfrage nach Massenrohstoffen wächst der Bedarf nach Spezialitäten, die vor allem für Zukunftstechnologien benötigt werden. Dabei handelt es sich insbesondere um Chrom, Kobalt, Titan, Zinn, Antimon, Niob, Tantal, Platin, Palladium, Ruthenium, Rhodium, Osmium, Iridium, Silber, Neodym, Scandium, Yttrium, Selen, Indium, Germanium und Gallium. Diese Stoffe sind nicht allein für High-tech-Anwendungen bedeutsam. Lieferengpässe bei diesen Rohstoffen können auch die Entwicklung und industrielle Nutzung von grünen Zukunftstechnologien (Hybridantrieb, Fotovoltaik, Windenergie, Brennstoffzellen, OLED, Wasserstoffnutzung etc.) hemmen. Sie sind daher generell von großer Bedeutung für die Volkswirtschaft, ihre Vorkommen sind auf wenige Länder beschränkt und diese befinden sich zum Teil in politisch instabilen Regionen. Die Verletzbarkeit der Industrie in rohstoffarmen Ländern wie Deutschland wird noch dadurch erhöht, dass bestimmte metallische Rohstoffe häufig nur über vergesellschaftete Vorkommen in Erzen erschlossen werden können. Steigt der Bedarf nach einem Metall stark an, so ändert sich das gesamte Wertschöpfungs- und Preisgefüge von Haupt-, Kuppel- und Nebenprodukten. Vergesellschaftet kommen beispielsweise die für die Technologieentwicklung wichtigen Metalle der seltenen Erden vor, darunter Scandium und Neodym. Indium, ein extrem knapper Rohstoff, wird als Koppelprodukt von Zink gewonnen. Die Empfindlichkeit der Rohstoffverfügbarkeit ist dort besonders groß, wo die Möglichkeit fehlt, knappe und teure Rohstoffe zu substituieren. Nicht ersetzbar ist beispielsweise Chrom in rostfreien Stählen, Kobalt in verschleißfesten Legierungen, Scandium in schlagfesten Legierungen, Silber in gedruckten RFID-Labels, Indium in transparenten Indium-Zinn-Oxid Elektroden für Displays oder Fotovoltaikzellen, Neodym in starken Permanentmagneten und Germanium in Linsen der Infraoptik (IZT/ISI 2008).

Abbildung 2-10: Rohstoffbedarf für Zukunftstechnologien

Rohstoff	Rohstoffbedarf		Zukunftstechnologien	Weltproduktion
	2006	2030		2006 (in t)
Gallium	0,28	6,09	Dünnschicht-Fotovoltaik, Integrierte Chips	99
Neodym	0,55	3,82	Permanentmagnete, Lasertechnik	7.300
Indium	0,40	3,29	Displays, Dünnschicht-Fotovoltaik	580
Germanium	0,31	2,44	Glasfaserkabel, optische Technologien	90
Scandium	gering	2,28	Brennstoffzellen, Al-Legierungselement	1,3
Platin	gering	1,56	Brennstoffzellen, Katalyse	221
Tantal	0,39	1,01	Mikrokondensatoren, Medizintechnik	1.400
Silber	0,26	0,78	RFID, Bleifreie Weichlote	20.200
Zinn	0,62	0,77	Bleifreie Weichlote, transparente Elektroden	302.000
Kobalt	0,19	0,40	Lithium-Ionen-Akku	67.500
Palladium	0,10	0,34	Katalyse, Meerwasserentsalzung	224
Titan	0,08	0,29	Meerwasserentsalzung, Implantate	201.000
Kupfer	0,09	0,24	Effiziente Elektromotoren, RFID	15.100.000
Selen	gering	0,11	Dünnschicht-Fotovoltaik, Legierungselement	1.541
Niob	0,01	0,03	Mikrokondensatoren, Ferrolegerung	45.000
Ruthenium	0	0,03	Farbstoffsolarzellen, Ti-Legierungselement	29
Yttrium	gering	0,01	Hochtemperatursupraleitung, Lasertechnik	7.000
Antimon	gering	gering	Mikrokondensatoren	134.000
Chrom	gering	gering	Meerwasserentsalzung, marine Techniken	9.010.000

Globaler Rohstoffbedarf für Zukunftstechnologien im Jahr 2006 und 2030 im Verhältnis zur gesamten heutigen Weltproduktionsmenge des jeweiligen Rohstoffs

Quelle: IZT/ISI 2008

Für die Erschließung von Ressourceneffizienzpotenzialen bedeuten diese Entwicklungen auf den internationalen Rohstoffmärkten mehrerlei:

Die Erhöhung der Rohstoffpreise und Versorgungsengpässe schaffen Anreize für Unternehmen, sparsamer mit betroffenen Rohstoffen umzugehen oder auf Substitute auszuweichen. Beispielhaft ist der Engpass der Siliziumversorgung in der Fotovoltaikindustrie im Jahr 2006. Die Industrie reagierte mit Effizienzmaßnahmen und neuen Konzepten zur Gewinnung von Upgraded-metallurgic-Silizium. Dieser Effekt lässt sich aber nicht generalisieren, vielmehr sind die Einflussmechanismen vielschichtig und hängen von verschiedenen, sich gegenseitig beeinflussenden und überlagernden Faktoren ab.

So spielt die Nachfrageelastizität eine entscheidende Rolle, auch die Wettbewerbssituation der einzelnen Branchen ist hier wichtig. Von der Erhöhung der Rohstoffpreise sind zunächst einmal alle gleichermaßen betroffen, so dass sich die Wettbewerbssituation nicht zwangsläufig gravierend ändern muss. Wettbewerbsvorteile durch Effizienzgewinne können zudem durch Währungsschwankungen wieder relativiert werden.

Für die Zukunft ist unsicher, wie die Rohstoffpreise sich entwickeln werden. Die Diskussion darüber wird kontrovers geführt. Viele Analysten nehmen an, dass der steigende Rohstoffbedarf der Schwellen- und Entwicklungsländer auf längere Sicht auch höhere Rohstoffpreise erwarten lässt. Aber

sicher ist das nicht. Sicher scheint nur, dass langfristig mit einer hohen Preisvolatilität auf den Rohstoffmärkten zu rechnen ist.

Die Entwicklung der Rohstoffmärkte und die damit verbundene Diskussion um Rohstoffverfügbarkeit und Nutzung von Einsparungspotenzialen bedürfen daher zukünftig mehr Beachtung zur Verbesserung der Planungssicherheit bei Erschließung von Ressourceneffizienzpotenzialen. Die Rohstoffversorgung als Standortfrage beschäftigt daher auch die Europäische Kommission in einer Rohstoffinitiative, national befasst sich die Bundesregierung gemeinsam mit dem BDI mit Fragen einer Rohstoffstrategie. Beiden geht es zunächst darum, den Zugriff auf Rohstoffvorkommen zu sichern und Handelshemmnisse abzubauen. Die verstärkte Nutzung heimischer Rohstoffpotenziale bildet eine zweite Säule politischer Strategien. In der dritten Säule spielen der Ausbau des Recyclings, die verstärkte Erforschung von Substituten sowie Materialeinsparungen eine zentrale Rolle.

3. Querschnittstechnologien: ihre Bedeutung für die Ressourceneffizienz

Querschnittstechnologien sind Technologien, deren Anwendungsgebiet sich nicht auf eine bestimmte Industrie beschränkt, sondern die über alle Branchen hinweg Verwendung finden. Für die heutige Informations- und Wissensgesellschaft bilden Querschnittstechnologien die technologische Basis und tragen als dynamische Innovationsfelder maßgeblich zur wirtschaftlichen Entwicklung und Schaffung zukunftsträgiger Arbeitsplätze bei. Dabei können Querschnittstechnologien in vielen wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Bereichen einen wichtigen Beitrag zur Einsparung von Ressourcen und zur Reduzierung von klimarelevanten Emissionen leisten. In jüngster Zeit sind in Deutschland eine Reihe von Initiativen ergriffen worden, die sich um die Nutzung der Querschnittstechnologien zur Erschließung von Umweltentlastungspotenzialen bemühen. Dazu zählen z.B. der Förderschwerpunkt „IT goes green“ im Umweltinnovationsprogramm von Bundesumweltministerium und Umweltbundesamt, das Förderprogramm „E-Energy“ des Bundeswirtschaftsministeriums oder der Schwerpunkt "Ressourceneffizienz in der Produktion" innerhalb des Förderprogramms "Forschung für die Produktion von morgen" des Bundesforschungsministeriums. In diesem Rahmen wurde unter dem Stichwort „Effizienzfabrik“ eine Innovationsplattform aufgebaut. Sie ist Bestandteil der Hightech-Strategie der Bundesregierung. Auf EU-Ebene betont die Kommission die zentrale Rolle von Querschnittstechnologien für die Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit und Bewältigung gesellschaftlicher Herausforderungen, wie Klimawandel und Rohstoffverfügbarkeit. Mit ihrer Mitteilung (512/3/2009) „Preparing for our future: developing a common strategy for key enabling technologies in the EU“ hofft die EU-Kommission einen Prozess zu initiieren, in dessen Verlauf die EU für Schlüsseltechnologien (enabling technologies) erforderliche Maßnahmen zu schaffen, die deren Entwicklung und Markteinführung fördern.

Mit neuen Werkstoffen, den weißen Biotechnologien, den Nanotechnologien, den Informations- und Kommunikationstechnologien sowie Automationstechniken verbinden sich besonders große Erwartungen auf nachhaltige Zukunftsmärkte.

In der Werkstoffforschung zeichnen sich *neue Werkstoffe* ab, die in neue Anwendungsfelder drängen. Viele Werkstoffe werden zunehmend maßgeschneidert und als miniaturisierte, strukturierte und funktionalisierte Materialien genutzt, die spezifische Hochleistungseigenschaften erfüllen. Mit neuen Werkstoffen sind häufig neue und angepasste Verbindungstechniken notwendig. Einsparpotenziale können sich aus innovativen Beschichtungstechnologien ergeben. So lässt sich durch den gezielten Einsatz verschleißfester Antihafschichten die Lebensdauer von Produkten verlängern.

Anwendungsfelder neuer Beschichtungstechnologien zur Herstellung funktionaler Oberflächen sind beispielsweise Chemie, Fahrzeugbau, Elektro- und Informationstechnik, Medizin-, Mess-, Steuer- und Regelungstechnik und Optik.

Die *weiße Biotechnologie* besitzt erhebliche Chancen zur Ressourceneffizienzsteigerung.

Biotechnologische Verfahren laufen unter vergleichsweise milden chemischen Bedingungen und bei niedrigen Temperaturen ab und tragen auf diese Weise zur Ressourcenschonung bei. Als Rohstoffe können nachwachsende Rohstoffe zu bedeutenden Intermediaten für den Aufbau industriell relevanter Produktionsstoffe umgesetzt werden. Allerdings hat sich die Nutzung dieser Technologien in der Breite noch nicht durchgesetzt. Der Marktanteil biotechnologisch erzeugter chemischer Produkte liegt bei ca. 5%. Die chemische Industrie rechnet aber damit, dass der Markt für Produkte der weißen Biotechnologie schneller wachsen wird als der für konventionelle Chemieprodukte. Langfristig sind bioraffinerien ein interessantes Innovationsfeld, da sie biochemische, thermochemische und chemische Stoffumwandlungen und die energetische Nutzung integrieren. Bioraffinerien befinden sich noch in einem frühen Entwicklungsstadium, entwickeln sich aber dynamisch. In den nächsten Jahren werden die ersten Pilotanlagen von Lignozellulose Feedstock-Bioraffinerien entstehen. Erste integrierte Bioraffinerien im industriellen Maßstab, die unterschiedliche Rohstoffe mit verschiedenen Verfahren zu diversen Produkten verarbeiten, sind in zehn Jahren realistisch. Das Marktpotenzial hängt im wesentlichen von der Entwicklung der Energie- und Rohstoffpreise ab, aber auch politische Programme (Biomasseförderung, Energiepolitik, Agrarpolitik etc.) werden die biotechnologische Nutzung nachwachsender Rohstoffe stark beeinflussen. Die zukünftigen Nutzungsmöglichkeiten von nachwachsenden Rohstoffen werden insbesondere auch davon abhängen, wie viel Biomasse zur Verfügung stehen wird. Die derzeitigen Diskussionen um „food or fuel“, die Frage also der Nutzungskonkurrenz zwischen Biomassenutzung zur Energieversorgung oder als Nahrungsmittel und die zum Teil erheblichen Preisanstiege bei einzelnen Nahrungsmitteln, zeigen mögliche Nutzungskonkurrenzen und –konflikte auf. Was Deutschland anbetrifft, kann eine wesentliche Steigerung der Nachfrage nach nachwachsenden Rohstoffen nur über steigende Importe und eine Ausweitung der global in Anspruch genommenen Fläche gedeckt werden (UBA 2009).

Bei den *Nanotechnologien* sind die Erwartungen ebenfalls sehr groß. Nanomaterialien öffnen ein weites Feld für neue Anwendungen.

Abbildung 3-1: Ressourceneffizienz durch nanotechnologische Anwendungen

Klebeverbindungen	Aushärtung thermisch aktivierbarer Polymerverbindungen, Zerstörung von Klebeverbindungen durch Erwärmung der Nanopartikel über ein magnetisches Wechselfeld
Verringerung der Schichtdicke	nanoskalige Beschichtungs- und Katalysatormaterialien, optimierte Materialien im Leichtbau, verschleiß- und reibungsarme Oberflächen im Maschinenbau und hochspezifische Membranen in der Biotechnologie
Sensorik	Spurenanalytik; optimierter und spezifischer Nachweis biologischer und chemischer Verunreinigungen (Lab-on-a-chip-Systeme)
Treibstoffeffizienz durch Gewichtsreduktion	nanotechnisch optimierte Kunststoffe für Fahrzeuge oder Flugzeuge
Nanotechnik-basierte Beleuchtung	Nanotechnik-basierte OLEDs (Organischen Leuchtdioden) sparen bis 50 Prozent Energie. Vorteil für das Recycling, da quecksilberfrei
Kunststoffe	Verbesserung mechanischer und thermischer Eigenschaften von Kunststoffen; Autoreifen mit Siliziumdioxid- und Nanorußpartikel zur Materialverstärkung bewirken einen geringeren Rollwiderstand und helfen bis zu zehn Prozent Kraftstoff zu sparen
Fotovoltaik	Erhöhung der Wirkungsgrade von Dünnschichtsolarzellen durch Nanokristalle, Entspiegelung von Siliziumsolarzellen durch nanoporöse Schichten; Farbstoffsolarzellen mit nanokristallinem Titandioxid
Verbesserung der Reinigungsleistung von Filtersystemen	Nanofiltration von Krankheitserregern (Bakterien, Viren) Wasserentsalzung Nanokatalysatoren zum Abbau luftgetragener Schadstoffe Verbesserte Abgasreinigung bei Kraftfahrzeugen

Quelle: UBA 2009

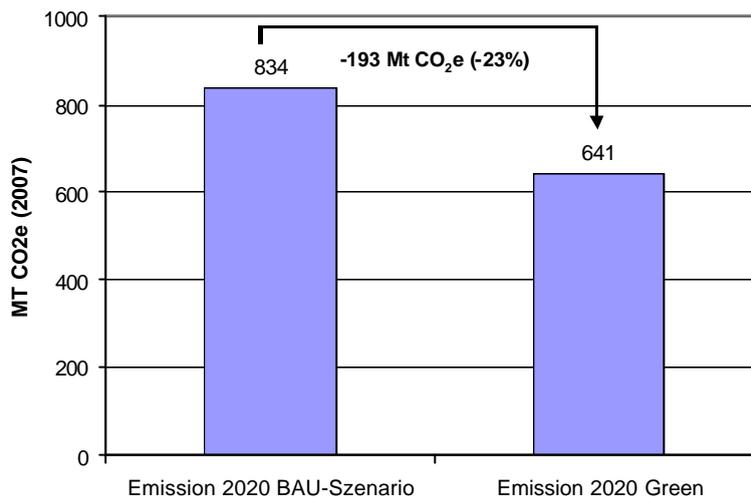
Oberflächen- und Funktionseigenschaften nanoskalierter Materialien ermöglichen die Entwicklung von neuen, innovativen Produkten und Verfahren. Vielversprechende Anwendungsfelder liegen insbesondere in der Katalyse, Konstruktion, Sensorik und der Verbesserung der Reinigungsleistung von Filtersystemen. Umweltschutz kann dadurch noch besser und wirtschaftlicher werden. Wegen ihres Potenzials zur grundlegenden Veränderung ganzer Technologiefelder wird die Nanotechnologie als Schlüsseltechnologie angesehen, befindet sich aber noch in einem relativ frühen Stadium der Entwicklung. Eine übergreifende, über Einzelfallbetrachtungen hinausgehende Bewertung der möglichen Potenziale zur Ressourceneffizienzsteigerung ist deshalb derzeit kaum möglich. Außerdem ist die Risikoforschung „noch nicht soweit vorgedrungen, dass Aussagen möglich sind, ob eine nachhaltige und ressourceneffiziente Anwendung gesichert ist“ (Kristof 2007). Erhebliche Forschungsanstrengungen sind hier erforderlich, da sich aus dem fehlenden Wissen um die Umwelt- und Gesundheitsfolgen nicht intendierte Nebenfolgen und damit Akzeptanzprobleme und Hemmnisse für die Markteinführung von Nanotechnologien ergeben können.

Die Relevanz der *Informations-, Kommunikations- und Automationstechnik* zeigt sich an der steigenden wirtschaftlichen Leistung und Wertschöpfung als auch an der zunehmenden Bedeutung für mehr Ressourceneffizienz. Die Informations-, Kommunikations- und Automatisierungstechnik können in vielen wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Bereichen einen wichtigen Beitrag zur Einsparung von Ressourcen und zur Reduzierung von klimarelevanten Emissionen leisten.

So gehen globale Potenzialabschätzungen davon aus, dass im Jahr 2020 rund 7,8 Mrd. t CO₂-Äquivalente (CO₂eq) allein durch die intelligente Nutzung von IKT vermieden werden können. Das entspräche rund 15 % der für 2020 angenommenen weltweiten Emissionen in Höhe von 51,9 Mrd. t

CO₂eq (Climate Group 2008, 29). In der Studie SMART 2020 der Boston Consulting Group (BCG) wurden die Potenziale für Deutschland errechnet. Insgesamt wird das Reduktionspotenzial auf bis zu 193 Mt CO₂e in 2020 geschätzt. Dies entspräche rund 23% des 2020 erwarteten Emissionsvolumens.

Abbildung 3-2 CO₂eq-Reduktionspotenziale durch IKT in Deutschland bis 2020



BAU-Szenario Business as usual

Green-Szenario: Umsetzung ressourceneffizienter Maßnahmen der IKT zur Reduktion der CO₂eq-Emissionen

Quelle: nach BCG 2009

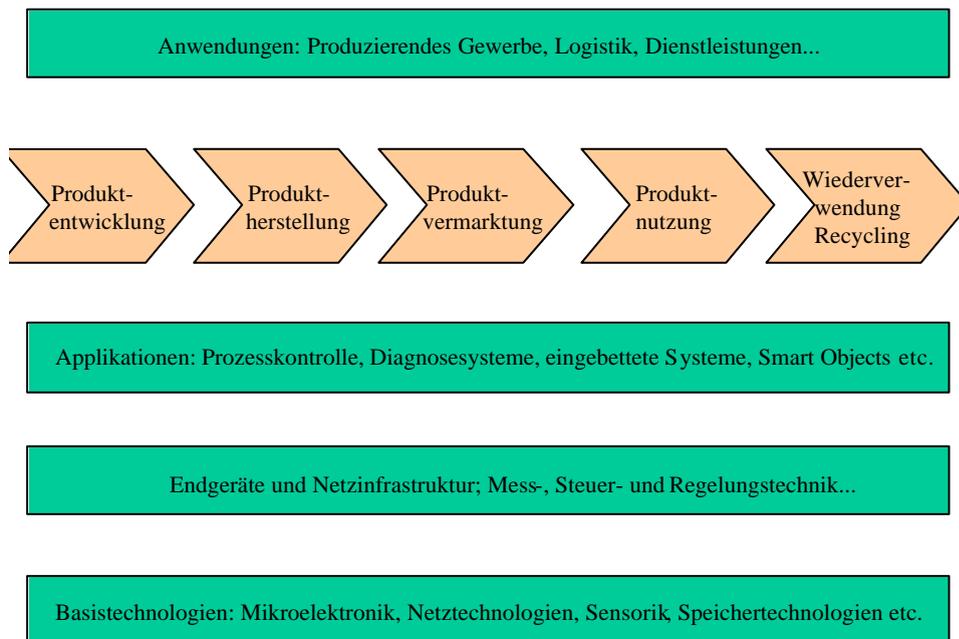
Abschätzungen für die Europäische Union gehen ebenfalls davon aus, dass bei optimaler und gezielter Nutzung der Informations- und Kommunikationstechniken eine Reduktion der Treibhausgasemissionen in Höhe von rund 17% der Gesamtemissionen in der EU bis 2020 möglich ist (IPTS 2004). Besonders große Potenziale werden dabei in der Substitution physischer durch digitale Güter, bei IKT-basierten Dienstleistungen, der intelligenten Erzeugung und Verteilung von Strom sowie im Bereich des Gebäudemanagements gesehen. Andererseits machen die Studien auch deutlich, dass die Herstellung von IKT-Geräten (PCs, Notebooks, Fernseher etc.) und Infrastrukturen (Rechenzentren, Mobilfunknetze usw.) sowie deren Nutzung mit einem erheblichen Energie- und Ressourcenverbrauch verbunden ist. So werden die Emissionen, die 2007 allein mit dem Stromverbrauch von IKT-Geräten und Infrastrukturen in der Nutzungsphase verbunden waren, auf weltweit rund 2,1 Mrd. Tonnen CO₂eq geschätzt. In Deutschland beträgt der IKT-bedingte Stromverbrauch rund 55 TWh in 2007. Dies entspricht rund 33 Mio. Tonnen CO₂. Sollten in den kommenden Jahren über die ohnehin am Markt zu beobachtenden Energieeffizienzsteigerungen bei Geräten nicht erhebliche zusätzliche Anstrengungen unternommen werden, dann ist mit einem weiteren Anstieg des IKT-bedingten Stromverbrauchs auf 66 TWh bis zum Jahr 2020 zu rechnen

(IZM/ISI 2008). Wachstumsdynamik beim Gerätebestand, der rasant steigende Datenverkehr in Internet und Mobilfunknetzen, stetig neue Anwendungen und die Konvergenz bei den IKT-Dienstleistungen müssen aber nicht zwangsläufig zu einem Anstieg des Stromverbrauchs führen (Fichter 2009). Werden über die bereits laufenden Aktivitäten umfangreiche weitere Maßnahmen verfolgt, ist die Realisierung eines „Green in der IT“-Szenarios möglich, in dem der IKT-bedingte Stromverbrauch bis 2020 um mehr als die Hälfte reduziert werden kann (Fichter 2009, BCG 2009).

4. Potenzialanalyse: Informations-, Kommunikations- und Automationstechnik

Im folgenden werden die *Informations- und Kommunikationstechnik* (IKT) und die damit engverbundene *Automationstechnik* untersucht. Es handelt sich um besonders wachstumsintensive Querschnittstechnologien, die in allen Sektoren der Wirtschaft bis weit in die Konsumbereiche hinein Produkte, Dienstleistungen und Systemlösungen anzubieten haben, die Entwicklung neuer Waren und Dienstleistungen auf einer Vielzahl von Gebieten ermöglichen und auch im Hinblick auf eine ressourceneffiziente Wirtschaftsweise von größter Bedeutung sind. Dabei wirken die Informations-, Kommunikations- und Automationstechnologien zusammen mit einer Reihe von Basistechnologien, darunter der Material- und Werkstofftechnologie, der Steuer- und Leistungselektronik der Mikrosystemtechnik, den optischen Technologien, den Displaytechnologien, den Speichertechnologien und der Sensorik.

Abbildung 4-1: Informations-, Kommunikations- und Automationstechnik als Querschnittstechnologien



Die Potenzialanalyse basiert auf der Auswertung von Metastudien und Technologie-Roadmaps⁴. Dabei fokussiert die Studie auf vier besonders wichtige Strategiefelder für Ressourcenschonung und Materialeffizienz.

- (1.) Industrielle Automatisierung
- (2.) E-Logistik und Management
- (3.) Intelligente Produktnutzungssysteme
- (4.) Recycling

4.1 Industrielle Automatisierung

Status quo

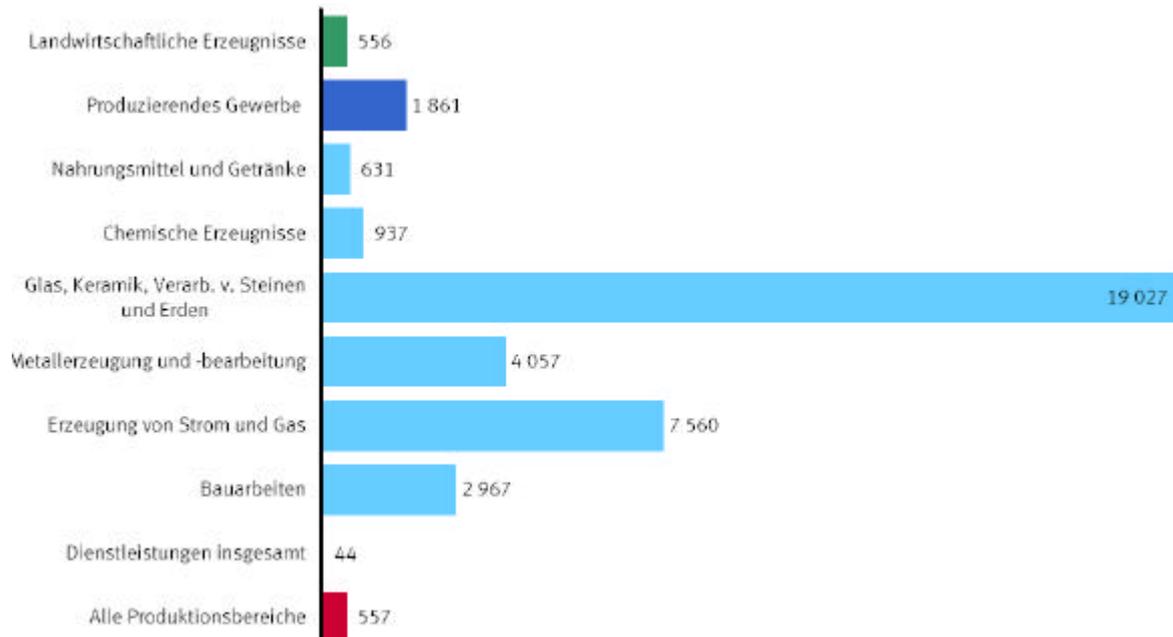
Von der Gesamtmenge der eingesetzten Primärmaterials in Deutschland in Höhe von 1.254 Mio. t (2007) entfallen 96,3% auf die Produktion (Statistisches Bundesamt 2009). Davon hat das Produzierende Gewerbe mit 90,0% den überwiegenden Anteil. Innerhalb des Produzierenden Gewerbes sind die bedeutenden Rohstoffverbraucher Glas, Keramik, Steine und Erden (20,5%), Bauarbeiten (21,1%), Strom und Gas (19,0%), Kokerei und Mineralölerzeugnisse (10,0) und Metallerzeugung (8,4%). Zusammen entfallen auf diese Produktionsbereiche fast 80% des verwendeten Materials. Innerhalb des Produzierenden Gewerbes sind dies (gemessen an der Bruttowertschöpfung) auch die materialintensivsten Bereiche (vgl. Abbildung 4-2).

Das Niveau der Energieintensität lag 2007 beim Produzierenden Gewerbe im Durchschnitt bei 9,9 MJ/EUR Bruttowertschöpfung. Besonders intensiv ist der Energieverbrauch bei der Metallerzeugung und -bearbeitung mit 46,1 MJ/EUR, der Herstellung Chemischer Erzeugnisse mit 39,0 MJ/EUR und der Herstellung von Glas , Keramik und Verarbeitung von Steinen mit 30,1 MJ/EUR. Was die CO₂-Intensität anbetrifft, liegt das Produzierende Gewerbe bei 0,95 kg CO₂ je EUR Bruttowertschöpfung. Auch die Erzeugung von Strom und Gas sowie Glasgewerbe, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden liegen prozessbedingt deutlich über dem Durchschnitt der CO₂-Intensität des Produzierenden Gewerbes.

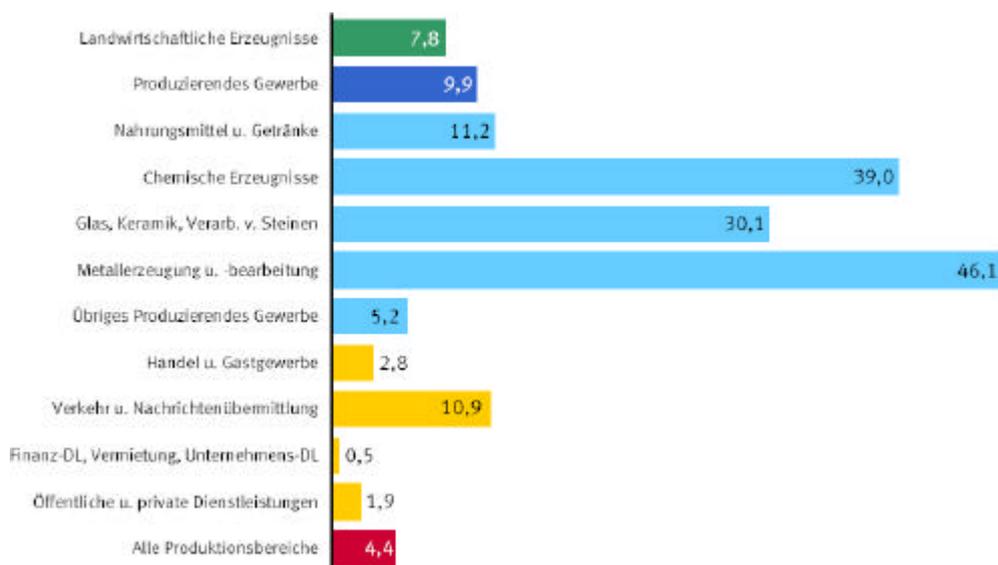
⁴ Hauptquellen sind BCG: SMART 2020 Addendum Deutschland 2009; IPTS: The Future Impact of ICTs on Environmental Sustainability, Seville 2004; ZVEI: Technologie-Roadmap Automation 2015+, Frankfurt/M. 2006; ZVEI: Roadmap Automation 2020 + Energie 2009, Frankfurt/M. 2009; ZVEI Roadmap Automation 2020+ Wasser und Abwasser, Frankfurt/M., 2009, ZVEI Roadmap Automation 2020+ Megacities Frankfurt/M. 2010; Schippl, J. et.al.: Roadmap Umwelttechnologien 2020, Karlsruhe 2009

Abbildung 4-3: Ressourcenintensität nach Produktionsbereichen 2007

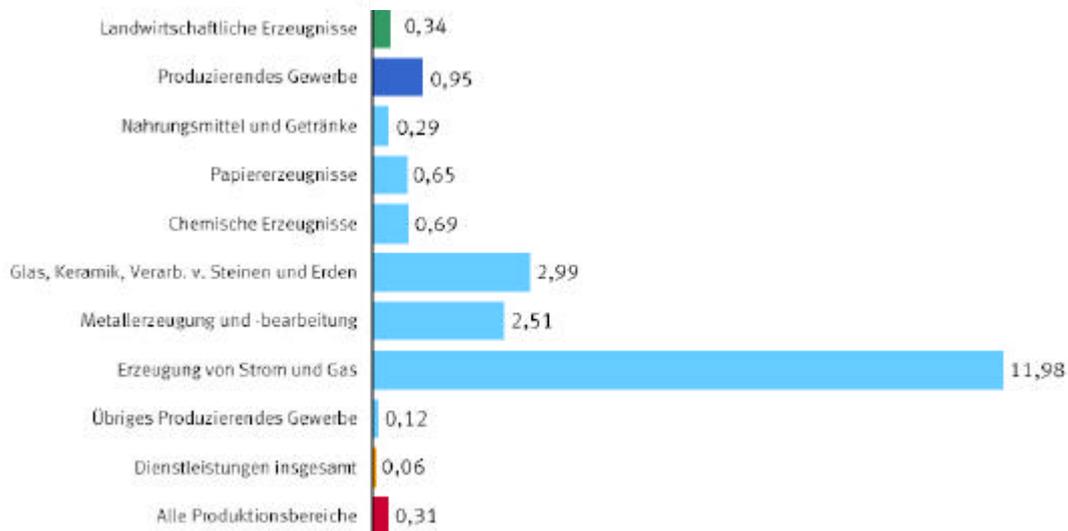
Materialintensität: kg Materialeinsatz je 1000 EUR Bruttowertschöpfung (jeweilige Preise)



Energieintensität in MJ je EUR Bruttowertschöpfung (jeweilige Preise)



CO₂-Intensität in kg CO₂-Emissionen je EUR Bruttowertschöpfung (jeweilige Preise)



Quelle: Statistisches Bundesamt, Umweltnutzung und Wirtschaft, 2009

Hinsichtlich der Dynamik ergibt sich ein heterogenes Bild. Zwischen 2000 und 2007 verzeichneten die Produktionsbereiche einen Rückgang der Materialmenge (abiotisch) in Höhe von insgesamt 84,7 Mio. Tonnen. Deutlich zurückgegangen ist der Materialeinsatz in den Bereichen Glas, Keramik, Steine und Erden (-128, Mio. t) sowie Bauarbeiten (-14,7 Mio. t), während bei der Erzeugung von Strom und Gas mehr Material (+24,8 Mio. t) eingesetzt wurde. Verglichen damit zeigten die anderen Produktionssektoren nur relativ geringe Zu- oder Abnahmen (Bundesamt für Statistik 2009). Auch bei der Energieintensität sind insgesamt nur geringe Veränderungen festzustellen. Zwischen 2000 und 2007 sank die Energieintensität um -8,2%. Besonders deutlich fiel der Rückgang in der Chemischen Industrie mit -22,3% und der Metallerzeugung und -bearbeitung mit -22,1% aus. Der Anstieg im Bereich Glas, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden ist im wesentlichen auf eine genauere Erfassung der Ersatzbrennstoffe im Verarbeitenden Gewerbe zurückzuführen. Bei CO₂-Emissionen wurde zwischen 2000 und 2007 insgesamt eine Verringerung um 42,5 Mio. t erreicht. Diese Reduktion wird durch die privaten Haushalte erzielt; die Emission der Produktion ist um 5,4 Mio. t gestiegen (Statistisches Bundesamt 2009).

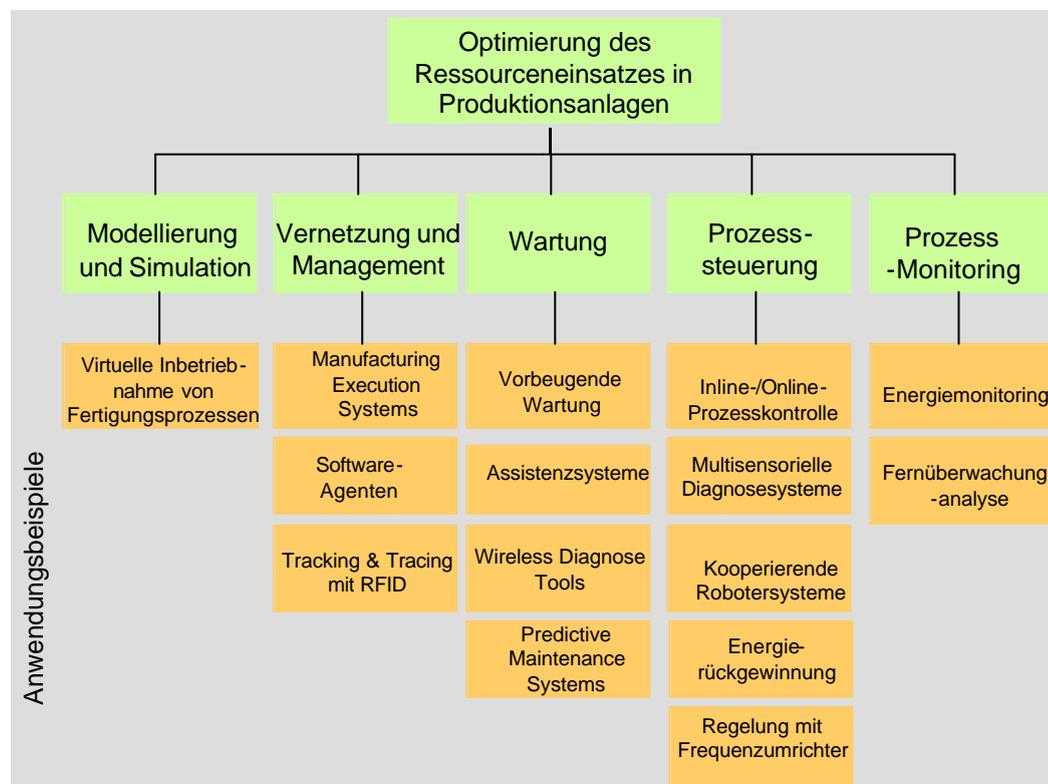
Die Veränderungen der Ressourceneffizienz sind das Ergebnis unterschiedlicher Einflüsse. So ist die Zunahme der Energieintensität bei den Branchen wie Verarbeitung von Steinen und Erden sowie im Papiergewerbe, darauf zurückzuführen, dass der Bruttowertschöpfungswert deutlich stärker sank als der

Energieverbrauch. Dieser Effekt tritt in rezessiven Phasen häufig auf, wenn ein veralteter Maschinen- und Anlagenpark unterausgelastet ist. In wachstumsstarken Phasen werden Anlagen erneuert und ausgelastet, weshalb die Energie- und Materialeffizienz steigt (Prognos 2009). Neben diesen konjunkturellen sind vor allem strukturelle Einflussfaktoren maßgeblich. So ist die Verringerung der Ressourcenintensität insbesondere auf einen Strukturwandel hin zu weniger material- und energieintensiven Sektoren (Engineering, Montage, Dienstleistungen etc.) zurückzuführen. Die Globalisierung hat außerdem dazu geführt, dass ressourcenintensive Produktionen teilweise in das Ausland ausgelagert wurden. Neben konjunkturellen und strukturellen Effekte spielen auch Innovationsfortschritte eine beträchtliche Rolle. Für den Zeitraum 1995 und 2006 zeigt eine Studie der Prognos AG technologiebedingte Nettoeinsparungen in Höhe von 512 PJ auf. Dies entspricht 20% des Endenergieverbrauchs der Industrie. Innovationstreiber sind dabei der Maschinen- und Anlagenbau, als der mit Abstand wichtigste Ausrüster der Industrie mit Investitionsgütern, als auch die Automations-, Informations- und Kommunikationstechnik, die intelligentes Messen, Steuern und Regeln ermöglicht, und damit die Ressourceneffizienz von Produktionsprozessen steigert.

Beiträge der Informations-, Kommunikations- und Automationstechnik zur Ressourceneffizienz

Zur Verbesserung des Ressourceneinsatzes in der Produktion lassen sich fünf Optimierungshebel identifizieren (vgl. Abbildung 4-4).

Abbildung 4-4: Optimierungshebel zur Steigerung der Ressourceneffizienz in der Produktion



Modellierung und Simulation

Durch Modellierung und Simulation können Prozessregelungen optimiert, Effizienzpotenziale erschlossen und der Ressourceneinsatz verbessert werden. Simulations- und Prognosemodelle werden für integrierte Planungs-, Steuer- und Regelungsstrategien benötigt. Dabei sind leistungsfähige Datenmanagementsysteme erforderlich, um komplexe Prozesse der Steuerung der Fertigung zu beherrschen. Bei der Konzipierung hochflexibler und mobiler Produktionsanlagen spielen komplexe Simulationssysteme und insbesondere die virtuelle Inbetriebnahme von Fertigungsprozessen eine zentrale Rolle. Schnelle Konfigurationswechsel – beispielsweise die Integration zusätzlicher Module oder die Änderung der Reihenfolge und des Timings von Arbeitsabläufen – werden mittels „intelligenter“ Software-Agententechnologie sowie Plug-and-Play-Funktionalitäten realisiert. Die Integration mobiler sowie räumlich weit verteilter Komponenten erfolgt mittels Wireless IT-Technik. Große Potenziale liegen im Bereich der Standardisierung - vor allem im Zusammenhang mit der Vertikalen Integration der Subsysteme - von der Feldebene bis zu Managementebene, der Implementierung von integrierten Simulationsmodellen sowie der Realisierung von selbstlernenden Systemen für die Ferndiagnose und Fernwartung. Hierbei spielen die Entwicklung einheitlicher Schnittstellen für die Subsysteme, die Entwicklung standardisierter Datenmodelle für Komponenten, Module und Anlagen sowie die Schaffung einheitlicher Diagnosetools und Programmumgebungen eine wichtige Rolle.

Vernetzung und Management

In der Produktion werden Informationen über den tatsächlichen Zustand der Anlagen und des Produktionsprozesses immer schneller und präziser benötigt. Da die eingesetzten produktionsnahen Softwaresysteme bislang jedoch noch nicht miteinander verbunden sind, müssen die Informationen aufwendig und zum Teil manuell zusammengeführt und interpretiert werden. Auf der Ebene zwischen Planungssystemen und Maschinensteuerungen entsteht eine neue Art produktionsnaher IT-Systeme, für die sich der Begriff „Manufacturing Execution Systems (MES)“ etabliert hat. Software-Agenten werden als vielversprechende Technologie gesehen, um MES-Komponenten miteinander zu verbinden. Langfristig wird eine vollständige vertikale Integration durch eine durchgängige Kommunikation in der so genannten „Automatisierungspyramide“ möglich: von der Feldebene über die Prozessebene und Leitebene bis hin zur Managementebene.

Wartung und Instandhaltung

Wartung und Instandhaltung sind Teil des Asset Managements der Unternehmen. Sie ermöglichen, dass Anlagen und Maschinen ihre maximal technische Lebensdauer erreichen. Damit werden sowohl Ressourcen geschont, als auch Abfälle vermieden. Wichtige Aufgaben sind die vorbeugende Wartung, die Detektion von Leckagen sowie die Entwicklung der Gesamtkonzeption. Aufgrund des steigenden Kostendrucks suchen Unternehmen zunehmend nach Möglichkeiten, die Kosten für Wartung und Instandhaltung zu reduzieren. So stehen Konzepte für eine vorbeugende Wartung zur Verfügung, die auf ein umfassendes Anlagenmonitoring aufbauen. Die Lagerhaltung von Ersatzteilen kann minimiert werden, wenn belastbare Vorhersagen über die Lebensdauer von Komponenten gemacht werden

können. Wird z.B. die Fehlerhäufigkeit von gleichen Bauteilen zentral analysiert, können bei einem Anstieg der Fehlerrate frühzeitig Bestellungen für schwer lieferbare Teile aufgegeben werden, die sonst immer auf Lager gehalten werden müssten. Wartungsintervalle können optimiert werden, wenn (echte) Betriebszeiten von Komponenten zentral erfasst und ausgewertet werden. Wartungskosten und Ausfallzeiten werden so reduziert. Wartungs- und Reparaturarbeiten können durch die zentrale Diagnose von Fehlerquellen effizienter gestaltet werden. Mit Hilfe von (selbstlernenden) Assistenzsystemen können für Reparaturaufträge Listen von möglichen Ersatzteilen erstellt werden, die für die Reparatur wahrscheinlich nötig sind und daher vom Reparaturteam gleich mitgenommen werden können. Mit Hilfe von Wireless Diagnose Tools können die Reparaturteams Vor-Ort direkten Zugriff auf Informationen vom Gesamtsystem erhalten und so Reparaturen effektiver ausführen. Langfristig könnten Spracheingabefunktionen die gleichzeitige Nutzung von Laptop / Diagnose Tool und Werkzeug zur Reparatur erleichtern. Eine Vision sind Predictive Maintenance (bzw. Condition Monitoring)-Systeme, die den Zustand von Anlagenteilen nicht nur aufgrund von Haltbarkeit und gemessener Einsatzdauer berechnen, sondern unterstützt durch Vor-Ort Sensoren Schlüsselindikatoren für Haltbarkeit und Verschleiß erfassen.

Prozesssteuerung

Möglichkeiten der Prozesssteuerung zur Steigerung der Ressourceneffizienz liegen einerseits in der Prozessauslegung, so dass die geeignetsten Aggregate und Verfahren eingesetzt werden. Andererseits geht es um die Optimierung der Prozessführung. Dabei werden alle Prozessinformationen ganzheitlich im Kontext bewertet und die optimale Strategie zur Erreichung des wirtschaftlichen Ziels ermittelt. In der Prozesstechnik, insbesondere beim Transport und der Umwandlung von Fluiden kann durch produktionsintegrierte Echtzeitmessung von Prozessparametern („Inline“ und „Online“) die Ressourceneffizienz verbessert werden. Vielfach erfolgt die Qualitätskontrolle vorwiegend im Anschluss an den Produktionsprozess. Gibt es Beanstandungen, so muss der Fehler in der vorgelagerten Produktionskette gesucht werden. Die fehlerhafte Ware wird entweder - ggf. unter Wert - veräußert, oder sie muss entsorgt werden. Die Inline-Qualitätskontrolle kann produktionsintegriert qualitätsrelevante Parameter erfassen, schleichende Qualitätsverschlechterungen proaktiv identifizieren und geeignete Gegenmaßnahmen einleiten. Multisensorielle Diagnosesysteme können ein wichtiges Element der Qualitätssicherung von Prozessen werden. Mit "Lab on Chip Systemen" können anhand kleinster Substanzmengen in annähernder Echtzeit Analysen vorgenommen werden. Kooperierende Robotersysteme bieten in der Fertigungstechnik die Möglichkeit, die Produktion nicht nur zu beschleunigen und zu flexibilisieren, und damit die Kosten zu senken, sondern auch die Materialeffizienz zu erhöhen.

Monitoring

Die kontinuierliche Erfassung und Überwachung der wesentlichen Material- und Energieverbräuche ist eine wichtige Voraussetzung zur dauerhaften Senkung der Material- und Energiekosten. Dabei zeigt sich, dass die Wahl der richtigen Messgröße zur Prozessbeurteilung den Ressourceneinsatz wesentlich beeinflussen kann. Häufig sind Kennlinien in Bereichen des optimalen

Ressourceneinsatzes nichtlinear. Bei ungenauer Messung oder fehlender Kenndaten wird häufig die „sichere“ Seite gewählt und setzt so mehr Ressourcen ein als erforderlich. Durch Erfassung relevanter Messwerte in Echtzeit, der Analyse der Prozesse und deren Überwachung durch Alarmierung bei Abweichungen von Zielwerten werden Einsparerfolge gesichert, dokumentiert und weiterentwickelt. Große Potenziale gibt es bei der Fernüberwachung und Anbindung dezentraler Anlagen an zentrale Leitwarten.

Insgesamt helfen diese Ansätze die Prozesse effizienter zu gestalten und Fehlproduktionen zu vermeiden. Dazu gehört das rechtzeitig erkannt wird, wenn Prozesse aus den Toleranzen abweichen. Materialeffizienz, Produktionsrecycling und die Rückgewinnung von Verlustenergie werden durch informations-, kommunikations- und automationstechnische Lösungen unterstützt. Entscheidend ist dabei, Prozessketten und Prozessstufen integriert zu betrachten und damit eine Vernetzung der Ressourcenkreisläufe zu erreichen.

Um die potenzielle Wirkung der Optimierungshebel zu illustrieren, werden diese für ausgewählte Anwendungsfelder beschrieben.

- *Virtuelle Inbetriebnahme von Fertigungsprozessen:* Die Umsetzung der „Digitalen Fabrik“ ist eines der wichtigsten Zukunftsthemen bei der Gestaltung der Fabrik, insbesondere in der Automobilproduktion wird die virtuelle Inbetriebnahme von Fertigungsprozessen verfolgt. In der „Digitalen Fabrik werden alle relevanten Prozesse mittels eines Netzwerkes digitaler Modelle simuliert, um Fertigungsprozesse virtuell in Betrieb zu nehmen. Die Realisierung automatisierter Fertigungszellen war bislang von einer relativ sequenziellen Arbeitsweise geprägt. Als Grundlage diente vielfach die mechanische Konstruktion, bei der für die Automatisierung alle Aktoren und der Prozessablauf definiert wurden. Diese Informationen wurden dann typischerweise in Papierform übergeben und für die Hardwareplanung und SPS-Softwareerstellung als Basis herangezogen. Die reale Steuerungstechnik konnte erst nach Fertigung der mechanischen Komponenten, Montage und Elektroinstallation realitätsnah getestet werden. Diese Defizite können zukünftig durch die virtuelle Inbetriebnahme aufgehoben und die Funktion einer Anlage vorab nachgewiesen werden. In Zukunft geht es darum, eine durchgängige Vernetzung und Synchronisation mehrheitlich heterogener Systemlandschaften in der Prozesskette zu realisieren. Die Rechnermodelle der Anlagen lassen sich in diesem Konzept wie reale Anlagen steuern. Programmier- und Ablauffehler können frühzeitig erkannt, Programme ohne Risiken für die reale Anlage getestet werden (z.B. die Überprüfung von Automatik- und Handbetrieb sowie von Verriegelungen). Mit einer einheitlichen Datenbasis für Mechanik und Elektrik kann zudem die Grundlage für ein gleichzeitiges, vernetztes Arbeiten der Konstrukteure und Steuerungstechniker geschaffen werden. Durch den frühzeitigen, fest definierten Austausch von Informationen kann eine höhere Datenqualität erzielt sowie der Konstruktionsprozess verkürzt und gleichzeitig zuverlässiger gestaltet werden. Hinzu kommt die Möglichkeit, an der virtuellen Anlage bereits das Bedienpersonal zu schulen, da schon im Stadium der virtuellen Inbetriebnahme die realen Bedien-

geräte zum Einsatz kommen können. Dies trägt neben der Verkürzung der Anlaufphase zur Fehlervermeidung und Qualitätssicherung bei, materialintensive Tests entfallen weitgehend.

- *Manufacturing Execution Systems (MES)* überbrücken die Lücke zwischen Anlagensteuerung und automatisierten Geschäftsprozessabläufen, indem Informationen über Produktionsaktivitäten erhoben und integriert aufbereitet werden. Dazu zählen auch Kostenaspekte, die Verknüpfung von Stammdaten mit Betriebsdaten und die Distributionsprozesse. Der Fokus liegt dabei in der Unterstützung kurzfristiger Planungs- und Steuerungsaufgaben im Spannungsfeld zwischen Kapazitäten, Kosten und Ressourcen. MES können die Ressourceneffizienz von Produktionsvorgängen optimieren, Produkte und Produktionslinien flexibilisieren (Mehrzweckanlagen, modulare Prozesse) sowie lückenlos die erzielte Produktqualität nachweisen (Traceability, Chargenverfolgung). MES kann daher eine Null-Fehler-Produktion unterstützen. Komponenten mit einem hohen Ausfallrisiko werden präventiv selektiert, Fehlermerkmale in Echtzeit detektiert und online visualisiert. Außerdem lassen sich ressourcenrelevante Qualitätsparameter (First Pass Yield, Yield, ppm-Fehlerrate etc.) ermitteln und abbilden. Einzelne Funktionen eines MES werden in vielen Anwendungen schon seit langer Zeit eingesetzt, beispielsweise für die Betriebsdatenerfassung, aber erst durch die Integration dieser Einzelfunktionen zu einem größeren Ganzen und durch die Möglichkeiten, die sich dann aus der Analyse und Verknüpfung der Daten ergeben, kann ein besonderer Nutzen generiert werden (Gonsior, VDI in Chemietechnik online, 3/2009). Der Stand der Einführung ist in großen Unternehmen tendenziell weiter als bei KMU. Eine Erhebung der Felten GmbH kommt zu dem Ergebnis, dass durch den Einsatz oder den Ausbau von Manufacturing-Execution-Systems einen Produktivitätsgewinn bis zu 25% erzielt werden kann⁵. In der Nahrungs- und Genussmittelindustrie liegt das Kostensenkungspotenzial durch die Bündelung von Lieferungen bei 15 bis 20 Prozent der gesamten Logistikkosten. Durch eine Rückverfolgung sorgt MES dafür, dass Qualitätsprobleme in den Fertigungsprozessen in Echtzeit festgestellt, Ursachen analysiert und Maßnahmen in einem kontinuierlichen Optimierungsprozess zeitnah bewertet werden können. Dadurch entstehen geringere Ausfallzeiten, Fehlproduktionen oder Qualitätsmängel. Gleichzeitig wird unnötiger Materialverbrauch vermieden.
- Potenziale für *Inline- und Online-Qualitätsbereiche* sind vor allem in der Nahrungsmittelindustrie, der Wasserwirtschaft und bei der stofflichen- und energetischen Nutzung von Biomasse festzustellen. Biomasse wird in anspruchsvollen bio- oder thermochemischen Prozessen verarbeitet, die teilweise aus der Pharmaindustrie, der Oleochemie oder dem Brauereiwesen bekannt sind. Bestehende AT-Komponenten aus der Chemieindustrie, dem Brauereiwesen, der Pharmaindustrie, der Mineralölindustrie, der Lebensmittelindustrie und der Landwirtschaft müssen in neue Systemlösungen integriert werden. Die Herausforderung besteht also darin, aufgrund der Analyse der Eingangsstoffe (Zuckergehalt, Stärkegehalt, Feuchte etc.) mit einem geeigneten Steuerungsmodell unter Echtzeit-Erfassung der Ist-Werte (Trübung, Vermischung,

⁵ <http://www.openautomation.de/830-0-studie-prozessindustrie-setzt-auf-mes-loesungen.html>

Temperatur, Alkoholgehalt etc.) die Prozesse zu regeln. Auf Kläranlagen können durch genauere und schnelle Abbildung der Stoffegänge und Stoffausgänge die energetische und stoffliche Nutzung des Klärschlammes verbessert werden. Wichtiger Bestandteil der entsprechenden Steuersysteme ist eine onlinebasierte Analytik, die optimale Einstellungen der Parameter im Faulbehälter hinsichtlich der Temperatur, der Beschickung und Umwälzung abbildet.

- *Energiemonitoring*: Ein automatisiertes und informations- und kommunikationstechnisch gestütztes Energiemonitoring ermöglicht die kontinuierliche Erfassung verschiedener Energiearten, wie Strom, Wasser, Gas oder Dampf. Vorteile ergeben sich durch die Verfügbarkeit der Energiedaten und die Transparenz aller Energieströme. Die Energiesparmöglichkeiten, die allein aus einem erhöhten Energiebewusstsein resultieren, liegen in der verfahrenstechnischen Industrie bei 8%. Zusätzlich lassen sich 20% durch die Analyse und daraus abgeleiteter Optimierungen erzielen (ZVEI 2009).
- *Energierückgewinnung*: Angesichts hoher Wirkungsverluste birgt die Rückgewinnung von Energie in Produktionsprozessen enorme Potenziale, die Ressourceneffizienz zu steigern und Kosten zu senken. AT-Lösungen unterstützen integrierte Energiemanagementsysteme für Gebäude, die temperaturabhängige Regelung der Wärmepumpe, die Überwachung der Durchflüsse und die Feststellung von Betriebs- und Störmeldungen (z.B. Leckagen). Ein weiteres Beispiel ist die Energierückgewinnung mittels Lasergasanalyzesysteme beim Ent- und Beladen von Tankschiffen. Dort entweichen nämlich umweltschädliche Kohlenwasserstoffgase und energiereiche Rohstoffe gehen dabei verloren. Mit einem System für das Recycling der Tankergase kann die Ressourceneffizienz deutlich verbessert werden, in dem mehrere im Prozess integrierte Lasersensoren in Echtzeit explosionskritische Sauerstoffgrenzwerte überwachen. In dem Verlade- und Lagerterminal für Erdöl in Kiire, in Japan, können auf diese Weise flüchtige Kohlenwasserstoffe mit einem Energieäquivalent von 127 Millionen Liter Rohöl im Jahr zurückgewonnen werden. Die Einsparung beträgt rund 4 Mio. EUR pro Jahr (ZVEI 2009).
- *Antriebe mit Frequenzumrichter*: Elektrische Antriebe und Motoren sind weit verbreitet. Sie finden sich in Industrieprozessen, in Gebäuden oder Infrastruktureinrichtungen wie Wasserwerken, Kläranlagen und Bahnhöfen. In der Industrie werden zwei Drittel des Stromverbrauchs durch elektromotorisch betriebene Maschinen verursacht. Würden moderne Techniken eingesetzt, ließe sich der Stromverbrauch um 27,5 Mrd. kWh pro Jahr reduzieren. Dies entspricht einem Einsparvolumen von 15% des gesamten industriellen Stromverbrauchs und hat einen Gegenwert von 2,2 Mrd. EUR Stromkosten jährlich. Rund 17 Mio. Tonnen CO₂ könnten eingespart werden. Prozessbezogenen liegen die Einsparpotenziale zwischen 20 und 50% der verbrauchten Energie. Die Amortisationszeiten der Modernisierungs- oder Austauschkosten belaufen sich auf ein bis vier Jahre. Zwei Beispiele verdeutlichen dies: „In der Papierindustrie konnte durch den Einsatz eines Frequenzumrichters der Energiebedarf eines Pulperantriebs mit 400 kW-Motor um 40% reduziert werden. Dem Investitionsvolumen von rund 65.000 EUR steht dabei eine jährliche Stromkosteneinsparung von 68.000 EUR gegenüber“. Bei einer

Abwasserpumpe in einer Kläranlage wurde die mechanische Drosselregelung durch eine moderne elektronische Drehzahlregelung ersetzt. Dadurch war bei der Motorleistung der Pumpe von 75 kW eine jährliche Stromkostensparnis von 13.760 EUR möglich, dem Gegenwert der erzielten Energieeinsparung von 172.000 kWh.“ (ZVEI 2008). Trotz der erheblichen Einsparpotenziale erhöht sich der Anteil von Frequenzumrichterantrieben aufgrund langer Reinvestitionszyklen bisher nur langsam. Der Anteil bei Neuinvestitionen liegt derzeit bei 25% (BCG 2009), tendenziell nimmt die Nachfrage nach Frequenzumrichterantrieben zu.

Einschätzung der Ressourceneffizienzpotenziale

Der Internationalen Energieagentur zufolge, „ist der Energieaufwand der meisten industriellen Prozesse um mindestens 50% höher als das durch die Gesetze der Thermodynamik ermittelte theoretische Minimum. Viele Prozesse haben eine weit niedrigere Energieeffizienz, und der durchschnittliche Energieverbrauch ist viel höher als der der besten verfügbaren Technologien“ (IEA 2006).

Erhebliche Potenziale zur Ressourcenschonung liegen in Sektoren mit hohem Material- und Energiedurchsatz. Extrem materialintensiv sind Glas, Keramik, Steine, Erden, die Metallherzeugung, die Erzeugung von Strom und Gas und die Bauarbeiten (UBA 2007). Branchen wie die Metallherzeugung, die Zementindustrie, die Grundstoffchemie und die Papier- und Zellstoffindustrie sind besonders energieintensiv. Die Energiekosten betragen bei komplexen Chemieanlagen durchschnittlich 20% der Produktionskosten, in der metallherzeugenden Industrie liegen die Energiekosten teilweise bei der Hälfte der Produktionskosten. Veränderungen des Material- und Energieeinsatzes in diesen ressourcenintensiven Produktionssektoren wirken sich deutlich auf die gesamtwirtschaftliche Rohstoffproduktivität aus.

Mengenmäßig dominieren nur wenige Grundstoffe. Allein Stahl und Zement sind für fast die Hälfte des Energieverbrauchs der weltweiten Industrie verantwortlich und erzeugen enorme Materialflüsse. Bisher konnte durch stetige Verbesserungen von Prozessen und Verfahren eine kontinuierliche Reduktion des Ressourcenaufwandes erreicht werden. Effizienzgewinne werden aber immer aufwändiger. So sind bei der Stahlherstellung bei den bestehenden Verfahrensrouten und –anlagen keine großen Sprünge mehr zu erwarten, wenn nicht durch umfangreiche Neuentwicklungen neue Prozessvarianten erreicht werden (Endemann et.al. 2010). Neuentwicklungen zielen beispielsweise auf Stahlproduktionsprozesse, die auf Kohlenstoff, Biomasse, Elektrolyte und Erdgas oder Wasserstoff basieren. Die laufenden Entwicklungen sind aber vielfach noch weit von der industriellen Realisierung entfernt. Große Durchbrüche werden bei einem Wechsel von den dominierenden Konverter-Hochöfen zu elektrischen Lichtbogenöfen erwartet, die pro Tonne Stahl nur ein Zehntel der Energie, ein Achtel des Wassers und weniger als ein Vierzigstel anderer Stoffe im Vergleich zum Konverter-Hochofen verbrauchen. Tendenziell ist damit zu rechnen, dass die Stahlerzeugung aus Schrott zunehmen wird. Die Anwendungen des Elektrostahts sind nicht mehr auf klassische Stab- und Baustähle beschränkt, sondern konnten mittlerweile auf große Stahlbleche und Edelstahlplatten ausgedehnt werden, was bis dahin als alleinige Domäne der Hochöfen galt. Die Geschwindigkeit der Umstellung hängt dabei

wesentlich von der Entwicklung des Weltschrottmarktes ab. Vor allem in den letzten Jahren konnte beobachtet werden, dass die große Nachfrage aus schnell wachsenden Ländern (emerging countries), wie China, den Weltschrottmarkt an seine Grenzen führt. Dies liegt insbesondere daran, dass Stahl bevorzugt in langlebigen Produkten und in Infrastrukturen verwendet wird. Die Rücklaufzeiten variieren von durchschnittlich 10 bis über 80 Jahre. Daher wird bei steigendem Stahlaufkommen die Elektrostahlproduktion in den nächsten 10 bis 20 Jahren vermutlich eher langsam zu steigern sein (Endemann et.al. 2010). Zusätzlich müssen die übliche Betriebsdauer sowie die Investitionszyklen der Anlagen in der Eisen- und Stahlindustrie berücksichtigt werden.

Merkbare Effizienzsteigerungen lassen sich auch über die Substitution durch andere Materialien erreichen. Beispielhaft ist die Zementindustrie, die weltweit zwischen 5% und 8% zu dem CO₂-Emissionen beiträgt; 2005 waren das ca. 1,8 Mrd. Tonnen. Inkrementelle Ressourceneffizienzsteigerungen sind technisch möglich, können aber die Ressourcen- und Klimabilanz nicht entscheidend entlasten. Schätzungen rechnen mit einem technischen CO₂-Einsparpotenzial von maximal 30%. Diskutiert und erprobt werden neue Zementtypen, z.B. solche, die auf Geopolymeren basieren. Mit der Einführung dieses Zementes wird die Erwartung verbunden, den Durchbruch zu einer „weitgehend klimaverträglichen Zementindustrie“ hinzubekommen (Weizsäcker et.al. 2010).

Generell ist festzustellen, dass zahlreiche aktuelle Forschungsvorhaben sich mit richtungsweisenden Neuentwicklungen der Produktionsprozesse für die Herstellung von Grundstoffen beschäftigen und ein Entwicklungsschwerpunkt vieler Unternehmen sind. Der Status reicht von Machbarkeitsstudien und Technikumsversuchen bis hin zu kommerziellen Maßstabsvergrößerung von Pilotanlagen. Die Hauptaufgaben liegen in der werkstofflichen Weiterentwicklung und verfahrenstechnischen Optimierung der Prozesse. Sie können durch Informations-, Kommunikations- und Automationstechniken unterstützt werden, beispielsweise durch Energieüberwachungs- und Managementsysteme für die Energierückgewinnung, Optimierung der Metallausbringung aus primären und sekundären Rohstoffen, verbessertes Wärmemanagement bei Hochtemperaturprozessen, die vorbeugende Wartung der Anlagen, Prozesskontrolle, Qualitätssicherung oder vertikale Integration.

Bei der *Herstellung von Gütern* gibt es ebenfalls ein erhebliches Einsparpotenzial. Effizienzsprünge sind durch solche Innovationen zu erwarten, die zu neuen Produkten, Systemen und Lösungen führen. Aus Technologie- und Industrie-Roadmaps lässt sich eine Reihe neuer Optionen identifizieren. Sie sind in Abbildung 4-4 aufgeführt.

Abbildung 4-5: Neue Paradigmen der Güterproduktion

Neue Paradigmen	Kernelemente
Fehlerfreie/ Verlustfreie Produktion	Ganzheitliche Planung und Optimierung: Die Ressourceneinsparungen sind stark branchen- und von den Rahmenbedingungen abhängig. Durchschnittlich kann mit 20 bis 30% gerechnet werden.
Downsizing von Anlagen	Verringerung der Komplexität von Anlagen, um dadurch die Kosten zu senken und die Wettbewerbsfähigkeit zu erhöhen. Es geht darum, sich auf das technisch Notwendige zu beschränken und nicht mehr alle technischen Möglichkeiten auszureizen (Standardisierung, Modularisierung). Erhöhung der Flexibilität und Mobilität von Anlagen
Mehrgenerationenplanung	Datenmigration in neue Systemgenerationen
Prozessintegrierte Echtzeitmessung	In der Prozesstechnik, insbesondere beim Transport und der Umwandlung von Fluiden, wird die nachgeschaltete Analytik durch produktionsintegrierte Echtzeitmessung von Prozessparametern abgelöst.
Virtuelle (Digitale) Fabrik	In der „Virtuellen Fabrik“ werden alle relevanten Prozesse mittels eines Netzwerkes digitaler Modelle simuliert, um z.B. Fertigungsprozesse virtuell in Betrieb zu nehmen. Das Leitbild erstreckt sich vom FuE-Bereich über die Produktion bis zur Wartung, Instandhaltung und Logistik sowie Schulung und Training. Auch die komplette reale Produktion wird mit allen relevanten physikalischen Eigenschaften (Druck, Temperatur etc.) in den Simulationsmodellen in Echtzeit abgebildet.
Vorbeugende Wartung	Wartungen auf Basis der realen Nutzung. Vermeidung zu früher, zu später oder unnötiger Instandhaltungsmaßnahmen.
Flexible und modulare Anlagenkonzepte	Erhöhung der Flexibilität und Mobilität von Anlagen
Wertschöpfungsketten- übergreifende Vernetzung von Stoffflüssen	Schnittstellenoptimierung in Wertschöpfungsketten für eine verbesserte Ausnutzung von Ressourcen
TCO	Nicht mehr die Höhe der Investition, sondern die Minimierung der Betriebskosten über die gesamte Lebensdauer wird entscheidungsrelevant. Die Gesamtlebenszykluskosten („Total Cost of Ownership“ – TCO) bilden mehr und mehr die Grundlage von Kaufentscheidungen für Werkzeugmaschinen.
Betreiben statt Verkaufen	Pay on production: Maschinen werden nicht verkauft, stattdessen übernimmt der Maschinenhersteller die Produktion im Rahmen eines Betreibermodells. Bei Chemikalienleasing wird die klassische mengenbezogene Bezahlung von Chemikalien durch eine nutzenorientierte Bezahlung ersetzt.

Eine übergreifende Leitorientierung ist die *fehlerfreie* und (weitergehend) *„verlustfreie Produktion“*. Kernelemente sind die verbesserte Qualitätssicherung, die Verbesserung der Energie- und Materialeffizienz in der Prozessführung, die Verkürzung von Prozessketten und die Prozessintegration sowie die Koppelung von Abfallentsorgung und Sekundärrohstoffherzeugung. Steigerungen der Ressourceneffizienz richten sich auch auf ressourceneffiziente Versorgungssysteme und -strukturen der Fabrik. Eine vernetzte Analyse, Planung und Konzeption existiert bis dato kaum. Versorgungssysteme werden heute größtenteils unabhängig von anderen Versorgungs- und Produktionssystemen projektiert. Um Effizienzsprünge der Ressourceneffizienz zu erzielen, werden systemische Ansätze zur ganzheitlichen Planung und Optimierung der Versorgungssysteme und -strukturen notwendig (fhg 2009). Dadurch lassen sich Synergien nutzen, um ressourceneffiziente

Produktions- und Versorgungsstrukturen in Fabrikationsanlagen aufzubauen. Ein Beispiel liefert die „Integrierte Fertigung von Fotovoltaikzellen“.

Fallbeispiel: Integrierte Fabrikation von PV-Solarzellen

Die Fotovoltaikindustrie ist eine relativ junge Branche. Sie hat sich in den letzten Jahren zu einem profitablen, schnell wachsenden Leitmarkt entwickelt. Bislang konzentrierten sich die Fotovoltaikhersteller, insbesondere in Europa, vor allem auf technologische Aspekte, um Kosten zu reduzieren. Die Produktionstechnik hat vielfach nicht diese Aufmerksamkeit bekommen. Ihre Entwicklung erfolgte über viele Jahre weitgehend in Eigenregie der Hersteller, teilweise auch in Zusammenarbeit mit Anlagenbauern. Damit konnten die Ausbeuten kontinuierlich erhöht, der Energie- und Wasserverbrauch verringert und Kosten gesenkt werden. Um den Durchsatz spürbar weiter zu erhöhen und die Qualität zu verbessern, vollzieht sich ein Paradigmenwechsel hin zu automatisierten und integrierten Fertigungskonzepten für Fotovoltaik: Siliziumherstellung, Glasproduktion und Modulfertigung rücken näher zusammen und werden in wesentlich größerem Maßstab realisiert. Durch Konzentration, Integration und Ausweitung der Fertigungseinheiten werden Ressourceneffizienzsprünge möglich. Erste Konzepte zur Errichtung von Giga-Watt-Fabriken hat der Engineering-Konzern M+W-Zander (2008) vorgelegt, die die Integration der Fertigung unter einem Dach vorsehen. Es überträgt Erfahrungen aus der Automobil- auf die Fotovoltaikindustrie. Die Produktionsanlagen sind vertikal integriert, automatisiert werden Ingot- und Glasfertigung. Die Versorgung mit Chemikalien, Gasen und Reinstwasser erfolgt zentral nach der jeweiligen Funktion. Das spart zum einen Transport und die Margen der Zwischenstufen, außerdem sollen durch eine Optimierung des Produktionsprozesses und des Recyclings der Wasserverbrauch, die benötigten Prozesschemikalien und die erforderliche Energie erheblich gesenkt werden. So wird das Wasserrecycling durch die Größe der Anlage einfacher und teilweise erst wirtschaftlich. Die Reduzierung des Wasserverbrauchs könnte bis zu 60% betragen. Weitere Einsparpotenziale bestehen etwa durch Einsatz von Blockheizkraftwerken. Diese Kraftwerke nutzen bei der Stromproduktion anfallende Wärme, um zusätzlich Dampf, Heiß- und Kaltwasser („Trigeneration“) zu erzeugen. Ein wichtiges Element bei diesem Fabrikdesign sind Online-Lösungen für eine effizientere Prozesskontrolle und -optimierung, was sowohl Ressourcen als auch Betriebskosten reduzieren hilft. Außerdem wichtig sind Hochgeschwindigkeitssysteme, die das Handling der Zellen auf der Basis fortentwickelter Greifertechnologien und visueller Bildverarbeitungssysteme verbessern, was bedeutet, den „stressfreien“ Umgang mit immer dünneren Wafern mit höheren Taktzeiten in Einklang zu bringen und damit die Bruchrate zu verringern, die derzeit erheblich zu Abfällen führt (50%). Die Smart Integrated Factory wäre somit ein wichtiger Meilenstein auf dem Weg zu einer materialeffizienten und ressourcenschonenden Massenproduktion von Fotovoltaik.

Reichweite und Umsetzungsstand der anderen Ansätze sind deutlich unterschiedlich. *Downsizing* von Anlagen, *Mehrgenerationenplanung*, *vorbeugende Wartung* und *prozessintegrierte Echtzeitmessung* sind Trends. Die „Virtuelle Fabrik“ ist bereits in Ansätzen realisiert, als umfassender Ansatz aber noch Vision. Forschungs- und Entwicklungsaufgabe ist die *Wertschöpfungsketten-übergreifende Vernetzung von Stoffflüssen* aus verschiedenen Industriebereichen und Schnittstellenoptimierung in Wertschöpfungsketten für eine verbesserte Ausnutzung von Ressourcen. Von besonderer Bedeutung ist, dass die Industrie damit rechnet, dass die bereits seit langem diskutierte „*Total cost of ownership*“ zunehmend zum entscheidenden Kriterium für Anschaffung von Produktionsmaschinen und Anlagen wird. Neben der Betrachtung der Investitionskosten könnte deshalb zukünftig verstärkt der Energie- und Materialverbrauch im laufenden Betrieb bei der Kaufentscheidung berücksichtigt werden. Dies eröffnet neue Möglichkeiten für die beschleunigte Diffusion ressourceneffizienter Maschinen und Anlagen. Ein Vorreiter ist hier die Automobilindustrie.

Für die Steigerung der Ressourceneffizienz sind neben der Produktion von Gütern die verschiedenen Versorgungs- und Entsorgungsstrukturen bedeutsame Felder zur Ressourcenreduktion. Beispielsweise im Bereich der Wasserver- und -entsorgung. Hier beschäftigen sich immer mehr Wasserbetriebe mit der Frage, wie sich die Energieeffizienz ihrer Infrastrukturen verbessern lässt und wie sich der anfallende Klärschlamm stofflich und energetisch verwerten lässt. Damit vollzieht sich ein Paradigmenwechsel vom Klärschlamm Entsorgungs- zum Ressourcenmanagementsystem. Stand bisher die sichere und energieoptimierte Kläranlage im Vordergrund, geht es zukünftig um Kläranlagen als Produzent von Energie und Nährstoffen. Folgende Trends und Potenziale sind für dieses Fallbeispiel kennzeichnend:

Fallbeispiel: Kopplung von Abwasser-, Energie- und Abfalllösungen

Wasserbetriebe haben einen erheblichen Bedarf an elektrischer Energie. Alleine die kommunalen Kläranlagen in Deutschland benötigen pro Jahr etwa 4 TWh Strom. Steigende Energiekosten werden den Druck auf die Wasserbetriebe erhöhen, die vorhandenen Anlagen energieeffizienter zu fahren. Daher gewinnen energiesparende Anlagen und Komponenten an Bedeutung. Es wird geschätzt, dass durch Energiesparmaßnahmen und Optimierung des Betriebes bis zu 25% des gesamten Stromverbrauchs von Kläranlagen eingespart werden können¹⁵.

Die Schlammfäulung zur Gewinnung von Biogas zur Strom- und Wärmeerzeugung gewinnt an Bedeutung. In Deutschland waren die Kläranlagen im Jahr 2006 mit 1,3% an der Stromerzeugung aus regenerativen Energien beteiligt. Durch Ausrüstung aller 2200 großen Kläranlagen (größer als 10.000 Einwohnerwerte) mit Blockheizkraftwerken und durch Optimierung der vorhandenen Anlagen könnte die Stromproduktion aus Klärgas verdoppelt werden. Hierzu müssten staatlicherseits Anreize geschaffen werden, die die Schlechterstellung von Klärgas gegenüber Biogasstrom im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) aufheben.

Um die Faulgasproduktion auf einem Klärwerk zu steigern, wird versucht durch Zugabe von Co-Fermentaten einen höheren Energieertrag zu erzielen. Die Stromerzeugung aus den entstehenden Gasen könnte so um mehr als 25 % gesteigert werden, ohne dass wesentliche bautechnische Veränderungen erfolgen müssten¹⁵. Angesichts der zunehmenden Verarbeitung nachwachsender Rohstoffe, insbesondere im Non-Food-Bereich, und bei rückläufigem Nutztierbestand ist zukünftig mit einer wachsenden Menge an für eine Co-Fermentation geeigneten Stoffen zu rechnen.

Ein Hauptaugenmerk der Abwasserreinigung gilt der Lösung der Schlamm Entsorgung. Auch hier ist die Schlammfäulung bedeutsam, weil sie die Schlammmenge auf die Hälfte reduziert. Die weltweit größte Fäulungsanlage entsteht derzeit in Shanghai für 4,3 Millionen Einwohner. Da in einigen Ländern die landwirtschaftliche Ausbringung des verbleibenden Schlamms rückläufig ist, gewinnt dort die thermische Verwertung an Bedeutung. Dazu wird der Schlamm getrocknet. Für die Strom- und Wärmegewinnung werden besondere Vergasungs- und Verbrennungstechnologien eingesetzt.

Weitergehende Konzepte zielen auf eine „energieautarke“ Kläranlage. Möglich wird dies durch eine Kombination verschiedener Maßnahmen, insbesondere der „Rückkehr“ zu anaeroben Verfahren als Energielieferanten (Faulgas), der Optimierung energieverbrauchender Systeme (z.B. Belüftung), der Abwasserwärmenutzung und durch neue energieeffiziente Behandlungs- und Reinigungsverfahren. Solche energieautarken Kläranlagen existieren schon heute, wie die Kläranlage Grevesmühlen in Mecklenburg-Vorpommern, die inzwischen einen Stromüberschuss produziert, der in das örtliche Netz eingespeist wird, oder das Klärwerk Strass in Österreich und das Klärwerk Balingen in Baden-Württemberg.

Potenziale bietet die Energierückgewinnung aus Abwasser: Dabei wird mit Hilfe von Wärmetauschern und Wärmepumpen dem Abwasser Wärmeenergie entzogen und zur Beheizung von Gebäuden, zur Warmwasseraufbereitung und zur Erzeugung von Kaltwasser für die Klimatisierung genutzt. Innerhalb von Industrieprozessen und größeren Gebäuden wird die Wärmerückgewinnung von Wärmeenergie aus Abwasser bereits praktiziert. Das bisher nicht genutzte Wärmepotenzial ist sehr groß: pro Tag fallen in Deutschland rund 40 Mio. m³ Abwasser an. Durchschnittlich lassen sich aus 1 m³ Abwasser 2 bis 3 kWh Heizenergie gewinnen. Bei 10°C bis 15°C (im Januar und Februar) könnten ca. 5% bis 10% aller angeschlossenen Haushalte mit dieser Wärme versorgt werden. Allein in Deutschland wird das Marktpotenzial auf 10 Mrd. € geschätzt.

Seit einigen Jahren werden Möglichkeiten zur Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm entwickelt und erprobt. Auf Kläranlagen wird mit einer Phosphor-Fracht von ca. 1,8 g Phosphor pro Einwohner und Tag gerechnet. Der Phosphor verbleibt mit wechselnden Bindungsformen im Kreislauf und findet sich somit im Kläranlagenablauf, in der Abluft (N₂, CO₂) und zum größten Teil (ca. 90 %) im Klärschlamm wieder. Phosphorrückgewinnung ist bereits im Abwasser (Gelbwasser) möglich, in der Praxis wird sie jedoch in den unterschiedlichen Schlammphasen auf Klärwerken realisiert. Das Phosphor-Rückgewinnungspotenzial auf Kläranlagen beträgt je nach Verfahren bis zu 92%. Rund 50% davon können durch einfache Fermentation aus Überschussschlamm rückgewonnen werden. Die Phosphorelimination ist gesetzlich vorgeschrieben. Insgesamt könnten rund 40 % des Phosphorbedarfs in der Landwirtschaft durch die Rückgewinnung des Phosphors aus dem Klärschlamm gedeckt werden

Informations-, Kommunikations- und Automationstechnik ermöglicht und unterstützt diese Trends. In den letzten Jahren haben sich im Bereich der energetischen Klärschlammnutzung unter anderem durch die Weiterentwicklung der rechnerischen Simulation des Belebungsverfahrens, die Bereitstellung günstiger Online-Messsonden und die Einbindung internetgestützter Kommunikation neue Möglichkeiten der Regelung biologischer und betrieblicher Prozesse ergeben. Dazu gehört auch die Fuzzy-logic-Regelung der Belüftung auf der Basis von Redox-, Potenzial- oder Nitrat- und Ammonium-Messungen. Großanlagen setzen schon seit längerem Online-Messtechnik ein. Zukünftige Automatisierungsbedarfe liegen bei der Messtechnik, der Online-Analytik und der Prozesskontrolle. Zusätzliche Anforderungen bestehen hinsichtlich der betriebssicheren AT-Technik und der Simulation. Leistungsfähige Simulationsmodelle und Software sind erforderlich, um die komplexen Klärschlammprozesse zur Klärgaserzeugung abzubilden. Simulationssysteme können dazu eingesetzt werden, den Zulauf und damit die Zusammensetzung der Stoffströme auf der Kläranlage zu verbessern.

Jenseits von Einzelbeispielen oder Branchenlösungen interessieren hier Gesamtpotenziale. Verschiedene Studien (IPTs 2004, BCG 2009, ZVEI 2009, Roland Berger 2009) lassen darauf schließen, dass das Ressourcenminderungspotenzial durch Informations-, Kommunikations- und Automationstechnik erheblich ist. Allerdings variieren die Potenzialeinschätzungen, weil sie nicht einheitlich definiert sind und verschiedene Daten, Annahmen und Methoden eingesetzt wurden (vgl. Tabelle 4-1).

Das Institute for Prospective Technological Studies (IPTs) schätzt für die EU das Energieeinsparpotenzial der IKT in der Produktion bis 2020 auf 2,5% des Gesamtprimärenergieverbrauchs. Die Studie basiert auf einer komplexen Wirkungsanalyse und bezieht sowohl direkte als auch indirekte Umwelteffekte mitein. Das maximale CO₂-Minderungspotenzial beträgt 2,6%. Darüber hinaus hilft die Informations- und Kommunikationstechnik die Materialeffizienz zu verbessern. Der Beitrag von IKT in der Produktion zur Reduzierung des Materialdurchsatzes durch die Volkswirtschaft wird für die EU bis 2020 auf bis

zu rund 4% berechnet. Damit würden auch die Gütertransportleistung sowie die Haushalts- und hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle um bis zu rund 4 % sinken (IPTS 2004).

Für die Prozessindustrien in Deutschland beziffert der Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie (ZVEI) das Energieeinsparpotenzial auf bis zu 15%. Dies entspricht rund 50 Mrd. kWh Energieäquivalente an Strom und Primärenergieträgern und 20 Mio. t CO₂eq, die durch Prozessautomatisierung eingespart werden könnten. Durch den intelligenten Einsatz von Energiespartmotoren und elektronischer Drehzahlregelung ergibt sich ein Einsparpotenzial von 38 Mrd. kWh, was 23 Mio. t CO₂ entspricht (ZVEI 2009). In Summe können somit in den Produktionsanlagen der Industrie durch Automatisierungstechnik rund 88 Mrd. kWh eingespart und damit 43 Mio. t CO₂eq jährlich reduziert werden.

Die Boston Consulting Group (BCG) berechnet in der Studie Smart 2020 das theoretische Einsparpotenzial für den Bereich „Smart Motors“, der über die Industrielle Systemautomatisierung hinaus Frequenzrichterumtriebe und die Betriebsoptimierung der Kraftwerke umfasst, auf 42 TWh pro Jahr in Deutschland. Dies entspricht 26,4 Mio. t CO₂eq. Davon könnten rund 23 Mio. t CO₂eq marktgetrieben ausgeschöpft werden, was rund 2,8% der Gesamtemissionen ausmacht. Allein der Anteil der industriellen Systemautomatisierung liegt bei 5,61 Mio. t CO₂eq (BCG 2009).

Durch den Einsatz innovativer Maschinen- und Anlagen rechnet die Unternehmensberatung Roland Berger auf Basis einer Befragung von Hersteller- und Anwenderindustrien in den nächsten zehn Jahren mit Energieeinsparungen in Höhe von 325 TWh jährlich. Dies entspricht einer Energiekosteneinsparung von 12,5 Mrd. EUR und damit fast 40% der Energiekosten der betrachteten Branchen des Produzierenden Gewerbes (Roland Berger 2009).

Tabelle 4-1; Ressourceneffizienzpotenziale in der Fertigung, verschiedene Abschätzungen

Studien	IPTS 2004	ZVEI 2009	BCG 2009	Roland Berger 2009
Rahmen	IKT, Produktion	Prozessautomation, Prozessindustrien	Smart Motors: Industrielle Systemautomatisierung, Kraftwerke	Maschinen- und Anlagenbau in Industrie und Energiesektor
	EU 2000-2020	Deutschland 2020	Deutschland 2020	Deutschland 2020
	IKT „freeze“ Simulation	Hochrechnung	Business as usual Projektion	Hersteller/Anwenderbefragung
Energie	bis -2,5%	bis -88 TWh	k.A.	bis -325 TWh
CO ₂ eq	bis -2,6%	bis -43 Mio. t	bis -26,4 Mio. t	bis -198 Mio. t
Abfälle	bis -4,1%	k.A.	k.A.	k.A.

4.2 E-Logistik und Management der Wertschöpfungsnetze

Status quo

Electronic Business (E-Business) beschreibt vielfältige Formen der elektronischen Geschäftsabwicklung über Kommunikationsnetze und revolutioniert die Art und Weise, wie Firmen und Menschen miteinander und untereinander Handel treiben und Wertschöpfung organisieren. Die Vernetzung der Wertschöpfungskette vom Rohstofflieferanten bis zum Endkonsumenten spielt dabei eine zentrale Rolle und ist Grundlage für verbesserte Effizienz und neue Dienstleistungen.

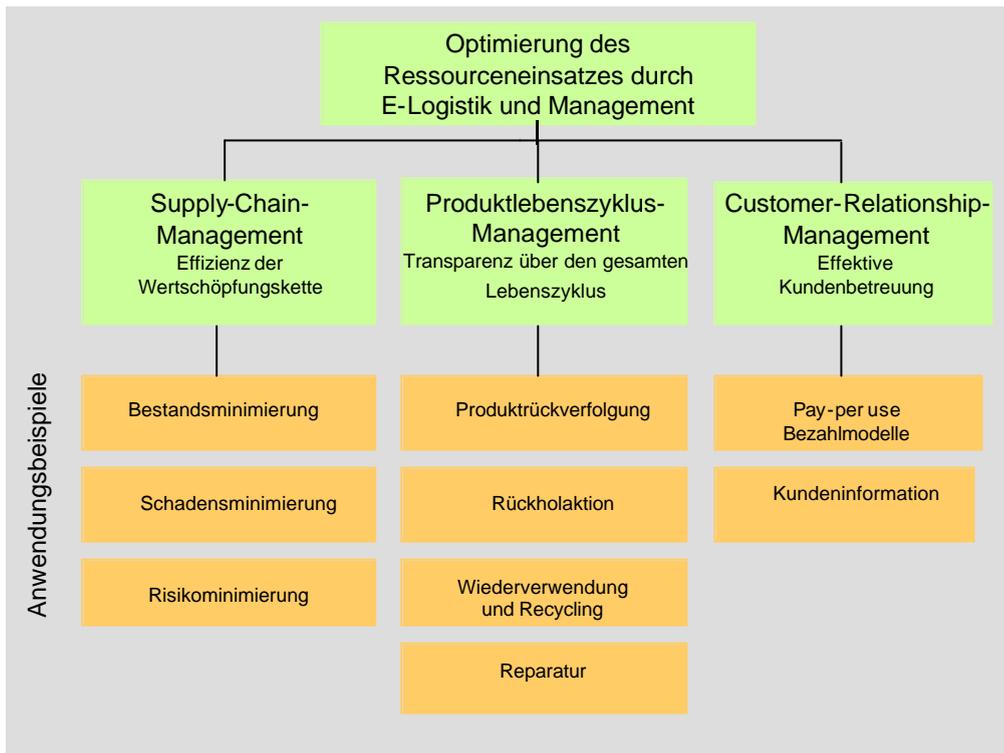
Das E-Business umfasst mittlerweile alle Wirtschaftszweige, unternehmensinterne wie zwischenbetriebliche Anwendungsgebiete. Die Verbreitung des E-Business und die damit verbundenen neuen Geschäftsmodelle führen zu tiefgreifenden Veränderungen in den Wertschöpfungsprozessen, insbesondere in der Art und Weise, wie Wirtschaftssubjekte in Wertschöpfungs- und Innovationsnetzwerken zusammenarbeiten. Es entstehen neue Produkte und Dienstleistungen, neue Anbieter und Intermediäre treten auf, Rollen und Arbeitsteilung der Unternehmen verändern sich schnell und tiefgreifend, Preis-, Mengen- und Qualitätsinformationen sind einfach verfügbar und vergleichbar. Die Dynamik der Nutzung des Internets speist sich in starkem Maße durch die Medienkonvergenz, das Zusammenwachsen der Informations-, Telekommunikations-, Automations- und Rundfunktechnologie. Ein äußerst schnell wachsendes Segment des E-Business sind mobile Multimediadienste. Angesichts der rasanten Entwicklungen in der Mobilfunktechnologie und der generell anhaltenden Dynamik der Informations- und Kommunikationstechnologien erfolgt derzeit ein Innovationssprung hin zu vielseitig einsetzbaren mobilen Multimediadiensten. Elektronischer Geschäftsverkehr wird aller Voraussicht nach schon in naher Zukunft zu einem erheblichen Teil als Mobile Business (M-Business) abgewickelt werden und E-Commerce könnte insbesondere im Business-to-Consumer-Bereich zukünftig zu einem maßgeblichen Teil über Handys und andere mobile Endgeräte als Mobile Commerce (M-Commerce) abgewickelt werden.

Die Nutzung des Internets trägt zu einer massiven Veränderung der Unternehmensorganisation und der Handelsstrukturen zwischen den Unternehmen bei. Insbesondere vom Electronic Procurement und vom internetunterstützten Supply-Chain-Management versprechen sich Unternehmen weitgehende Optimierungen. Neue Impulse werden von Internetlösungen für die Kundeneinbindung erwartet. Bislang sind Ressourceneffizienzfortschritte durch E-Logistik in der Regel nicht-intendierte zufällige Nebeneffekte, da Telekommunikation und Internet vorrangig zur Optimierung von Geschäftsabläufen und zur Sicherung oder Erschließung von Märkten genutzt werden.

Beiträge der Informations-, Kommunikations- und Automationstechnik zur Ressourceneffizienz

Für die Ressourcenproduktivität sind das Supply-Chain-Management, das Produktlebenszyklus-Management und das Customer-Relationship-Management relevante Optimierungshebel.

Tabelle 4-2: Ressourceneffizienzpotenziale durch E-Logistik und Management



Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Fleisch 2003

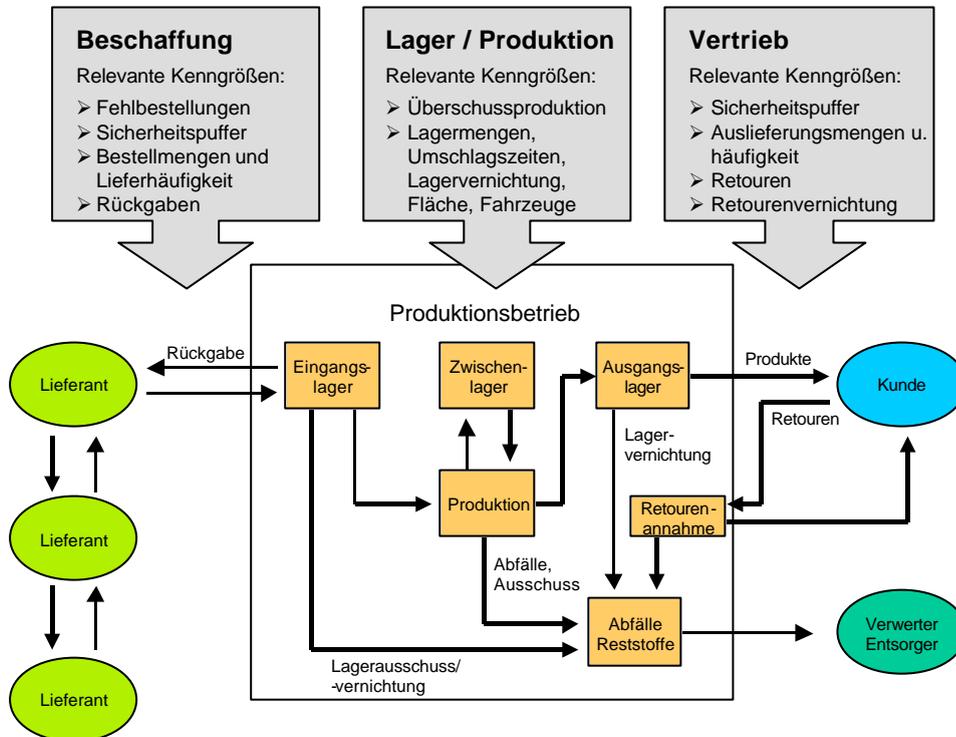
Supply Chain Management

Die Material- und Warenflüsse zwischen Unternehmen bzw. zwischen Unternehmen und Endkunden sind äußerst komplex und stark branchenabhängig. Für die Ressourcenproduktivität sind insbesondere die Veränderungen bei der Beschaffung, der Lagerhaltung und dem Vertrieb relevant. Abbildung 4-6 stellt (in vereinfachter Form) die Einflussgrößen dar.

Potenziale zur Erhöhung der Ressourcenproduktivität bestehen z.B. in der Lieferkette, wo z.B. Beschaffungsmengen, Lagermengen, Überschussproduktion und Fehlerquoten verringert werden können. So tragen produktbegleitende Informationssysteme auf der Basis der RFID-Technik zur Minimierung von Bestand, Risiko, Transport oder Schäden bei. Autoidentifikation mit RFID ermöglicht eine effizientere Logistik in Produktion und Distribution sowie das Tracking und Tracing jeglichen Gutes, wo immer Qualitäts- oder Sicherheitsfragen relevant sind. Die B2B-bezogenen Anwendungen haben ein hohes Anwendungspotenzial. Hier geht es in erster Linie um eine Effizienzsteigerung und Kostenreduktion der Geschäftsabläufe. Die Technik knüpft grundsätzlich an die Optimierungen der IKT der vergangenen Jahre an und führt diese fort. Durch Tags kann der Weg eines Produktes automatisch durch die gesamte Logistikkette hindurch bis zum Kunden verfolgt werden. Das Nachverfolgen von Gegenständen (Tracking), die automatische Sortierung und Erfassung lassen sich damit wesentlich effizienter, d.h. mit höherem Automatisierungsgrad, realisieren. Neue Anwendungsfelder ergeben sich durch wiederbeschreibbare Transponder. Sie ermöglichen die Produktionsüberwachung an Kontrollpunkten, die Qualitätssicherung durch Beschreiben des

Transponders nach jedem Fertigungsschritt und unterstützen die Fertigungssteuerung und Materialüberwachung.

Abbildung 4-6: Vereinfachtes Materialflussmodell und relevante Kenngrößen



Quelle: eigene Darstellung; Behrendt, S.; Würtenberger, F.; Fichter, K.: Falluntersuchungen zur Ressourcenproduktivität von E-Commerce, Berlin 2003

Elektronisch gestütztes Supply-Chain-Management trägt auch zur Schadensminimierung bei. So kann durch RFID die Überwachung der Kühlkette bei der Distribution von Lebensmitteln verbessert werden. Preisgünstige, in die Verpackung integrierte Sensoren für Temperatur und andere frische-relevante Parameter könnten das Überwachungsniveau der gesamten Kühlkette dadurch deutlich erhöhen, dass eine Temperaturoaufzeichnung an der Ware und nicht nur am LKW oder im Kühlhaus möglich ist. Transporte lassen sich auf diese Weise besser kontrollieren. Auf diese Weise ließe sich der Anteil unverkäuflicher Produkte im Lebensmittelbereich senken, der infolge von Beschädigungen oder abgelaufenem Haltbarkeitsdatum nach Industrieangaben bei ungefähr einem Prozent liegt. Insgesamt beträgt der Schaden durch Lebensmittelverderb etwa 5 Mrd. Euro pro Jahr in Deutschland.

Produktlebenszyklus-Management

Im Produktlebenszyklus-Management können E-Logistik und Management für optimierte Teilprozesse in den Bereichen Quellennachweis, Rückholaktion, Wartung, Reparatur, Recycling, Wiederverwendung oder Restwertabschätzung sorgen.

Produktstückverfolgung, Rückholaktion, Wiederverwendung und Recycling und Reparatur sind Teil des Produktlebenszyklus-Managements der Unternehmen. Informations-, kommunikations- und automationstechnologische Lösungen ermöglichen, dass Serienfehler frühzeitig erkannt, Wartungen und Reparaturen verbessert und Produkte ihre maximale technische Lebensdauer erreichen. Derzeit ist die Rückverfolgung von Produkten sowie von deren Bestandteilen größtenteils mit Hilfe des Barcodes auf Chargenebene beschränkt. Das Management der upstream- und downstream-Prozesse ist in vielen Bereichen noch ineffizient und zu wenig an Qualitätsparametern ausgerichtet, obwohl Transparenz und Nachvollziehbarkeit in der gesamten Wertschöpfungskette zunehmend gefordert werden. Integrierte Produktstückverfolgungslösungen ermöglichen die lückenlose Rückverfolgung aller Fertigungschargen in der Herstellungskette und erfassen zugehörige Materialbewegungen. Der Einsatz schafft zudem eine durchgängige Transparenz von Produktions- und Qualitätsdaten und führt somit im Ergebnis zu einer Optimierung der Produktionsprozesse. Für die nahtlose Identifikation von Gütern innerhalb Ihres Lagers oder über die gesamte Lieferkette hinweg existieren RFID-Systeme, die sich in MES-Systeme einbinden lassen.

Potenziale finden sich vor allem in der Entsorgungslogistik, im Dokumentenmanagement sowie in der Optimierung von Verwertungsprozessen. Dort ergeben sich unter anderem ressourcensparende Anwendungen in der besseren Identifizierung von Materialqualitäten, im Pfand-Clearing und in der Zerlegung von Elektronikschrott.

RFID-Systeme werden in der Reparatur zunehmend zur Prozessoptimierung und Qualitätssteigerung eingesetzt. Die laufenden Kosten können durch verbesserte Datentransparenz deutlich gesenkt werden. Ein Beispiel für ein elektronisch unterstütztes Produktlebenszyklus-Management sind Ferndiagnosesysteme im Fahrzeugbereich:

Bereits seit längerem werden Messdaten elektronisch über den Zustand von Fahrzeugen erfasst und zur Wartung und Reparatur genutzt. Während diese Daten bisher nur bei Werkstattaufenthalten ausgelesen werden, bieten mobile Übertragungswege neue Möglichkeiten der Fahrzeugwartung. Dazu werden Daten über den technischen Zustand direkt aus den Fahrzeugen heraus per Funk an entsprechende Servicezentralen übertragen. Nahezu alle Autohersteller wollen kurz- bis mittelfristig Fahrzeugferndiagnose-Systeme einführen, legen sich aber bezüglich konkreter Lösungen noch nicht fest, bevor nicht derzeit noch bestehende Herausforderungen wie Infrastrukturkosten bewältigt sind. Die Einführung von Ferndiagnose-Systemen kann durch RFID-Technik unterstützt und weiter praktikabel gemacht werden. Langfristig könnte sich die Fahrzeug-Ferndiagnose von passiver und periodischer Diagnostik zu fahrzeugintelligenter Fehlermitteilung und Prognostik entwickeln. Dies bietet den Autoherstellern die Möglichkeit ihren Service weiter zu verbessern. Für Fahrzeughalter bietet die Fahrzeugferndiagnose insofern Vorteile, da sie über erforderliche Wartungen und Reparaturen durch

den Hersteller informiert werden. Eine ausführliche Fehlerdiagnose vor einem Servicetermin könnte künftig helfen, Wartungsarbeiten gezielter vorzubereiten und schneller abzuwickeln. Serienfehler könnten frühzeitig erkannt und Gegenmaßnahmen getroffen werden. Aufwendige Rückrufaktionen ließen sich damit eingrenzen. Nicht zuletzt könnte die Produktentwicklung insgesamt verbessert werden, indem früher identifiziert wird, wie gut sich ein neues Modell bewährt, wo eine neue Software oder die Vernetzung der Systeme noch Probleme bereitet, die möglichst rasch Abhilfe erfordern.

Customer-Relationship-Management

Ein weiterer bedeutsamer Strategieansatz liegt in der Kundenkommunikation und Kundeneinbindung. So können Produktreklamationen und -wartungen erleichtert werden, aktuelle Sicherheitsinformationen zu Produkten einfacher übermittelt und neue Anreize zur sparsamen Nutzung von Produkten geschaffen werden. Verschiedene Unternehmen zielen in diese Richtung mit der Entwicklung neuer Geschäftsmodelle. Mikrocontroller stellen die Verbindung zum Call Center her, an das sämtliche erfassten Daten übertragen werden und überwachen den Betrieb. Auf diese Weise werden Serviceleistungen wie Fern-Diagnose und Tele-Alarm ermöglicht. Potenziale liegen vor allem im gewerblichen Bereich. Im Vordergrund stehen hier Leasing- und Mietlösungen, die den gewerblichen Kunden Finanzierungs- und Wettbewerbsvorteile verschaffen. Vor allem angesichts der durch den technischen Fortschritt bedingten kürzer gewordenen Innovations- und Marktzyklen und dem damit einhergehenden hohen Wertverlust nehmen Leasing- und Mietkonzepte an Bedeutung zu. Dadurch eröffnet sich die Möglichkeit, gleichzeitig Umwelt- und Kostenvorteile durch Wiederverwendung von Produkten und Komponenten im Ersatzteilgeschäft oder durch deren Vermarktung in Second-Hand-Märkten zu erzielen.

Erst ansatzweise beschäftigt sich die Industrie mit neuen Geschäftsmodellen in der Produktion, wie „*Betreiben statt Verkaufen*“. Vor allem die Automobilindustrie verlangt zunehmend von Anlagenherstellern, die Maschinen nicht nur zu entwickeln, sondern anschließend auch die gesamte Produktion im Rahmen sogenannter Betreibermodelle (pay on production) zu übernehmen. Probleme ergeben sich durch die notwendige Vorfinanzierung, eine hohe Kapitalbindung und einer starken Abhängigkeit der Erträge von den produzierten und verkauften Stückzahlen für die Maschinenhersteller. Bereits seit längerem wird in der Chemiebranche das „Chemikalienleasing“ praktiziert. Auch hier liegt ein ähnliches Geschäftsmodell zugrunde, bei dem die klassische mengenbezogene Bezahlung von Chemikalien durch eine nutzenorientierte Bezahlung ersetzt wird. „Potenziale existieren immer dann, wenn Prozesse im Hinblick auf den Chemikalienverbrauch optimiert werden können und wenn der Chemikalienlieferant anwendungsbezogenes Know how einbringen kann und will. Es gibt prinzipiell keine industrie- oder branchenbezogenen Einschränkungen. Im Hinblick auf die Umsetzbarkeit von Potenzialen ist aber zu beachten, dass die Chancen für ein erfolgreiches Chemikalienleasing dann höher sind, wenn es sich um Neben- oder Hilfsprozesse handelt, die nicht zur absoluten Kernkompetenz eines Chemikalienanwenders gehören“ (UBA 2010). Chemikalienleasing wird bereits seit Jahren erfolgreich angewendet, aber bisher nur in geringem Umfang praktiziert (www.chemikalienleasing.de).

Das US-amerikanische Unternehmen *ChemStation*, das gewerbliche Reinigungsmittel herstellt, nutzt eine elektronische Plattform dazu, die spezifischen Kundenbedarfe festzustellen und diese bei der Zusammensetzung der Reinigungsmittel zu berücksichtigen. Damit lassen sich überflüssige Zusatzstoffe vermeiden und die richtige Dosierung genauer zu bestimmen (Fichter 2000). Ein weiteres Beispiel ist das *Chemicals Management Program bei General Motors*. Basis ist eine Vereinbarung mit einem GM-Lieferanten für Autolacke und Lösungsmittel. Die Bezahlung erfolgt nicht mehr wie ursprünglich nach der Menge der gelieferten Autolacke und Chemikalien, sondern pro lackiertem Fahrzeug. Dazu hat der Lieferant das gesamte Stoffstrommanagement von der Bestellung und Lagerkontrolle über das Monitoring bis hin zum Einsatz der Chemikalien übernommen. Durch diese Maßnahme werden pro Jahr 1 Mio. US-Dollar eingespart. Der Lagerbestand an Chemikalien konnte um 78% und der Verbrauch an Lacken um 50% verringert werden. Außerdem wird durch die elektronische Plattform die Chemikalienverfolgung vereinfacht und die gesetzliche Pflichtberichterstattung (nach dem Toxics Release Inventory) verbessert (Fichter/Paech/Pfriem 2005)

Einschätzung der Ressourceneffizienzpotenziale

Durch E-Logistik und Management (Beschaffung, Produktion, Vertrieb) kann die automatische Identifikation in Kombination mit Sensorik und Integration der Daten in betriebliche Informationssysteme die Geschäftsprozesse optimieren. Die Anwendungen reichen von der Verfolgung von Produkten in Echtzeit über das gesamte Logistiknetzwerk über das Monitoring von Produkten und Produktionsmitteln mittels Sensoren, um ihren Zustand (z.B. Temperatur, Abnutzung) zu überwachen, bis hin zur Echtzeit-Inventur zur Vermeidung von Diebstahl. Smart Label basierte Lösungen bieten grundsätzlich die Möglichkeit, sämtliche Produktlebensphasen von Design bis zur Entsorgung des Produktes zu erfassen. Während sich im B2B-Bereich die Kosten in verschiedenen Bereichen senken lassen (Logistik, Service Wartung, Reparatur, Garantieforderungen, Weiterverwendung und Entsorgung von Produkten), sind im B2C-Bereich die Anwendungspotenziale weitaus spekulativer. Neben aussichtsreichen Anwendungen (z.B. präventive Fernwartung, Überwachung der Lebensmittelkette) lassen andere Anwendungen im Konsumgüterbereich nur schwer einen Zusatznutzen (z.B. „intelligenter“ Kühlschrank) für den Verbraucher erkennen.

Wertet man die verschiedenen bisher vorliegenden Studien und den von Unternehmen veröffentlichten Materialien aus, so ist festzustellen, dass E-Business vielfach nicht die eigentliche Ursache für Veränderungen der Ressourcenproduktivität ist. Wohl aber verstärkt und beschleunigt E-Business vorhandene Basistrends (Globalisierung etc.), die sich wiederum direkt und indirekt auf die Ressourcenproduktivität auswirken. Verschiedene Einflussfaktoren überlagern sich deshalb, so dass eine klare Zuordnung bestimmter Effekte zu E-Business-Anwendungen nicht immer möglich ist. Vorher- und Nachher-Betrachtungen fehlen in den Unternehmen weitgehend oder sind allenfalls auf einzelne Projekte beschränkt. Dennoch lassen sich einige Potenziale deutlich aufzeigen. Aus Fallstudien (Behrendt/Würtenberger/Fichter 2003) geht eine tendenzielle Verringerung der Lagerbestände hervor. Ursache dafür ist eine verbesserte Prognosegenauigkeit in der Absatz- und Fertigungsplanung. Zudem verringert sich das Risiko, beispielsweise durch technologischen

Überalterung von Lagerbeständen, was in Branchen mit hoher Innovationsgeschwindigkeit und kurzen Produktlebenszyklen im Markt von erheblicher Bedeutung ist. Dadurch sinkt die Menge an „Obsoleszenzen“, d.h. von Lagerbeständen, die aufgrund des schnellen technologischen Wandels nicht mehr zum kalkulierten bzw. geplanten Verkaufspreis abgesetzt können und zum Teil verschrottet werden müssen.

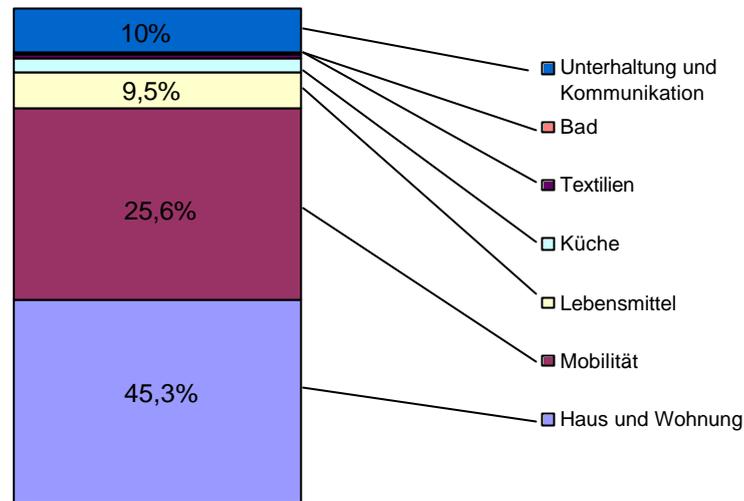
Das Potenzial zur Verringerung des Materialverbrauchs pro produzierter und verkaufter Endproduktmenge kann auf durchschnittlich fünf Prozent geschätzt werden, kann aber je nach Branche auch höher liegen. So konnten in Einzelfällen die Lagerbestände durch kürzere und zuverlässigere Planungszyklen in der Beschaffung bis zu 25% verringert werden. Für die EU beziffert die IPTS-Studie das Abfallverringierungspotenzial bis 2020 auf bis zu 5,8%, das Treibhausgas-Minderungspotenzial auf 1,0% und die Möglichkeit den Primärenergieverbrauch zu reduzieren auf 1,1% (IPTS 2004). Die Ressourceneffizienzpotenziale, die durch ein elektronisch unterstütztes Management von Wertschöpfungsnetzen möglich sind, werden sich eher inkrementell erschließen. Durch eine gezielte Verknüpfung des Supply Chain-, Lebenszyklus- und Customer Relationship-Managements mit Konzepten des Stoffstrommanagements könnte die Erschließung wesentlich unterstützt werden.

4.3 Intelligente Produktnutzungssysteme

Status quo

Ein weiterer bedeutsamer Strategieansatz für die Erschließung von Ressourceneffizienzpotenzialen liegt in der Entwicklung intelligenter Produktnutzungssysteme. Die Rolle des Konsums gilt als wichtiger Einflussfaktor für den Ressourcenverbrauch. Zwar ist der unmittelbare Anteil des Konsums der privaten Haushalte am eingesetzten Primärmaterial mit 3,8% relativ gering, mit 34% haben private Haushalte aber den größten Anteil am Primärenergieverbrauch. Der private Konsum ist für mehr als 40% der Pro-Kopf-CO₂-Emissionen verantwortlich. Haushaltsabfälle machen 39% des Abfallaufkommens in Deutschland aus. Stoffstromanalysen zeigen, dass Mobilität, Haus und Wohnen, Ernährung sowie Information und Unterhaltung besonders umweltintensiv sind. Für energieverbrauchende Produkte (Auto, stromverbrauchende Geräte etc.) gilt, dass rund zwei Drittel der gesamten Umweltwirkungen auf die Nutzungsphase der Produkte entfallen.

Abbildung 4-7: Ressourcenrelevanz verschiedener Bedürfnisfelder



Quelle: eigene Darstellung, UBA 2007

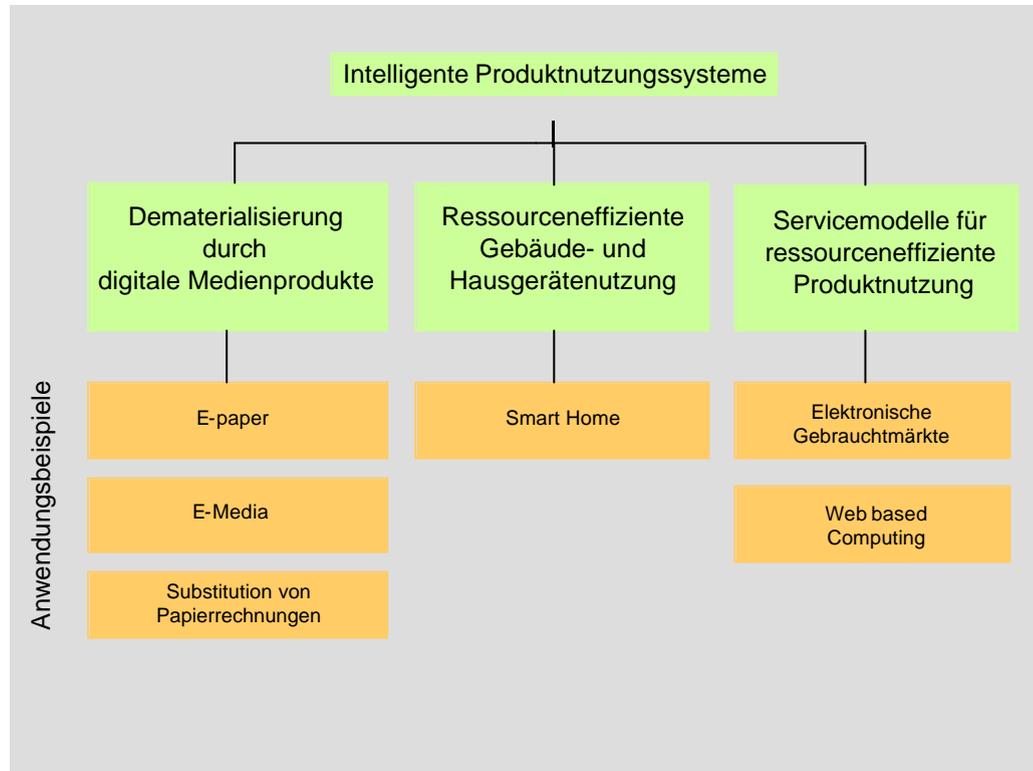
Neben dieser Momentaufnahme ist zu konstatieren, dass der Anteil privater Haushalte am Ressourcenverbrauch sowie den Emissionen und Abfällen tendenziell zu nimmt. Zwar haben „Unternehmen im Zuge des technischen Fortschritts und teilweise induziert durch eine entsprechende Nachfrage umweltbewusster Konsumentensegmente z.T. deutliche ökologische Fortschritte erzielt, jedoch wurden die erreichten Einsparungen in aller Regel durch die steigende Nachfrage auf Konsumentenseite überkompensiert“ (Paech 2005).

Beiträge der Informations-, Kommunikations- und Automationstechnik zur Ressourceneffizienz

Ressourceneffizienzpotenziale liegen in der elektronischen Substitution physischer Güter und Transporte. Gemeint ist, dass materielle Produkte durch digitalisierte Güter ersetzt werden. Die einfache Formel dafür lautet: "Kilobyte statt Kilogramm". "Digitale" Produkte zeichnen sich dadurch aus, dass sie in Bitströme verwandelt und diese Informationen dann über Datennetze unabhängig von physischen Trägern vertrieben werden können. Digitale Netze ermöglichen es heute, die Verbindung zwischen Informationen und ihren physischen Trägern zu lösen und damit digitale Produkte und Dienstleistungen zeitlich und räumlich ubiquitär verfügbar zu machen. Dies betrifft vor allem Produkte der Medienbranche wie Musikstücke, Bücher, Zeitungen und Zeitschriften, die leicht „virtualisiert“ werden können. Von Relevanz sind mit Blick auf Ressourceneffizienzpotenziale insbesondere auch integrierte Konzepte, die unter dem Stichwort Smart Home (oder Home automation und Smart buildings) auf die Optimierung der Nutzung von Gebäuden und Wohnen abzielen, und elektronische Märkte, die den Handel mit Gebrauchsgütern unterstützen. Die Nutzung von Telekommunikation und Internet bietet darüber hinaus Möglichkeiten, physischen Verkehr zu

substituieren, insbesondere Telearbeit und Video-/Telefonkonferenz. Auf sie wird im folgenden nicht eingegangen, weil sie im wesentlichen Energieeinsparpotenziale, aber keine Materialeffizienzpotenziale bieten.

Abbildung 4-8: Intelligente Produktnutzungssysteme



Dematerialisierung durch digitale Medienprodukte

Die digitale Fotografie hat die herkömmliche Fotografie weitgehend abgelöst. Dadurch werden spezifische Stoffströme substituiert. Für die Musik- und Filmindustrie nimmt die Bedeutung virtueller Medien stetig zu. Der Download von Musikstücken und Videos steigt, physische Trägermedien werden dadurch ersetzt. Die Reduktionspotenziale bewegen sich zwischen 40 und 80%, je nach dem, ob die Medien nach dem Herunterladen auf einen Datenträger gebrannt werden. „Es handelt sich um Bereiche, die dynamisch wachsen. Unter der Voraussetzung, dass alle umgesetzten physischen Tonträger gebrannt werden, können nach der Studie Smart 2020 (theoretisch) CO₂eq-Emissionen in Höhe von 0,09 Mrd. Mt im Jahr 2020 reduziert werden (BCG 2009, 61).

Die Substitution von Papierrechnungen durch digital versandte oder digital abrufbare Dokumente ist ebenfalls schon seit längerem zu beobachten. Invoice etabliert sich in Unternehmen mehr und mehr als Standard. Potenziale bieten digitale Abrechnungen und Gehaltsabrechnungen. Während viele Unternehmen ihre papierbasierten Rechnungen bereits umgestellt haben, ist die Verbreitung im Privatbereich noch gering. BCG schätzt den Umfang des maximal erzielbaren CO₂eq-Minderungspotenzials von Invoice auf 0,04 Mt CO₂eq, und das marktgetriebene Reduktionspotenzial bis 2020 auf 0,03 Mt CO₂eq.

Eine Substitution des Papiers durch digitale Netze und Darstellungstechniken wird ebenfalls erwartet. Bisher waren die elektronischen Medien nicht in der Lage, das Papier zu verdrängen. Papierdrucke sind nach wie vor deutlich verbreiteter als die reine Datenverarbeitung und -darstellung mittels Computer und Internet. Neue und klassische Medien haben jeweils ihre spezifischen Vorteile und werden gemäß persönlicher Präferenzen selektiv genutzt. Dies geschieht weitgehend in Ergänzung zu den herkömmlichen Medien, zunehmend aber auch in Konkurrenz. Dafür spricht, dass die jüngere Generation bereits in hohem Maße cross- und multimedial kommuniziert. Dennoch bleiben Tageszeitungen für die Information weiterhin sehr bedeutend. In den zurückliegenden Jahren jedoch hat die täglich verkaufte Auflage abgenommen. Eine Tendenz, die sich in den nächsten Jahren fortsetzen und vermutlich noch beschleunigen wird. Die Bindung an die klassischen Medien lässt nach, was daran liegt, dass das interaktive Medienverhalten der heranwachsenden „Generation der Netzwerkkinder“ sich zunehmend durchsetzt. In zehn Jahren könnte (nach Branchenerwartungen) die gesamte Printzeitung um ein Sechstel zurückgehen. Schon jetzt nutzen nur noch 36% dieser Generation die Tageszeitung als Erstquelle.

Das Internet verändert den Printbereich radikal. Motor der Entwicklung ist die Digitalisierung der Information, die die Verlage grundlegend wandelt. Die Wertschöpfung besteht heute zu einem Großteil aus Aktivitäten, die es vor einigen Jahren noch nicht gab. Insbesondere die Investitionen in internetbasierten Vertriebs- und Geschäftsmodelle sind in den letzten Jahren deutlich gestiegen. Zunehmend gehen die Printverlage dazu über, ihr Online-Angebot um faksimilierte Ausgaben ihrer Printausgaben zu erweitern. Verbunden ist damit die Erwartung, dass die Leser das sinnliche Erlebnis der Zeitung oder des Buches auch im Netz wieder finden können. Die Einführung neuer Endgeräte (iPad, WePad, elektronisches Papier...) in Verbindung mit Cross-medialen Dienstleistungen im Zeitungs-, Zeitschriften- und Buchbereich könnte diese Entwicklung noch beschleunigen. Inwieweit diese Entwicklung zu Substitutionseffekten führt, ist ungewiss. Die Buchbranche rechnet mit 5% Marktanteil von digitalen Büchern in den nächsten zehn Jahren (Berliner Zeitung 19.5.2010). BCG schätzt, dass 30% der Bücher und Druckerzeugnisse bis 2020 marktgetrieben durch digitale Medien ersetzt werden. Daraus ergibt sich eine Reduktion der Papierproduktion in der Größenordnung von 3 Mio. Tonnen in Deutschland und ein CO₂eq-Reduktionspotenzial von 1,58 Mt CO₂eq. Diese werden aber nicht automatisch erschlossen, sondern es kommt auf die Nutzung und gezielte Gestaltung ökologischer Faktoren an. Wichtige Einflussfaktoren auf die Ressourceneffizienz sind Häufigkeit und Dauer der Mediennutzung, Effizienz, sowie Auslastungs- und Nutzungsgrad einzelner Medien und Nutzungsverhalten (z.B. Ausdrucken). Auch der Energieverbrauch der Übertragungsnetze bestimmt die Nettobilanz. Höhe und Ausmaß möglicher Ressourceneffizienzeffekte sind bis dato ungewiss. Da es keine generellen Antworten gibt, muss die ökologische Bilanz im Einzelfall geprüft und abgeschätzt werden.

Ressourceneffiziente Gebäude- und Hausgerätenutzung

Hohe Ressourceneffizienzpotenziale bestehen bei einem informations- und kommunikationstechnisch gestützten Gebäudemanagement. Durch effizientere Gebäude- und Haustechniken, Fernwartung und

intelligente Prozessteuerungen können im Büro- und Industriebereich erhebliche Einsparpotenziale erschlossen werden. Die dezentral ausgeführten Steuerungs- und Regelungskomponenten der Gebäudetechnik können mit gebäudeinternen und –externen Kommunikationssystemen vernetzt und zu einem intelligenten Gesamtsystem verknüpft werden. BCG beziffert das theoretische CO₂eq-Einsparpotenzial auf 41,8 Mt CO₂eq. Das marktgetriebene Verringerungspotenzial liegt mit 9 Mt weit unter dem theoretisch möglichen (BCG 2009). Die Hauptgründe dafür sind die derzeit fehlenden Standards für IKT-Geräte, das unübersichtliche Angebot, fehlende Systemangebote, Kosten und mangelndes Interesse der Privatnutzer.

Seit mehreren Jahren wird im Privatbereich in verschiedenen Experimentalgebäuden mit unterschiedlichen Akzenten an der Vernetzung von Haustechnik (Heizung, Klima, Licht, Sicherheitstechnik), Informations- und Kommunikationstechnik und von intelligenten Gegenständen gearbeitet. Sicherheitssysteme mit Einbruchsmeldung, drahtlose Rufsysteme und Brandmeldung oder kontextsensitive Licht- und Klimatechnik für Wohngebäude zur Energieeinsparung sind heute schon verfügbar. Ressourceneinsparungen sind möglich durch automatisierte Raumtemperaturregelungen, bedarfsabhängige Lichtsteuerung, Kombination von Temperaturregulierung und Lüftung, Fernablesung von Verbrauchsdaten, bedarfsabhängige Warmwasserbevorratung, bedarfsabhängige Gartenbewässerung und Reduktion des Stand-by-Verbrauchs durch Ausschalten bestimmter Schaltkreise. Smarte Messgeräte und Zähler für Strom stehen vor der Einführung. Deren Leistung besteht aus einer Echtzeit-Verfügbarkeit von Verbrauchs- und Tarifinformationen sowohl beim Energieversorger, als auch beim Endverbraucher. Sie haben ein großes Potenzial zur Energieeinsparung. Dabei handelt es sich um Strommess- und -zählgeräte, die über das Internet in kurzen Abständen Daten des aktuellen Stromverbrauchs an den jeweiligen Stromanbieter übermitteln. Dies schafft Transparenz. So ermöglicht Smart Metering die monatliche Abrechnung aufgrund echter Verbrauchswerte. Sie ist auch eine Grundvoraussetzung, um den Endverbraucher verstärkt in ein flexibles Energieversorgungssystem einzubinden.

Servicemodelle für eine ressourceneffiziente Produktnutzung

In den vergangenen Jahren sind weitgehend unabhängig von Fragen eines nachhaltigen Konsums eine Vielzahl neuer Geschäfts- und Erlösmodelle für internetgestützte Dienstleistungen und Vertriebsformen entwickelt worden. Zunehmend wird aber deutlich, dass diese als Medium und Markttransaktionsform zukünftig von zentraler Bedeutung für einen nachhaltigen Konsum sind.

Abbildung 4-9: Neue Paradigmen

Neue Paradigmen	Kernelemente
Wiederverkaufskultur	Vermarktung gebrauchter Güter, wodurch sich die Lebens- und Nutzungsphase von Produkten verlängert und so zusätzliche Umweltbelastungen durch Neuanschaffungen vermieden werden.
Pay per use - Nutzen statt besitzen	Die Konzepte die auf neue Kundenbeziehungen zielen, um Bedürfnisse der Verbraucher auf eine weniger ressourcenintensive Weise zu befriedigen. Anstelle des Produktabsatzes geht es um eine Dienstleistungsorientierung der Unternehmen. Nicht der Produktabsatz steht im Vordergrund, sondern die Erbringung von Dienstleistungen, die einen Beitrag dazu leisten, dass Produkte intensiver genutzt, ressourcensparsam gebraucht, leicht repariert, aufgerüstet und wiederverwendet werden können.
Virtualisierung: Web-based-Computing	Zentrale leistungsfähige Server für alle Anwendungen, die sonst auf einzelnen Arbeitsplatz-PCs laufen. Am Einzelarbeitsplatz werden nur noch Tastatur, Maus und Monitor sowie ein Thin Client benötigt. Thin Clients-Lösungen verbrauchen bis zu 60 Prozent weniger Energie als PCs – und das inklusive des höheren Verbrauchs der Server. Darüber hinaus sind sie durch den geringeren Materialeinsatz ressourcenschonend. Thin-Client-Lösungen eignen sich besonders gut für Anwendungen, bei denen eine größere Zahl an Nutzern den gleichen IT-Bedarf hat, zum Beispiel in Banken und Versicherungen (dena 2010).

Einen Ansatz bietet die Nutzungsintensivierung. Gerade die Idee, anstelle von Sachgütern nur deren Nutzung, also Dienstleistungen zu verkaufen („pay per use“) wird durch Informations- und Kommunikationstechniken in vielen Fällen erst praktikabel (Bohn et al., 2002, Hilty 2002). Beim Leasing verkauft der Hersteller nicht mehr seine Produkte, sondern bieten einen Nutzen an, er verlagert damit den wirtschaftlichen Schwerpunkt von der Herstellung zum Produktmanagement. Für den Hersteller werden damit lange Lebensdauer, Reparatur- und Recyclingfähigkeit zu wertvollen betriebswirtschaftlichen Kalkülen. Obwohl derartige Konzepte bereits seit einiger Zeit wissenschaftlich untersucht und von Unternehmen erprobt werden, ist bisher keine „signifikante Transformation in Richtung Leasing-Gesellschaft“ (Faulstich 2009) zu beobachten. Es gibt erfolgreiche Fälle (z.B. Kopiergeräte), bei denen es gelungen ist, durch neue Vertriebsstrukturen und Dienstleistungen, die Produktnutzung zu intensivieren. Insgesamt stieß der „eigentumslose“ Konsum (Schrader 2003) bisher auf eine geringe Akzeptanz bei Konsumenten und bot daher zunächst wenig Potenzial für eine Ressourcenreduktion. Im Bereich der Individualmobilität differenzieren sich die Anbieterkonzepte hin zum Leihen, Leasen und zur „kooperativen Nutzung“ immer weiter und werden auch zunehmend genutzt. Eine umfassende Potenzialanalyse in diesem Bereich müsste politische Zielsetzungen und konkrete Maßnahmen mit betrachten.

Chancenpotenziale zur Erschließung nicht genutzter Umweltentlastungspotenziale bestehen bei elektronischen Gebrauchtmärkten. Sie erstrecken sich auf eine Nutzungsdauerverlängerung und Ausschöpfung von Effizienzpotenzialen. Obwohl der Handel mit gebrauchten Konsumgütern auf eine lange Tradition verweisen kann, hat er innerhalb der Diskussion nachhaltiger Konsumformen bisher eine eher untergeordnete Rolle gespielt. Dies mag mit daran liegen, dass die auf Grundlage der erzielbaren Effizienzgewinne für weitgehend ausgeschöpft oder kaum erweiterungsfähig gehalten wurden. Eine effektive Erschließung von Effizienzpotenzialen stieß bislang auf Barrieren, weil die Transaktionskosten sowohl auf Seiten der Anbieter als auch Nachfrager unverhältnismäßig hoch im

Vergleich zum Marktwert der gebrauchten Konsumgüter waren. Durch die Senkung der Transaktionskosten und Vereinfachung der Suche, Anbahnung und Abwicklung eröffnen Internet-Marktplätze neue und bessere Möglichkeiten für die Weiternutzung von Gebraucht- und Altprodukten. Neuere Studien über elektronische Märkte lassen positive Effekte auf die Ressourcenproduktivität erkennen (Erdmann 2010). Die Entlastungseffekte basieren im Wesentlichen auf der Vermarktung gebrauchter Güter, wodurch sich die Lebens- und Nutzungsphase von Produkten verlängert und so zusätzliche Umweltbelastungen durch Neuanschaffungen vermieden werden. Allerdings werden auch hier Umweltbelastungen induziert, etwa durch Logistik und Transporte. Auch eine Ausweitung des Konsums ist möglich, was zusätzliche Umweltbelastungen hervorrufen kann. Um eine Gesamtbilanz zu erhalten, müssen daher weitere Effekte berücksichtigt werden (Fichter 2000, Hilty 2002):

1. Primäreffekte: Die Wirkungen durch die physische Existenz der IKT und der damit verbundenen Prozesse über den Lebensweg (z.B. Stromverbrauch durch die Online-Nutzung).
2. Sekundäreffekte: Die Wirkungen durch die Nutzung und Anwendung von IKT (z.B. Veränderung von Transportwegen durch Online-Handel).
3. Tertiäreffekte: Die Wirkungen durch IKT-Systeme, die indirekt die Entfaltung der primären und sekundären Effekte beeinflussen (z.B. gesellschaftliche Änderung des Konsumverhaltens).

Alle drei Wirkungsmechanismen der Informations- und Kommunikationstechnologien auf die Umwelt müssen untersucht werden, um ein realistisches Gesamtbild der Umwelteffekte des privaten Online-Handels zu erhalten. Im folgenden Fallbeispiel wird eBay beleuchtet. Die Berechnungen stützen sich auf empirische Erhebungen, die im Rahmen eines Projektes der Sozial-Ökologischen Forschung erstmals durchgeführt wurden (Erdmann 2010).

Fallbeispiel: Gebrauchtwarenhandel auf eBay

Die Primäreffekte des Handels auf der eBay-Plattform umfassen insbesondere den Energieverbrauch der Server und Rechenzentren, der Datenübertragung sowie der Nutzung der Endgeräte durch die Verbraucher. Die gesamten Treibhausgasemissionen durch den Energieverbrauch von eBay lagen im Jahr 2008 weltweit bei 127.416 Tonnen CO₂-Äquivalenten (CDP 2009). Allein auf die Server und Rechenzentren für die eBay-Plattform entfallen geschätzte 10.000-15.000 Tonnen CO₂-Äquivalente. Trotz der zwischen 2007 und 2008 gestiegenen CO₂-Emissionen bezeichnet sich der Konzern eBay als CO₂-neutrales Unternehmen. eBay begründet dies unter anderem mit Energieeffizienzmaßnahmen in ihren Rechenzentren und mit Investitionen in CO₂-Kompensationsprojekte. Bei der Kommunikation zwischen den Servern in den Rechenzentren von eBay und den eBay-Nutzern werden die Übertragungskanäle durch dynamisches Routing flexibel ausgewählt. Der Stromverbrauch der Netzwerkkomponenten für Online-Aktivitäten liegt deutlich unterhalb des entsprechenden Stromverbrauchs für die Server und Rechenzentren und auch für die Endgeräte der Verbraucher. Die durch eBay bedingte CO₂-Emissionsmenge infolge der Inanspruchnahme von Netzwerkkomponenten wird für das Jahr 2008 auf 50-100 Tonnen CO₂-Äquivalente geschätzt. Die 22 Millionen Nutzerinnen und Nutzer von eBay Deutschland verbringen 2:49 Stunden im Monat auf eBay. Dabei werden PCs, Monitore, Laptops und die Verbindungen ins Internet genutzt. Aus Basisdaten zur Leistungsaufnahme dieser Geräte wird die CO₂-

Emissionen durch den Stromverbrauch der Endgeräte der Verbraucher auf 28.000-33.000 Tonnen CO₂-Äquivalente beziffert.

Bei den Sekundäreffekten des privaten Handels mit Gebrauchtgütern auf der eBay-Plattform können zwei Fälle unterschieden werden: Im ersten Fall ersetzt die Transaktion auf eBay eine andere konventionelle (z.B. Flohmarkt) oder virtuelle (z.B. andere Online-Märkte) Gebrauchtgütertransaktion. Im zweiten Fall würde das gebrauchte Produkt ohne die Transaktion auf eBay nicht weiter genutzt, sondern entsorgt. Durch diese Nutzungsdauerverlängerung des gebrauchten Produkts wird ein Nutzen geschaffen, der die Neuanschaffung des Produktes partiell ersetzt. Die Treibhausgasemissionen einer eBay-Transaktion setzen sich vereinfacht aus den primären CO₂-Äquivalenten pro Auktion und den sekundären CO₂-Äquivalenten für Verpackung und Transport zusammen. IN dem Projekt wurden Autoreifen, Bücher, Laptops, Kinderkleidung und Sofas näher untersucht. Unter Berücksichtigung der Verkaufsquoten der eBay-Angebote errechnen sich die primären Treibhausgasemissionen pro Auktion je nach Produkt zu rund 50 g bis 150 g CO₂-Äquivalenten. Zudem wurden in einer Online-Befragung Daten zur Verpackung und zum Transport erhoben und in Rechengrößen umgewandelt. Je nach Produkt liegen die verpackungsbedingten Treibhausgasemissionen bei 10 g bis 3 kg CO₂-Äquivalenten und die transportbedingten Treibhausgasemissionen bei 50 g bis 20 kg CO₂-Äquivalenten.

Wie sich die Nutzungsdauerverlängerung durch den partiellen Ersatz eines Neuproduktes auf die CO₂-Emissionen auswirkt, kann nur produktspezifisch beantwortet werden. Abschätzungen für Autoreifen, Bücher, Laptops, Kinderkleidung und Sofas zeigen, dass die Nettobilanz der Treibhausgasemissionen für den privaten Gebrauchthandel auf eBay bei den Produkten ohne Ressourcenverbrauch in der Nutzungsphase positiv ausfällt (Erdmann 2009). Die Online-Befragung hat ergeben, dass rund 21% der gehandelten Gebrauchtprodukte in der Nutzungsphase Strom benötigen. Erst wenn der Stromverbrauch von Neuprodukten in der Nutzungsphase nicht oder nur marginal unter dem von Gebrauchtprodukten liegt, fällt auch der Gebrauchthandel von stromverbrauchenden Produkten positiv aus. Zentrale Einflussgrößen für die Sekundäreffekte sind die Transaktionsaufwendungen für den Gebrauchthandel, die Restnutzungsdauer des Gebrauchtprodukts, die Differenz der Ressourcenverbräuche in der Nutzungsphase zwischen Neu- und Gebrauchtprodukt, sowie die tatsächlich eingesparten Aufwendungen für weniger Produktion und Distribution und Entsorgung von Neuprodukten.

eBay hat eine signifikante Ausweitung des Gebrauchtwarenhandels in die gesellschaftliche Breite hinein bewirkt. Während der durch das statistische Bundesamt erfasste Gebrauchtwarenhandel mit Ladengeschäften insgesamt 13.000 Beschäftigte aufweist und auf 824 Millionen € Jahresumsatz in 2003 veranschlagt wird könnte der über eBay gehandelte Gebrauchtwarenstrom deutlich über diesem Wert liegen. So gab eBay den Wert aller auf dem deutschen Online-Marktplatz im Geschäftsjahr 2005 – 2006 gehandelten Waren und Dienstleistungen mit 6,6 Mrd. Euro an. Mit Blick auf die Ergebnisse der Online-Befragung darf geschätzt werden, dass ca. 25% dieses Umsatzes, d.h. 1,65 Mrd. Euro, Gebrauchtwaren betreffen könnte. Mögliche Zeiteinsparungen durch den Online-Handel mit Gebrauchtgütern sind hoch spekulativ und auch nicht spezifisch für den Gebrauchtgüterhandel. Anders verhält es sich mit Kosteneinsparungen, die ein starkes Motiv für den Gebrauchtwarenhandel sind. In einer Studie von TNS Infratest im Auftrag von eBay (2008) wurde ermittelt, dass jeder Haushalt in Deutschland Produkte im Wert von 1013 € ungenutzt lagert. Unter der Annahme, dass pro Jahr und Haushalt 200 Euro auf eBay rekapitalisiert werden ergibt sich bei rund 40 Mio. Haushalten ein zusätzliches potentielleres Handelsvolumen von 8 Mrd. €. Diese Summe erzielen Verkäufer als zusätzliche Einnahmen und geben Käufer zusätzlich für Gebrauchtprodukte aus. Basierend auf einer dänischen Studie (Thiessen et al. 2008) werden die Treibhausgasemissionen pro zusätzlich ausgegebenem Euro auf 1,5 kg CO₂-Äquivalente geschätzt. Geben die Verkäufer ihre Einnahmen gemäß dieses Schätzwertes aus, so verursacht dies rund 12 Mio. t CO₂-Äquivalente. Dies entspricht rund 1,4 % der gesamten deutschen Treibhausgasemissionen im Jahr 2008 (UBA 2009). Dem steht im Idealfall eine Einsparung durch verstärkten Gebrauchthandel gegenüber. Daraus kann als Bedingung formuliert werden, dass die Einsparung durch den Gebrauchthandel mindestens 1,5 kg CO₂-

Äquivalente pro für Gebrauchsgüter ausgegebenem Euro betragen muss, damit die positiven Sekundäreffekte nicht durch negative Tertiäreffekte kompensiert werden (Erdmann 2010).

Ein weiterer Ansatz für ressourceneffiziente Nutzung der Informations- und Kommunikationstechnik ist die Verlagerung von Rechneraktivitäten in das Netz. In diese Richtung zielen neue Konzepte des Cloud Computing oder Web based Computing. Untersuchungen zeigen, dass beispielsweise Thin Client-Lösungen im Vergleich zu „klassischen“ PC-Nutzungen sowohl erhebliche ökonomische als auch ökologische Vorteile bieten.

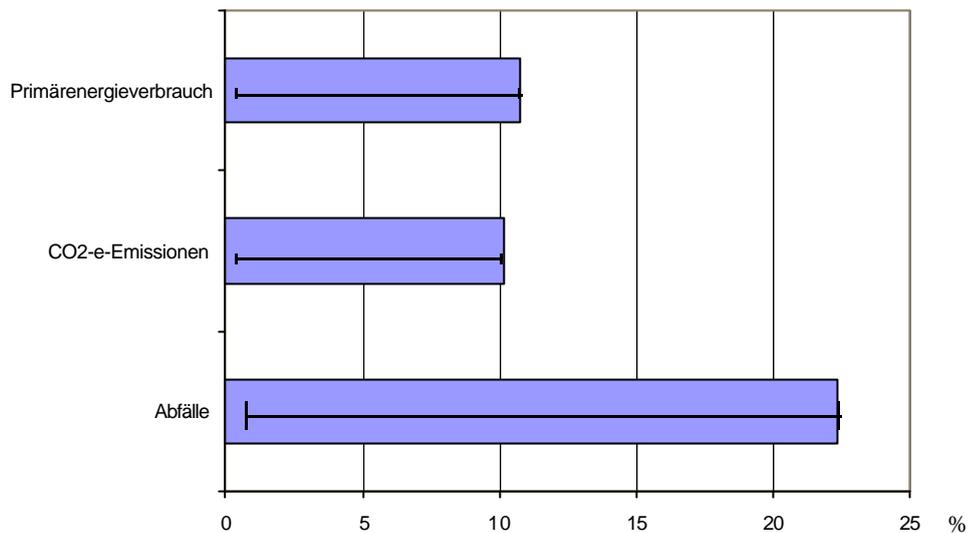
Fallbeispiel: Web based Computing

Der Strombedarf von Thin Client-Umgebungen kann bis um die Hälfte gegenüber einer vergleichbaren PC-Nutzung verringert werden. Außerdem tragen Thin Clients erheblich zu Material- und Ressourceneinsparungen bei, da Thin Clients deutlich kleiner sind und nur 27 bis 31 Prozent des Gewichts eines vergleichbaren PCs aufweisen. Im Durchschnitt werden in einem Thin Client 2,43 kg an Komponenten verbaut, in einem PC 8,96 kg. Der Einsatz von Thin Client-Lösungen seit Ende der 90er Jahre zeigt nicht nur, dass die Systeme in Firmen und Verwaltung praxistauglich sind, sondern auch, dass die Betriebskosten von Web Based Computing deutlich niedriger liegen als bei vergleichbaren PC-Anwendungen und zu Einsparungen von bis zu 60% beitragen können. Web Based Computing erreicht im Vergleich mit dem klassischen PC-Client/Server-Konzept erhebliche Strom-, Ressourcen- und Kosteneinsparungen. Um das volle Potenzial auszuschöpfen, muss der Einsatz von Web based-Computing Hand in Hand mit dem Aufbau energieeffizienter Rechenzentren gehen. Trotz des erheblichen Innovations- und Ressourceneffizienzpotenzials spielen Thin Clients im Vergleich zu PC-Anwendungen bislang noch eine vergleichsweise geringe Rolle. Während 2007 in Europa rund 30 Millionen Desktop-PCs verkauft worden sind, lag die Anzahl von Thin Clients nach Schätzungen von IDC lediglich bei rund 1,5 Mio. Stück. Der weltweite Markt für Thin Clients wird derzeit auf rund 3,5 Mio. verkauften Geräten pro Jahr geschätzt. Die Zuwachsraten sind bei Thin Clients zwar höher als bei Desktop-PCs, gleichwohl zeichnet sich aber ab, dass das skizzierte Innovations- und Ressourceneffizienzpotenzial, das Thin Client-Lösungen bieten, ohne zusätzliche Anstrengungen zur Entwicklung dieses Leitmarkts für ressourceneffiziente Informations- und Kommunikationstechnik-Anwendungen nicht erschlossen werden kann. Erhebliche Entwicklungspotenziale für Thin Clients & Web based-Computing bestehen nicht nur mit Blick auf große Unternehmen und Verwaltungen, wo diese Lösungen heute bereits zum Teil eingesetzt werden, sondern auch in Hinblick auf private Nutzer und kleine Unternehmen, die Thin Clients & Web based-Computing mangels fehlender Marktangebote bis dato praktisch nicht nutzen können. Für die Anwendung bei Privatanutzern und kleinen Unternehmen wäre ein integriertes Angebot von Thin Client-Anbietern und Telekommunikations- bzw. Internetunternehmen notwendig (Fichter 2010).

Einschätzung der Ressourceneffizienzpotenziale

In der Studie des IPTS wird „virtuellen Gütern“ das größte Ressourceneffizienzpotenzial zugewiesen. Sensitivitätsanalysen zeigen aber auch, dass die Hebung des Potenzials vor allem von gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen abhängt.

Abbildung 4-10: Ressourceneffizienzpotenziale durch virtuelle Güter (EU-2000-2020)



Die Balken spiegeln verschiedene Zukunftsszenarien und Datenunsicherheiten wider.

Quelle: eigene Darstellung, IPTS 2004

Ein Quantensprung ist im Gebrauchtgüterhandel zu verzeichnen, auch zukünftig bestehen noch erhebliche Potenziale. Eine effiziente Ausschöpfung des in Haushalten akkumulierten, aber nicht mehr gebrauchten Konsumgüterbesitzes verweist auf einen erheblichen „redundanten Besitz“. Dessen Aktivierung für die Rezyklierung von Konsumgütern könnte als Strategie einen nachhaltigen Konsum unterstützen. In deutschen Haushalten werden einer im Auftrag von eBay durchgeführten Erhebung zufolge Gebrauchtgüter mit einem durchschnittlichen Wert von 1.013 Euro aufbewahrt. Hochgerechnet sind das über 40 Milliarden Euro. Spitzenreiter sind hier Medien (Bücher, CDs, DVDs etc.), Sammlerartikel sowie an dritter Stelle Unterhaltungselektronik und Produkte aus dem Bereich Hobby und Sport. Über die Hälfte geben in einer Befragung an, diese Gegenstände zu Hause zu lagern, nicht mehr zu benutzen und eigentlich weitergeben zu können (eBay 2008). Chancen zur Erschließung bisher nicht genutzter Umweltentlastungspotenziale bestehen daher bei der Weiterentwicklung internetgestützter Gebrauchtwarenmärkte durch die ökologische Optimierung des bestehenden Onlinehandels (z.B. klimaneutraler Versand), durch die weitere Erschließung des akkumulierten, aber nicht mehr genutzten Konsumgüterbesitzes und schließlich durch die Unterstützung neuer Auktionskulturen, die die Erhöhung von Langlebigkeit und Werthaltigkeit der Produkte als Strategien eines nachhaltigen Konsums fördern.

Im Medienbereich zeichnen sich Substitutionsprozesse ab, ohne dass das ökologische Gesamtergebnis per saldo schon absehbar ist. Es liegen erste Schätzungen vor, sie basieren aber bisher auf wenig fundierten Annahmen, die Größenordnung der Ressourceneffekte sind daher höchst unsicher. Mit Blick auf hier ermittelte Ressourceneffizienzpotenziale ist deshalb zu betonen, dass die Umweltwirkungen maßgeblich von den Rahmenbedingungen der Nutzung abhängen. Hier besteht die Gefahr von Additionseffekten und das Problem unvollständiger Substitution. Ob die jeweiligen Strategien tatsächlich zu ressourceneffizienteren Lösungen führen, ist im Einzelfall immer genau zu prüfen.

In einigen Bereichen ist mit deutlichen Akzeptanzhürden zu rechnen, so zum Beispiel für Smart Home. Hier erscheinen eher Nischenanwendungen plausibel. Auch Konzepte für "smarte" Hausgeräte, angefangen vom intelligenten Kühlschrank bis hin zum interaktiven Bügeleisen, sind zwar technisch möglich, lassen aber überzeugende Systemlösungen vermissen und stoßen deshalb beim Verbraucher bisher auf wenig Akzeptanz. Eine interessante Form, physische Produkte optimaler zu nutzen, besteht in der Verwendung von RFIDs, die neben einem Mikrochip auch eine Sende- und Empfangseinheit enthalten und damit über das Internet kommunizieren können. Produkt-Upgradings (beispielsweise bei Waschmaschinen Anpassungen des Spülprogramms bei neuen Waschmittelzusammensetzungen), Produktreklamationen und -wartungen werden erleichtert, aktuelle Sicherheitsinformationen zu Produkten können einfacher übermittelt und eine sparsame Produktnutzung unterstützt werden.

Von Smart Metern, die zukünftig herkömmliche Zähler ersetzen sollen, wird ein großes Potenzial zur Energieeinsparung erwartet. Das Potenzial ist aber wahrscheinlich geringer als noch vor einiger Zeit angenommen. Frühere Fallstudien beziffern das Energieeinsparpotenzial auf bis zu 14 Prozent für einen Haushalt (wik 2006), neuere Untersuchungen rechnen mit 2% und damit wesentlich niedrigeren Einspareffekten⁶.

Rechnet man den Stromverbrauch der Anwendungen hinzu, die nicht der Ressourceneinsparung direkt dienen, wie Unterhaltung und Sicherheit, schmelzen die Einsparpotenziale, der Stromverbrauch kann bei gegenwärtigem Technikstand sogar deutlich darüber liegen. Voraussetzung für die Erschließung von Ressourceneffizienzpotenzialen ist, dass der zusätzliche Stromverbrauch, der sich aus dem „intelligenten“ Wohnen ergibt, stark reduziert wird, was technisch möglich ist.

4.4 Ressourcenkreisläufe und Bestandsbewirtschaftung nicht erneuerbarer Ressourcen

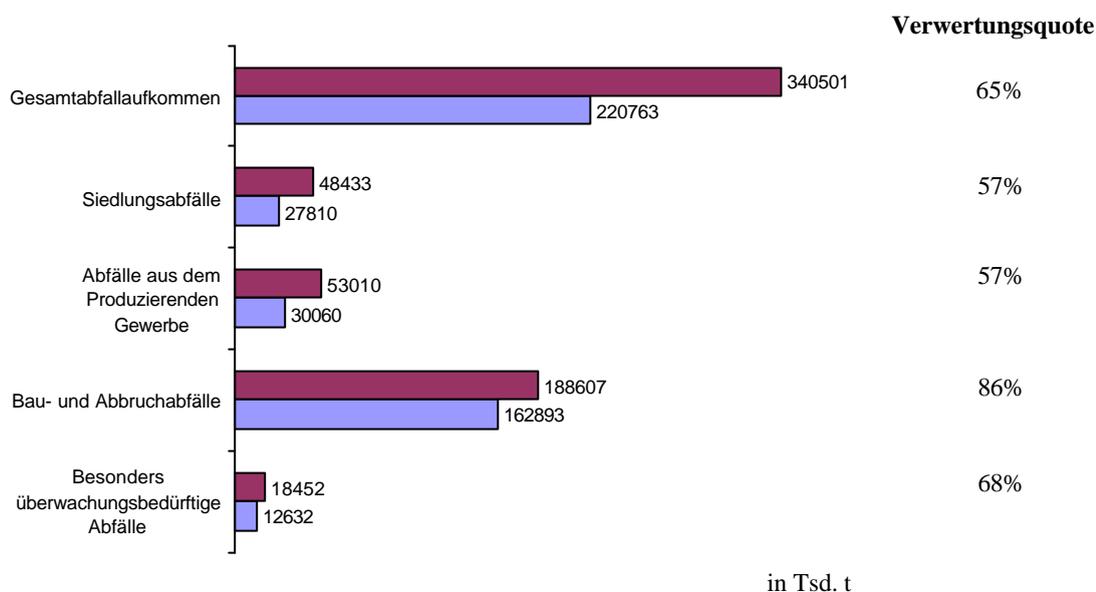
Status quo

Mit Blick auf Ressourceneffizienz kommt der Schaffung von Stoffkreisläufen und der Bestandsbewirtschaftung eine hohe Bedeutung zu. 2004 betrug das Abfallaufkommen in Deutschland 340,5 Mio. t. Nahezu zwei Drittel entfielen auf Bau- und Abbruchabfälle, gefolgt von Abfällen aus Produktion und Gewerbe mit 16%, dem Bergematerial aus dem Bergbau mit 15% und den Siedlungsabfällen mit 14%. Tendenziell nimmt die Abfallmenge in Deutschland seit Jahren ab. 2004

⁶ Sozial-ökologische Forschung, pers. Mit.

wurde das Gesamtabfallaufkommen zu rund 65% verwertet. Im Baubereich betrug die Verwertungsquote 86%, im Bereich der Siedlungsabfälle und den Abfällen aus dem Produzierenden Gewerbe liegt die Verwertungsquote bei jeweils 57%.

Abbildung 4-11: Verwertungsquoten der Hauptabfallströme



Quelle: UBA 2007

In Bezug auf einzelne Stofffraktionen ist die Recyclingleistung deutlich unterschiedlich. Eisenhaltige Metalle, Aluminium, Papier-Pappe-Karton sowie Glas werden größtenteils getrennt gesammelt und zu einem großen Teil als Sekundärrohstoffe wieder Produktionsprozesse zugeführt. Während bei der Glasproduktion 94% der Einsatzstoffe aus dem Glasrecycling stammen, beträgt der Recyclinganteil von Stahl, Blei und Kupfer bei über 50%, der von Nickel liegt bei 40%. Dagegen lag die Recyclingquote von Lötzinn (im Jahr 2003) nur bei rund 10% (UBA 2007).

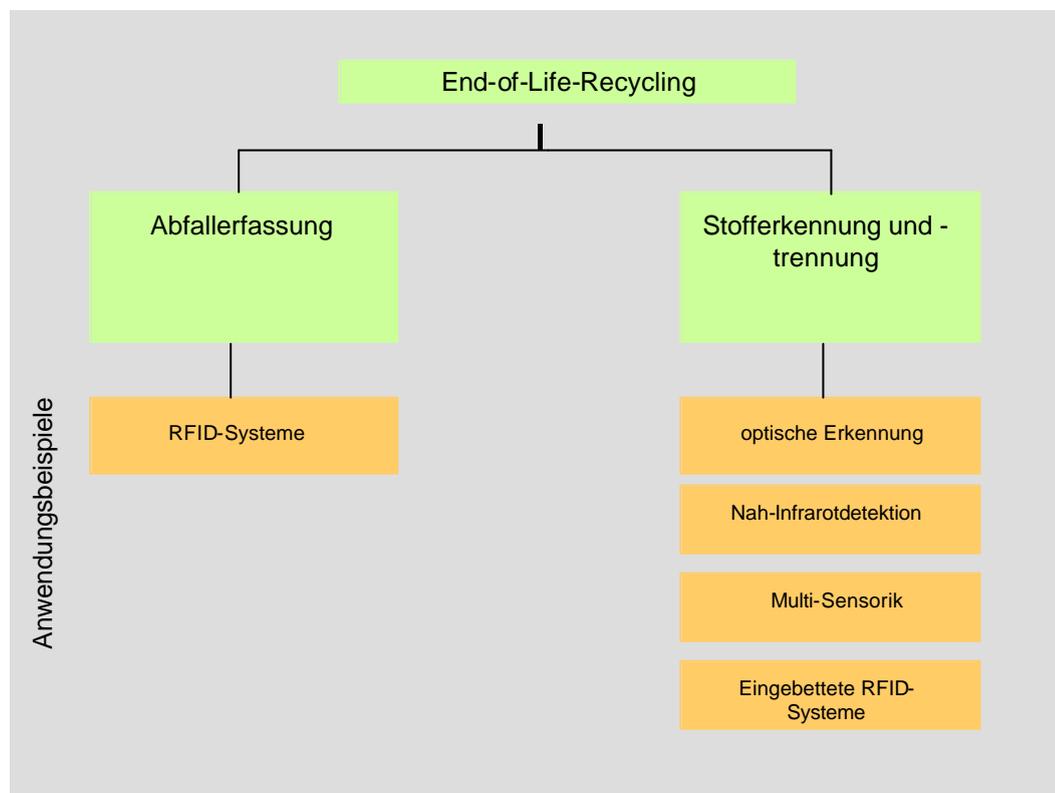
Die Intensität des Recyclings hängt sehr stark von den Werkstoffen und Aufbau und Zusammensetzung der Produkte ab. Je weniger ein Stoff mit anderen Werkstoffen vermengt ist, und deswegen leicht identifiziert und separiert werden kann, desto effizienter ist das Recycling. Darüber hinaus hängt das Recycling insbesondere auch von der Preisentwicklung auf den Primärrohstoffmärkten, der Umweltgesetzgebung und technischen Möglichkeiten ab. In technischer Hinsicht können beispielsweise mit modernen Recyclinganlagen die meisten Metalle mit guten Ausbeuten zurückgewonnen werden. Voraussetzung ist, dass die metallhaltigen Produkte vollständig erfasst, entlang der Recyclingkette die relevanten Fraktionen separiert und den am besten geeigneten

metallurgischen Verfahren zugeführt werden. Defizite liegen vor allem in der Rückführung der Produkte aus dem Konsumbereich. So werden rund 60% der Elektroaltgeräte in Europa nicht recycelt. Ähnlich wie bei der Elektronik bestehen auch bei Altfahrzeugen erhebliche Defizite in der Rückführung. 2006 wurden in Deutschland von 3,2 Mio. Fahrzeuglöschungen nur 504.000 Autos in Deutschland verwertet. Darauf bezogen liegt die Recyclingquote bei 13,5% (Hagelüken 2009).

Beiträge der Informations-, Kommunikations- und Automationstechnik zur Ressourceneffizienz

Automatisierte Verfahren vereinfachen die Abfallerfassung, beschleunigen die Trennung und ermöglichen höhere Reinheitsgrade. Hierdurch wird die Recyclingquote sowohl quantitativ erhöht als auch qualitativ verbessert.

Abbildung 4-12: Optimierungshebel zur Steigerung der Recyclingquote



Abfallerfassung

Optimierungspotenziale zur Verbesserung der Abfallerfassung ergeben sich durch automatisierte Verfahren. Zu den grundsätzlichen Vorteilen der elektronischen Mülltonnenidentifikation, wie sie die RFID-Technologie bietet, zählen eine verbesserte Behälterlogistik und Verwaltung, geringere Möglichkeiten des Leistungsmissbrauchs durch die Registrierung der Tonnen (so können künftig keine Tonnen mehr zur Leerung bereit gestellt werden, die nicht bei der Abfallwirtschaft eines Landkreises angemeldet sind), einfachere Gebührenbescheide, neue Möglichkeiten der Mengenerfassung, eine Individualisierung und Flexibilisierung des Systems (der Kunde kann teilweise selbst bestimmen, wie oft er von der Dienstleistung „Müllabfuhr“ Gebrauch macht) sowie Möglichkeiten der Gebühreneinsparung durch Abfalltrennung und -vermeidung. Neue wirtschaftlich, interessante Geschäftsfelder können sich durch automatisierte Erfassungstechnologien bei komplexen

Produkten, z.B. der Aufbereitung von Altautos oder Elektroaltgeräten entwickeln. Durch produktbegleitende Informationssysteme könnte das Pfand-Clearing verbessert werden. Erfolgskritische Faktoren für die Verbreitung von elektronischen Erfassungssystemen sind die Standardisierung der RFID-Technik, die Kostenentwicklung für Funk-Chips, die Reorganisation der Abfallerfassung und die Akzeptanz der Kunden gegenüber der neuen Technologie. Wesentliche technische Faktoren, die derzeit noch die Verbreitung und Nutzung von RFID-Systemen hemmen, sind die geringen Leseraten und Reichweiten, Probleme bei der Pulk-Erfassung und die Erkennung auf unterschiedlichen Frequenzbändern. So bestehen Probleme noch bei der Erkennung von Transpondern in der Nähe von Metall bzw. Flüssigkeiten in einzelnen Frequenzbereichen.

Stofferkennung und -trennung

Durch Stofferkennungs- und -trennverfahren wird die Aufbereitung und Anreicherung von Stoffen aus Abfällen ermöglicht. Die derzeit verfügbaren Abfallbehandlungs- und Sortiertechnologien sind technisch ausgereift und werden großmaßstäblich eingesetzt. Sie sind „modular in Aufbereitungsanlagen integriert und materialspezifisch nach den zu trennenden Fraktionen sowie nach dem Reinheits- bzw. Verschmutzungsgrad konzipiert“ (BMU 2007). Das Spektrum der dabei zum Einsatz kommenden Technologien reicht von optischer Erkennung (Farbdetektion, Farbanalyse) über Nah-Infrarotdetektion bis zur Röntgendetektion und Induktionsmessung. Verbreitet sind vor allem optoelektronische Detektorensysteme im Infrarot-Nahbereich, die rechnergestützt in Echtzeit eine Trennung von Stoffen oder Komponenten über exakte Druckluftimpulse ermöglichen (BMU 2007, Kessler 2006). Neben optoelektronisch, sensorgestützten Stofferkennungs- und -trennverfahren werden auch neue Technologien wie die RFID-Technologie zunehmend eingesetzt. Potenziale zur Erhöhung der Ressourceneffizienz (UBA 2007) liegen

- in der Optimierung der Anlagengestaltung,
- der Erhöhung der Trefferquote (z.B. Stofferkennung trotz Verunreinigungen),
- der Erhöhung des Durchsatzes (z.B. durch Multisensorik),
- der Reinheit der getrennten Stoffe (z.B. durch Verbesserung der Trennschärfe),
- autonomen Steuerung von Demontageanlagen,
- in schnell verfügbaren Informationen mittels RFID über Identifikation und Datenbankzugriff oder über gespeicherte Daten auf den RFID-Tags.

Eine der größten Herausforderungen bei der Gewinnung von möglichst reinen Stoffen ist die in vielen Fällen hohe Heterogenität der Zusammensetzung der Abfälle. Dies gilt insbesondere für Siedlungsabfälle und hausmüllähnliche Industrieabfälle, die großen Schwankungen unterliegen und deshalb keine „konstante Prozessgröße“ darstellen (BMU 2007). Bisher fehlt es an Anlagen, die Hausmüll mit Abtrennung werkstofflich verwertbarer Kunststoff- und Verbundfraktionen im Dauerbetrieb erfolgreich automatisch sortieren können. Noch zu lösende Aufgaben betreffen ein ökologisch sinnvolles Recycling, das nicht nur die Massenwerkstoffe erfasst, sondern auch sicherstellt,

dass „seltene“, aber für Zukunftstechnologien essentielle Edel- und Sondermetalle einer Verwertung zugeführt werden.

Einschätzung der Ressourceneffizienzpotenziale

Automatisierte Sammel- und Sortierverfahren sind Stand der Technik. Allerdings ist der Automatisierungsgrad der (aktuell in Europa und USA über 2000) existierenden großen Recyclinganlagen bisher gering. Dementsprechend groß ist das Potenzial zur Verbesserung der technischen und ökonomischen Recyclingbedingungen durch automatisierte Sortieranlagen und damit auch zur Erhöhung der Ressourceneffizienz im Bereich der Wiedergewinnung von Stoffen. Tendenziell wächst der Markt für automatische Stofferkennungs- und Trennanlagen.

Dadurch werden zukünftig die Stofferkennungs- und Trennprozesse effizienter und unterstützen höhere Recyclingraten. Außerdem kann der Reinheitsgrad der Sekundärrohstoffe verbessert und konstant gehalten werden. Die durch Stofferkennungs- und Trennverfahren wieder gewonnenen Sekundärrohstoffe können rohstofflich, werkstofflich bzw. zur energetischen Verwertung als Ersatzbrennstoff eingesetzt werden. Natur- und klimaschädliche bzw. gesundheitsgefährdende Reststoffe können durch diese Technologien ebenfalls aus dem Stoffkreislauf entfernt werden. So steckt in Elektronikschrott ein erhebliches nicht erschlossenes Potenzial. Nur 40% des Elektronikschrotts in der EU wird gegenwärtig rezykliert. Gelingt es, die Erfassungsquote bei Altgeräten zu verdoppeln, könnte ein CO₂-Einsparpotenzial von rund 2,7 Mio. t realisiert werden. Der Metallwert entspricht rund 3,3 Mrd US-Dollar (Hagelüken 2009). In der IPTS Studie wurde speziell der Einfluss der IKT auf ein verbessertes Abfallmanagement abgeschätzt. Demzufolge könnte die nicht rezyklierte Menge um bis zu 4,3% durch verbesserte Erfassung, Sortierung und Trennung sinken (IPTS 2004).

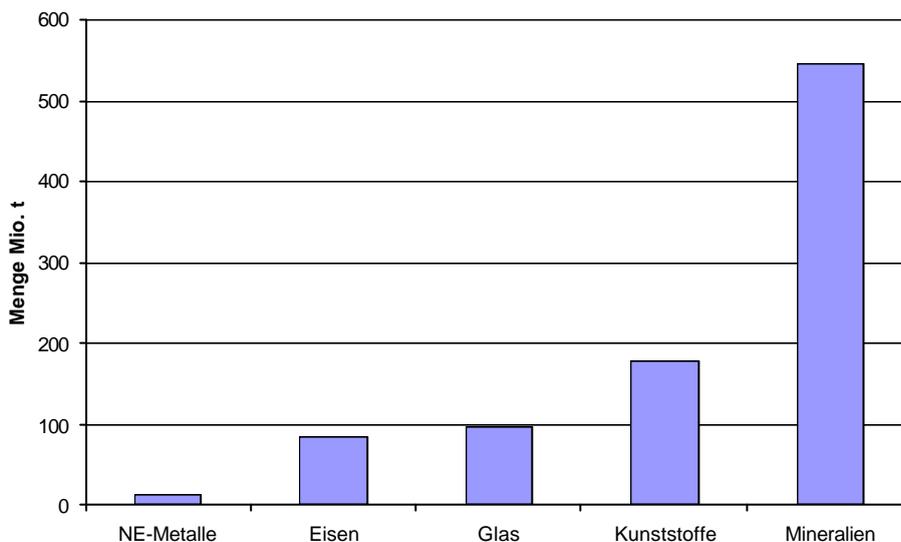
Seit einigen Jahren werden über die gängigen Recyclingverfahren hinaus, neue Ansätze entwickelt, die Meilensteine im Paradigmenwechsel von der Abfall- zur Ressourcenwirtschaft markieren sollen.

Ein solcher Ansatz ist das Non-Destructive Recycling. Kernidee ist es, Massenwerkstoffe wie Stahl, Aluminium, Zement, Kunststoffe und Papier, die zwei Drittel der Emissionen der industriellen Treibhausgasemissionen verursachen, wiederzuverwerten ohne die Altstoffe aufzuschmelzen („Reuse without melting“). So könnte Büropapier anstelle des Deinkings beim konventionellen Papierrecycling vor Ort im Büro gesammelt und durch Rückgewinnung des Toners wiederverwendet werden. Potenziale und Grenzen solcher Strategien sind Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen (Alwood 2009). Die Hauptaufgaben liegen hier in der Entwicklung wirtschaftlich tragfähiger Verfahren.

Neben der Optimierung der Verfahren wird es vor allem darauf ankommen, den gesamten anthropogenen Materialbestand als Ressourcenpotenzial anzusehen und auch zu nutzen. Dafür hat sich der Begriff „Urban mining“ etabliert. Allein in Deutschland wurden seit 1975 etwa 2,5 Mrd Tonnen an Siedlungsfällen, Bauschutt und gewerblichen Abfällen deponiert, darunter Metalle und Minerale, die nun wieder (bei knapper und teurer werdenden Rohstoffen) für eine Rückgewinnung interessant sind.

Abschätzungen der angefallenen Abfallmengen zeigen, dass 545 Mio. Tonnen Minerale, 178 Mio. Tonnen Kunststoffe, 97 Mio. Tonnen Glas, 83 Mio. Tonnen Eisen und 13 Mio. Tonnen Nichteisen-Metalle lagern. Da vor 1975 noch weniger Abfall getrennt und recycelt wurde, ist das Altdeponiepotenzial noch weitaus höher einzuschätzen (Fricke 2009). Ökologisch ist der Gewinn unumstritten, mit Ausnahme einzelner Standorte ist der Rückbau technisch und ökonomisch erst noch sicherzustellen.

Abbildung 4-13: Stoffablagerungen auf Abfalldeponien in Deutschland



Quelle: Faulstich et.al. 2009

Die Ablagerung wurde durch die Vorgaben der EU-Deponierichtlinie und der deutschen Abfallablagerungsverordnung bereits stark eingeschränkt. In Deutschland besteht das Ziel, bis zum Jahr 2020 alle Siedlungsabfälle vollständig durch Weiterentwicklung und Ausbau der Behandlungstechniken zu verwerten, so dass die Deponierung von Siedlungsabfällen ganz eingestellt werden kann. Da immer weniger deponiert, sondern verbrannt wird, stellt sich zunehmend auch die Aufgabe, den Verbrennungsrückstand von Müllverbrennungsanlagen zur Gewinnung von Wertstoffen zu nutzen. Diese enthält verschiedene Metalle, insbesondere Eisen (10%), Aluminium (2%) und Kupfer (1%). Pilotanlagen konnten zeigen, dass die Aufbereitung der Schlacke durch den Erlös für die Nichteisenmetalle kostendeckend durchgeführt werden kann (Umtec, Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik, Schweiz). Zwei Drittel der in den Rückständen enthaltenen Metalle lassen sich zurückgewinnen.

Es geht aber nicht nur um „Re-Mining“ der Abfalldeponien und Metallrückgewinnung aus der MVA-Schlacke, sondern generell um die Erschließung des Bestandes der in Nutzung befindlichen Infrastrukturen und Produkte. Nach Angaben des Sachverständigenrates für Umweltfragen der

Bundesregierung ist das vom Menschen angelegte Lager von Kupfer im Gebäude- und Infrastrukturbestand heute schon größer als die derzeit bekannten Reserven (SRU 2005; Angrick 2010). Altprodukte, Wertstoffhöfe und Schrottplätze bilden „anthropogene Lagerstätten“ für die Rückgewinnung von Technologiemetallen. Mit modernen Recyclinganlagen können die meisten Metalle mit guten Ausbeuten zurückgewonnen werden. Voraussetzung ist, dass Altgeräte vollständig erfasst, entlang der Recyclingkette die relevanten Fraktionen separiert und den am besten geeigneten metallurgischen Verfahren zugeführt werden.

Abbildung 4-14: Neue Paradigmen

Neue Paradigmen	Kernelemente
Non-Destructive Recycling	Zerstörungsfreies Recycling von Werkstoffen, beispielsweise durch Wiederverwertung von Stahl oder Aluminium ohne die Altstoffe aufzuschmelzen („Reuse without melting“).
Urban Mining	Nutzung des anthropogenen Materialbestands, der sich in Gebäuden, Infrastrukturen, Fabriken, Maschinen, Autos und anderen Gütern befindet, als Ressourcenpotenzial
Smart Recycling	Recycling von Technologiemetallen, die in geringen Mengen eingesetzt werden.
Metallrückgewinnung aus Schlacke von Müllverbrennungsanlagen	Nutzung des Verbrennungsrückstands von Müllverbrennungsanlagen zur Gewinnung von Metallen. Dieser enthält verschiedene Metalle, insbesondere Eisen, Aluminium und Kupfer. 2/3 der in den Rückständen enthaltenen Metalle lassen sich zurückgewinnen.

4.5 Fazit

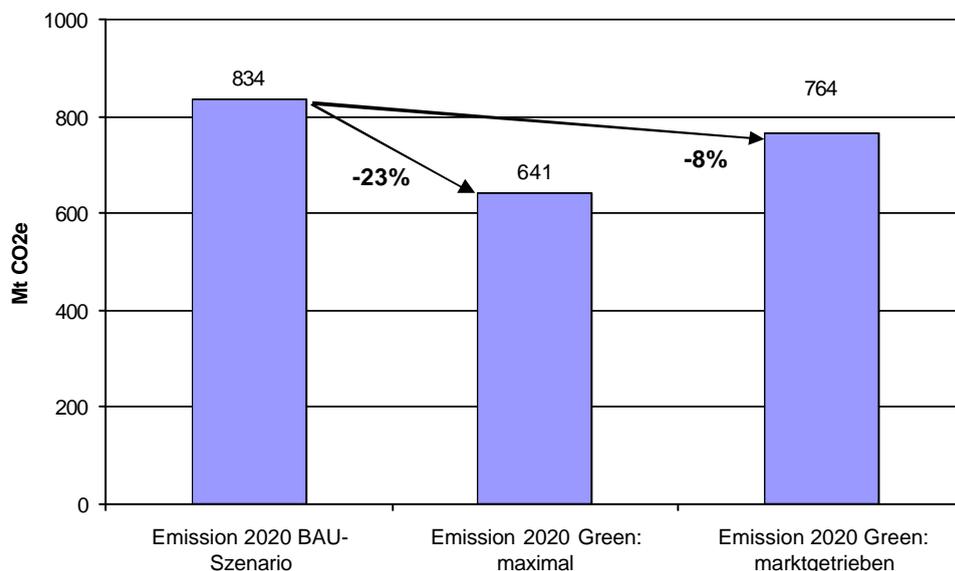
Die Analyse der Strategiefelder macht bezüglich der Ressourceneffizienzpotenziale mehrere Dinge klar:

1. Informations-, Kommunikations- und Automationstechniken verfügen über ein beachtliches Ressourceneffizienzpotenzial. Ihre Geräte und Systeme können einen großen Beitrag zur Material- und Energieeffizienz und zum Klimaschutz leisten. So gehen Potenzialabschätzungen für Deutschland davon aus, dass im Jahr 2020 rund 194 Mrd. Tonnen CO₂-Äquivalente (CO₂eq) durch die intelligente Nutzung von IKT vermieden werden können. Das entspräche rund 23% der für 2020 angenommenen Emissionen in Höhe von 843 Mrd. Tonnen CO₂eq. Abschätzungen für die Europäische Union gehen ebenfalls davon aus, dass bei optimaler und gezielter Nutzung von IKT diese zu einer Reduzierung des Energieverbrauchs von rund 15%, der Treibhausgasemissionen in der Größenordnung von rund 17% und 19% der Abfälle in der EU im Jahr 2020 beitragen können (siehe Abb. 4-14). Darüber hinaus hilft die Informations-, Kommunikations- und Automationstechnik die Materialeffizienz zu verbessern. Dieses Potenzial kann aber bis dato nur schwer und punktuell geschätzt werden.
2. Besonders große Ressourcenreduktionspotenziale werden im Bereich der Gebäudeautomation und der Logistik gesehen. Teilweise ließen sich mit vergleichsweise einfachen technologischen

Maßnahmen, wie beispielsweise dem Einsatz von Frequenzumrichterantrieben, große Reduktionspotenziale erschließen. Der Beitrag der Substitution physischer durch digitale Güter (Zeitungen, Zeitschriften, E-Mails, Fotos, Musik usw.) ist (nach Schätzung der BCG) vergleichsweise gering. In der Studie des IPTS wird virtuellen Gütern das größte Treibhausgasminderungspotenzial zugewiesen, was vor allem darauf zurückzuführen ist, dass dieser Ansatz wesentlich breiter gefasst ist und auch Dienstleistungen zur Nutzungsintensivierung umfasst. Hier spiegeln sich unterschiedliche Systemgrenzen, Annahmen und Dateninventare wider.

- Die Analyse wichtiger Handlungsfelder für Ressourceneffizienz zeigt auch, dass das technische Potenzial weit höher liegt, als das Potenzial, das unter den derzeitigen Bedingungen realisiert werden kann. So sind die verschiedenen Ansatzpunkte nach ihrer geschäftlichen Attraktivität höchst unterschiedlich. Nach BCG kann nur ein Drittel des gesamten theoretischen Potenzials als marktgetrieben gelten. Dabei handelt es sich insbesondere um Ansätze im Bereich der industriellen Systemautomatisierung, energieeffizienter Elektromotoren und des Gebäudemanagements. Weniger attraktiv sind u.a. intelligente Fahrzeugnavigation, Fahrerassistenzsysteme und eine IKT-optimierte Verkehrsflusssteuerung, obgleich hier mit die größten CO₂eq-Reduktionspotenziale zu verzeichnen sind.

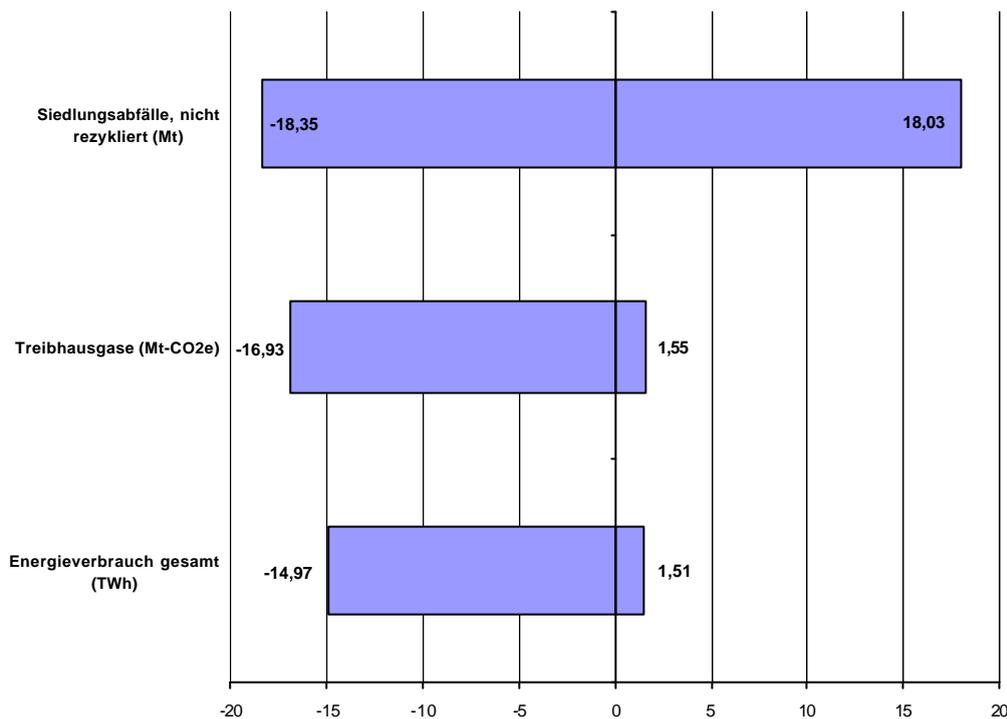
Abbildung 4-15: Marktgetriebenes CO₂eq-Reduktionspotenzial durch IKT Anwendungen bis 2020 in Deutschland



Quelle: nach BCG 2009

Auch die an Szenarien orientierten Potenzialabschätzungen des IPTS zeigen, dass die Ressourceneffizienzpotenziale nur dann realisiert werden, wenn die politischen und ökonomischen Rahmenbedingungen einen effizienten Umgang mit natürlichen Ressourcen befördern. Andernfalls besteht sogar die Gefahr, dass Wachstumseffekte die Einsparungen kompensieren und die Gesamtbelastung steigt.

Abbildung 4-16: Szenariobasierte Abschätzung von Ressourceneffizienzpotenzialen durch IKT in der EU, 2000-2020 nach IPTS



Die Ergebnisse beziehen sich auf eine „ICT freeze in 2000“ Simulation bis 2020 und spiegeln primäre, sekundäre und tertiäre Umwelteffekte wider.

Quelle: IPTS 2004

- Die ausgewerteten Studien machen insgesamt deutlich, dass das volle Marktpenetrationspotenzial teilweise noch nicht oder nur sehr langsam ausgeschöpft werden kann. Dessen Erschließung setzt erhebliche und gezielte Anstrengungen sowohl auf Seiten der Politik und der Wirtschaft als auch bei den Anwendern voraus und erfordert, dass potenziellen Reboundeffekten aktiv entgegen zu wirken ist.

5. Erschließung von Ressourceneffizienzpotenzialen

Mit Blick auf die Erschließung möglicher Ressourceneffizienzpotenziale sind mehrere Entwicklungspfade denkbar.

Abbildung 5-1: Entwicklungspfade zur Erschließung von Ressourceneffizienzpotenzialen bis 2020

Typ	„Inkrementalismus“	„Beschleunigung“	„Neue Paradigmen“
Ausprägungen	Effizienzfortschritte setzen sich in gewohnter Geschwindigkeit fort Beibehaltung eingeschlagener Technikpfade Geringe Innovationstiefe Marktgetrieben	Existierende technische Möglichkeiten kommen stärker zum Einsatz Beschleunigte Marktdiffusion ressourceneffizienter Lösungen Anreizsetzende Rahmenbedingungen	Verlassen dominanter Logiken Grundlegend neue Technologien neue Nutzungskonzepte Systemlösungen Anreizsetzende Rahmenbedingungen
Rolle der Informations-, Kommunikations- und Automationstechnik	Intelligente Anwendungen und Lösungen unterstützen Effizienzmaßnahmen	Intelligente Anwendungen und Lösungen unterstützen Effizienzmaßnahmen	Enabler für andere Branchen und Sektoren
Ressourceneffizienz	bis 2,4%/a	2,4 bis 4,8%/a	> 4,8%/a

5.1 „Inkrementalismus“

Die bisherigen Effizienzfortschritte setzen sich in gewohnter Geschwindigkeit fort („Business as usual“). Informations-, Kommunikations- und Automationstechnik hat in den vergangenen Jahren mit dazu beigetragen, dass durch effizientere Maschinen, Anlagen und Produkte sparsamer Rohstoffe und Energie genutzt wurden. Sofern in Zukunft ähnlich große Effekte eintreten, bleiben die Ressourceneffizienzfortschritte auf dem bisherigen Niveau, das heißt rund 0,8% (Energie) bis 2,4% (Rohstoffe) pro Jahr. Die festgestellten Ressourceneffizienzpotenziale setzen sich nur in begrenztem Umfang durch. Die Unternehmen reizen eingeschlagene Technikpfade erst einmal aus. Technologische Erneuerungen sind an betriebliche Innovationszyklen gebunden, so dass weitreichende Fortschritte in dem Zeitraum kaum zu erwarten sind. Die Gründe liegen generell im Vermeiden von Risiken, fehlenden Marktanreizen, Kapitalmangel und Informationsdefiziten. Einmal eingeschlagene Technologielinien werden deshalb erst abgelöst, wenn die Vorteilhaftigkeit konkurrierender Technologien offensichtlich wird, es sei denn außergewöhnliche Wettbewerbsbedingungen oder wirtschafts- und umweltpolitische Rahmenbedingungen erzwingen dies. Die Pfadabhängigkeit der technologischen Entwicklung wird von verschiedenen Faktoren

begünstigt, so verfügen etablierte Technologien über eine Reihe von Vorteilen, die den Marktdurchbruch für Innovationen erschweren (Linscheidt 1999). Aufgrund verschiedener Hemmnisse sind in den nächsten Jahren lediglich Fortschritte relativ geringer Innovationstiefe zu erwarten, größere Fortschritte finden (wie bisher auch) nur in Teilbereichen statt. Deshalb kann nicht davon ausgegangen werden, dass sich die Zunahme der Ressourceneffizienz beschleunigt.

5.2 „Beschleunigung“

Bereits heute sind viele ressourceneffiziente Informations-, Kommunikations- und Automatisierungslösungen verfügbar. In Einzelfällen können bis zu 70% Ressourcen eingespart werden. Allerdings ist die Verbreitung sehr unterschiedlich, teilweise haben ressourceneffiziente Lösungen bisher nur geringe Marktanteile, und selbst kostenneutrale und -sparende Effizienzmaßnahmen werden oft nicht realisiert. Gründe sind fehlende Lebenszykluskostenrechnungen, Entscheiderstrukturen oder Umrüstkosten, die einer Modernisierung entgegen stehen. War früher die zu langsame Vermarktung von Produktentwicklungen das Problem („time to market“), ist es heute die zu langsame Diffusion im Markt („time to supplier“). Hotspots mit denen durch Beschleunigung spürbare Beiträge zur Steigerung der Ressourceneffizienz geleistet werden können, sind energieeffiziente Drehstrommotoren und Druckluftanlagen. In Deutschland laufen rund 35 Mio. Drehstrommotoren in Industrie und Gewerbe, der überwiegende Teil davon mit niedrigen Wirkungsgraden und ohne Drehzahlregelung. Bei natürlicher Austauschrate von 3 bis 4% pro Jahr würde es über 20 Jahre dauern, bis der Bestand erneuert ist. Durch die beschleunigte Diffusion intelligenter Energiesparmotoren (mit Drehzahlregelung) könnten bis 2020 rund 38 Mrd. kWh eingespart werden. Das entspräche 23 Mio. Tonnen CO₂, und damit 6% der CO₂-Emissionen des gesamten Industriesektors in Deutschland. Bei der Drucklufterzeugung können durch Umbau und Modernisierung der Anlagen bis zu 40% der Energie eingespart werden. Um ein Entwicklungspfad einzuschlagen, in dem große Einsparpotenziale im installierten Bestand im Zeitraum bis 2020 zu heben („beschleunigte Marktdiffusion“) sind, sind veränderte Rahmenbedingungen und anreizsetzende Maßnahmen der Politik (auf Basis der EuP-Richtlinie) notwendig. Erst veränderte Rahmenbedingungen wirken über bestehende Anreize hinaus zusätzlich stimulierend auf die Nachfrage nach ressourceneffizienten Informations-, Kommunikations- und Automatisierungslösungen und können damit die Erschließung von Ressourceneffizienzpotenzialen beschleunigen. Neben steigenden Rohstoffpreisen spielt die Ausgestaltung der nationalen und globalen Umweltpolitik (z.B. der Klimaschutzziele) eine wichtige Rolle. Einen signifikanten Einfluss hat selbstverständlich die nationale Wirtschafts- und Fiskalpolitik mit den damit verbundenen positiven und negativen Anreize im Markt. Sie ist ein wichtiger Treiber, der sowohl die Größe der Märkte als auch die Technologieentwicklung maßgeblich beeinflussen wird.

5.3 „Neue Paradigmen“

Trotz aller Fortschritte zu mehr Effizienz bleiben doch die Möglichkeiten innerhalb der bestehenden Technologienlinien begrenzt. Schätzungen gehen von 20% der Materialkosten aus, die durch effiziente

Technologien eingespart werden könnten. Weitergehende Einspareffekte lassen sich erzielen, wenn dominante Technologielinien und Logiken verlassen werden. Dies ist z.B. der Fall, wenn es sich um grundlegend neue Technologien handelt, es um neue Nutzungskonzepte geht oder Systemlösungen entwickelt werden sollen, die eine Bündelung von Leistungen verschiedener Akteure zu einem funktionsfähigen Nutzungssystem erforderlich machen. Neben unternehmensbezogenen Visionen spielen vor allem branchenbezogene Leitbilder eine zentrale Rolle. In der Analyse konnte eine Reihe neuer Entwicklungslinien (Paradigmen) identifiziert werden, die sich bereits heute abzeichnen und das Potenzial haben, zukünftig ressourceneffizienzsteigernde Hebelwirkungen entfalten zu können.

Total Cost of Ownership: TCO-nutzende Betriebe setzen verstärkt auf Energieeffizienztechnologien. So werden Effizienztechnologien in den Betrieben des Verarbeitenden Gewerbes 1,5 bis 3,5 mal häufiger eingesetzt, als in Betrieben, die hauptsächlich nach den Investitionskosten entscheiden. Bisher werden TCO oder vergleichbare Lebenszykluskostenberechnungen kaum von Betrieben angewendet, lediglich 14% nutzen solche Instrumente um Investitionsentscheidungen zu unterstützen.

Null-Ausschuss-Produktion: Gelingt es, durch Null-Ausschuss-Produktion (fehlerfrei, verlustfrei) die Fertigung fehlerhafter Komponenten zu vermeiden, kann ein bedeutender Beitrag zur Ressourcenschonung geleistet werden. Die erzielbaren Einsparungen sind stark branchen- und prozessabhängig. In der Metallbearbeitung liegt ein großes Potenzial in der Vermeidung von Blech- und Stanzabfällen. So fallen bis zu 60% der Bleche in der Automobilproduktion als Abfall an. In der Fotovoltaikindustrie lassen sich über die Hälfte der Material- und Energiekosten in der Produktion durch ressourceneffiziente Maßnahmen einsparen. Durchschnittlich kann mit Ressourceneinsparungen zwischen 20 und 30% gerechnet werden.

Betreiben statt verkaufen: Neue dienstleistungsorientierte Geschäftsmodelle in der Produktion, bei denen eine Entkopplung der Erträge von der Menge der hergestellten und verkauften Produkte gelingt, tragen zur Ressourceneffizienz bei. In der Industrie wächst der Bedarf, durch nutzungsorientierte Dienstleistungen neue Geschäftsfelder zu erschließen und Wertschöpfungspotenziale über Fertigung und Vertrieb hinaus zu schaffen. Nicht der Produktabsatz steht im Vordergrund, sondern die Erbringung von Dienstleistungen, die Maschinen und Anlagen effizienter und flexibler einsetzbar machen. Ansätze gibt es beim Maschinenbau, wo über Betreibermodelle der Anlagenhersteller auch die Produktion übernimmt. Bereits seit längerem wird in der Chemieindustrie das Chemikalienleasing betrieben. Beim Chemikalienleasing bezahlt der Anwender nicht für eine Chemikalienmenge, sondern für den Nutzen. Die bisherigen Geschäftsmodelle zeigen, dass sich die eingesetzten Chemikalien deutlich reduzieren lassen. Chemikalienleasing wird erfolgreich angewendet, aber bisher nur im geringen Umfang praktiziert. Potenziale liegen im Betrieb von Hilfs- und Nebenprozessen, die nicht zur Kernkompetenz eines Chemikalienanwenders gehören.

Production on demand: Production on demand bedeutet, dass erst nach dem Kauf das nachgefragte Produkt hergestellt wird. Eine Überschussproduktion ist somit ausgeschlossen. Der Ressourceneinsatz verringert sich, Lager- und Kapitalbindungskosten werden ebenfalls reduziert. Dieses Geschäftsmodell

wird bei Einzel- und Kleinserienfertigung schon lange praktiziert. In der Großserien- und Massenfertigung von Konsum- und Investitionsgütern ist es bisher wenig verbreitet. Potenziale sind dort groß, wo beträchtliche Überschüsse regelmäßig anfallen. Dies ist im Printbereich der Fall, wo der Überschuss bei Tageszeitungen rund 20%, bei Büchern 30% und bei Magazinen durchschnittlich 50% beträgt (Sellmann et. al. 2009), die alle ungenutzt im Abfall landen. Durch digitales Drucken wird Printing on demand erst praktikabel, so dass sich unnötig hoher Überschuss an Druckerzeugnissen verringern ließe. Außerdem entfällt die bei analogen Druckverfahren übliche lange Einstell- und Probelaufzeit mit dem Papierverbrauch. Diese Ziele werden aber nicht durch das Vorhandensein der bloßen technischen Möglichkeit erreicht; es handelt sich lediglich um Potenziale. Die Marktfähigkeit hängt letztlich von Geschäftsmodellen mit akzeptabler Preisgestaltung und attraktiven Dienstleistungen ab, die auf Basis dieser Technologie realisiert werden. Wirtschaftspolitische Rahmenbedingungen können derartige Entwicklungen zwar begünstigen und hemmen; ursächliche Wirkung könnten sie jedoch erst durch massive Subventionen bzw. Belastungen entfalten.

Online -Handels- und Auktionsplattformen für Gebrauchtgüter: Online-Handels- und Auktionsplattformen schaffen einen „Quantensprung“ im Gebrauchtwarenhandel und fördern eine „Wiederverkaufskultur“. Durch das Internet werden nicht nur lokale oder regionale Reichweiten erzielt, sondern erheblich mehr Nutzerkreise erreicht als dies bisher über Second-Hand-Märkte der Fall war. Der große Zuspruch erklärt sich aber nicht nur aus geringen Transaktionskosten. Für die zunehmende Bedeutung von Gebrauchtgütermärkten sind auch sekundäre Funktionen wie Spaß am Kaufen und Verkaufen sowie Community-Effekte ausschlaggebend. Chancen zur Erschließung bisher nicht genutzter Ressourceneffizienzpotenziale bestehen bei Aktivierung brachliegender Güter und der Weiterentwicklung internetgestützter Gebrauchtwarenmärkte. In deutschen Haushalten werden einer im Auftrag von eBay durchgeführten Erhebung zufolge Gebrauchtgüter mit einem durchschnittlichen Wert von 1.013 Euro aufbewahrt. Hochgerechnet sind das über 40 Milliarden Euro. Spitzenreiter sind hier Medien (Bücher, CDs, DVDs etc.), Unterhaltungselektronik und Produkte aus dem Bereich Hobby und Sport. Eine große Mehrheit (86,8 Prozent) kann sich vorstellen, in Zukunft häufiger gebrauchte Produkte zu verkaufen (Henseling 2010).

Virtualisierung und Green Cloud Computing: Die heutige Computerhardware wurde zur Ausführung eines einzelnen Betriebssystems und einer einzelnen Anwendung entwickelt. Damit sind die meisten Maschinen nicht ausgelastet. Virtualisierung bietet die Option, mehrere virtuelle Maschinen auf einem physischen Computer auszuführen, wobei die Ressourcen dieses einzelnen Computers von mehreren Umgebungen gemeinsam genutzt werden. Anwendungspotenziale liegen bei Standardarbeitsplätzen mit typischen Anwendungen, vorhersehbarer Hardwareauslastung und stabil laufender Software. Vielversprechende Ressourceneffizienzpotenziale bieten Thin Clients, also Rechner, die auf Ein- und Ausgabe beschränkt sind. Die Daten, auf die der Benutzer zugreift, liegen dabei auf einem zentralen Server, ebenso ein Großteil des Betriebssystems. Studienergebnisse zeigen, dass dadurch Energieeinsparungen von bis zu 60 Prozent erreicht werden. Außerdem tragen Thin Clients erheblich zu Material- und Ressourceneinsparungen bei, da Thin Clients deutlich kleiner sind und nur 27 bis 31 Prozent des Gewichts einer vergleichbaren PCs aufweisen. Im Durchschnitt werden

in einem Thin Client 2,43 kg an Komponenten verbaut, in einem PC 8,96 kg. Der Einsatz von Thin Client-Lösungen seit Ende der 90er Jahre zeigt nicht nur, dass die Systeme in Firmen und Verwaltung praxistauglich sind, sondern auch, dass die Betriebskosten von Thin Client & Server Based Computing deutlich niedriger liegen als bei vergleichbaren PC-Anwendungen und zu Einsparungen von bis zu 60% beitragen können. Um jedoch das volle Potenzial auszuschöpfen, muss der Einsatz von Thin Clients Hand in Hand gehen mit dem Aufbau energieeffizienter Rechenzentren.

Pay-per-use: Pay per use wird seit mehreren Jahren als eigentumersetzende Form des Konsums diskutiert und erprobt. Ökologisch kann per pay use „eine intensivere Nutzung materieller Güter bewirken und dadurch zu einem effizienteren Einsatz von Ressourcen beitragen, etwa indem langlebigere Produkte zum Einsatz kommen, die Geräteauslastung verbessert wird oder Effizienzfortschritte durch einen schnelleren Produktwechsel bei Vermietungsflotten besser berücksichtigt werden können“ (Scholl 2010). Mit der Nutzungsintensivierung können aber auch unerwünschte ökologische ‚Nebenwirkungen‘ verbunden sein. Etwa dann, wenn Pay per use zu einem übermäßigen Verschleiß führt oder zusätzliche Transporte entstehen. Potenziale bieten sich bei selten genutzten Produkten und bei Gütern, die besonders kurzen Innovationszyklen unterliegen. Weitere begünstigende Faktoren sind die mit der Nutzung von Eigentum verbundenen Pflichten (Wartungs-, Reparatur- und Entsorgungsaufgaben) sowie die Möglichkeit durch das Mieten Geld zu sparen und bessere Produkte nutzen zu können. Pay-per-use ist im Medienbereich verbreitet. Mit Pay-per-Use bieten Verlage oder andere Anbieter von elektronischer Information eine Möglichkeit, z.B. einzelne Zeitschriftenartikel zu erwerben. Die insgesamt allerdings noch recht geringe Verbreitung des Pay-per-use kann darauf zurückgeführt werden, dass es ein starkes Bedürfnis nach Eigentum gibt. Sie sind Bestandteil von etablierten Konsumpraktiken, weshalb ihre Nutzung weitgehend von Gewohnheiten geprägt ist und Gewohnheiten lassen sich nur schwer verändern (Scholl 2010). Im Verkehrsbereich scheinen sich Veränderungen abzuzeichnen: Während das klassische Car Sharing nur langsam expandiert, weiten innovative Konzepte wie etwa „car2go“ von Daimler in Ulm oder bemobility in Berlin der Deutschen Bahn das Entwicklungspotenzial des Autoteilens deutlich aus. Voraussetzung sind internetbasierte Plattformen und Softwarelösungen. Erwartet werden umwelt- und verkehrsentlastende Effekte, die daraus resultieren, dass sich die Verkehrsmittelwahl zugunsten öffentlicher Verkehrsmittel verlagert und die Fahrzeugflotte insgesamt reduziert wird. Auch hier spielen die wirtschafts- und fiskalpolitischen Rahmenbedingungen eine entscheidende Rolle, da sie darüber entscheiden, ob alle Kosten, die in der Umwelt/Gesundheit oder in der Zukunft anfallen, von Marktpreisen gedeckt sind.

Kopplung von Abwasser-, Abfall- und Energielösungen: Erhebliche Ressourceneffizienzpotenziale konnten im Bereich der energetischen und stofflichen Nutzung des Abwassers identifiziert werden. Wasserbetriebe haben einen erheblichen Bedarf an elektrischer Energie. Alleine die kommunalen Kläranlagen in Deutschland benötigen 4 TWh/a. Daher gewinnen energiesparende Anlagen und Komponenten an Bedeutung. Es wird geschätzt, dass durch Energiesparmaßnahmen und Optimierung des Betriebes bis zu 25% eingespart werden können. Weitergehende Konzepte zielen auf eine „energieautarke“ Kläranlage. Möglich wird dies durch eine Kombination verschiedener Maßnahmen,

insbesondere der „Rückkehr“ zu anaeroben Verfahren als Energielieferanten (Faulgas), der Optimierung energieverbrauchender Systeme (z.B. Belüftung), der Abwasserwärmenutzung und durch neue energieeffiziente Behandlungs- und Reinigungsverfahren. Durch Ausrüstung aller 2200 großen Kläranlagen (größer als 10.000 Einwohnerwerte) mit Blockheizkraftwerken und durch Optimierung der vorhandenen Anlagen könnte die Stromproduktion aus Klärgas verdoppelt werden. Noch größer ist das nicht genutzte Abwärmepotenzial im Abwasser. Pro Tag fallen in Deutschland rund 40 Mio. m³ Abwasser an. Durchschnittlich lassen sich aus 1 m³ Abwasser 2 bis 3 kWh Heizenergie gewinnen. Bei 10°C bis 15°C (im Januar und Februar) könnten ca. 5% bis 10% aller angeschlossenen Haushalte mit dieser Wärme versorgt werden. Voraussetzung für eine wirtschaftliche Nutzung der Abwasserenergie ist die Nähe des Energieverbrauchers zu einem großen Abwasserkanal oder einer Kläranlage. Erst langfristig realisierbar ist die Wiedergewinnung von Phosphor aus dem Klärschlamm. Zwar wird die Klärschlammverbringung auf Felder zunehmend verringert, die Verfahren zur Rückgewinnung des Phosphors vor der Klärschlammverbrennung befinden sich aber noch in Entwicklungs- und Pilotstadien. Alle Verfahren sind noch mit erheblichen Energie- und Chemikalieneinsatz verbunden. Auch fehlt es noch an kostengünstigen Verfahren für eine großtechnische Umsetzung.

Metallrückgewinnung aus MVA-Schlacke: Im Verbrennungsrückstand von Müllverbrennungsanlagen (MVA) liegt ein erhebliches Ressourcenpotenzial. Dieses enthält verschiedene Metalle, insbesondere Eisen, Aluminium und Kupfer. Die Aufbereitung der Schlacke ist durch den Erlös für die Nichteisenmetalle in Einzelfällen bereits. Zwei Drittel der in den Rückständen enthaltenen Metalle könnten zurückgewonnen werden. Damit die Metallgewinnung aus Schlacke in Müllverbrennungsanlagen sich durchsetzt, bedarf es verbindlicher Anforderungen für den maximalen Metallgehalt deponierter Schlacke.

Non-destructive Recycling: Zerstörungsfreies Recycling von Werkstoffen, beispielsweise durch Wiederverwertung von Stahl oder Aluminium ohne die Altstoffe aufzuschmelzen („Reuse without melting“). Büropapier könnte alternativ zum konventionellen Recycling (regionale Sammlung, De-Inking etc.) im Büro gesammelt und durch Rückgewinnung des Toners wiederverwendet werden (Alwood, Julian, University of Cambridge, Department of Engineering)

Smart Recycling: Vom massenorientierten Recycling zur Verwertung von seltenen Technologiemetallen, die nur in vergleichsweise geringen Mengen abgebaut und verwendet werden. Die Ressourcenbasis für Technologiemetalle verschiebt sich in die Technosphäre. Altprodukte, Wertstoffhöfe und Schrottplätze bilden „anthropogene Lagerstätten“ für die Rückgewinnung von Technologiemetallen. So steckt in 41 Mobiltelefonen ein Gramm Gold. Dafür müssten bei der Primärgewinnung 1 Tonne Erz bewegt werden. Mit modernen Recyclinganlagen können die meisten Metalle mit guten Ausbeuten zurück gewonnen werden. Voraussetzung ist, dass Altgeräte vollständig erfasst, entlang der Recyclingkette die relevanten Fraktionen separiert und den am besten geeigneten metallurgischen Verfahren zugeführt werden.

Urban Mining: Große Rohstoffmengen finden sich in Gebäuden, Infrastrukturen, Fabriken, Maschinen, Autos und anderen Gütern. Für die USA wird geschätzt, dass die Hälfte des abbaubaren

Kupfers heute in der Infrastruktur steckt, also in Telekommunikation, Stromleitungen etc. Im Steine- und Erden-Sektor ist das Baustoffrecycling eine relativ junge Entwicklung. Aktuell werden 86% verwertet. Stahl, Kupfer und Blei haben einen Recyclinganteil am Gesamtverbrauch von über 50%. Die Recyclingraten von Lötzinn, das in Leiterplatten eingesetzt wird, liegt bei rund 10%.

Abbildung 5-2: Neue Entwicklungslinien mit ressourceneffizienzsteigernden Hebelwirkungen

Optionen	Potenziale	Markttreiber			Hindernisse
		Niedrig	Mittel	Hoch	
Total Cost of Ownership	14 % der Betriebe nutzen TCO		●		Entscheidungsstrukturen
Null-Ausschuss-Produktion	20-30% Materialeinsparung Prozessabhängig		●		Kosten
Virtuelle Fabrik	Keine Angaben			●	Kosten, Komplexität
Betreiben statt verkaufen	Keine Angaben	●			Transaktionskosten, Wettbewerb
Production on demand	Verlustvermeidung: bei Print: 20 bis 50%			●	Kosten
Wiederverkaufskultur	Substitution von Neukäufen, produktspezifisch bis 40%			●	Transaktionskosten, Sicherheit
Virtualisierung - Web based Computing	Bis 60% des Energieverb. von PC-Anwend.			●	Datenschutz, Akzeptanz
Pay per use – Nutzen statt besitzen	produktspezifisch	●			Akzeptanz
Kopplung Abwasser, Abfall, Energie	Energieautarke Kläranl., Energiegewinnung		●		Kosten, Verfahrenstechnik
Metallrückgewinnung aus KVA-Schlacke	2/3 der enthaltenen Metalle	●			Kosten
Non destructive Recycling	Keine Angaben	●			Verfahrenstechnik, Kosten
Smart Recycling	Keine Angaben, stoffspezifisch		●		Export, Rückführlogistik
Urban Recycling	Keine Angaben	●			Kosten

eigene Darstellung auf Basis der ausgewerteten Roadmaps

5.4 Informations-, Kommunikations- und Automationstechnik als Enabler

Informations-, Kommunikations- und Automationstechniken können solche „Hot spots“ als Enabler unterstützen und damit Innovationssprünge für mehr Ressourceneffizienz ermöglichen.

Von branchenübergreifendem Interesse sind *Sensoren*, welche die realen Betriebszustände von Maschinen und Anlagen sowie mechanischen Verschleiß von Bauteilen und Komponenten erfassen, um eine Ferndiagnose und proaktive Wartung zu ermöglichen (Asset Management). Der Bedarf an preiswerten Sensoren mit hoher Toleranz bezüglich der Einsatzbedingungen (Temperatur, Vibrationen, Stöße, Luftfeuchtigkeit etc.) steigt. In der Fertigungstechnik besteht Bedarf an preiswerten und zuverlässigen Bilderkennungssensoren, die zur Optimierung des Handlings z.B. mit Robotern eingesetzt werden können. In der Prozesstechnik, insbesondere beim Transport und der Umwandlung von Fluiden wird zunehmend produktionsintegrierte Echtzeitmessung von Prozessparametern nachgefragt („Inline“ und „Online“).

Vernetzung und Kommunikation ist von zentraler Bedeutung, da es zur Beherrschung komplexer Systeme und Prozesse und insbesondere dezentralisierter Strukturen unabdingbar ist. Wesentliche Impulse kommen aus der Informations- und Kommunikationstechnikbranche. Industrial Ethernet ermöglicht eine durchgängige Kommunikation von der Automatisierungsebene zur Office-Ebene und die Anbindung an das weltweite Internet. Dies ermöglicht eine bessere Einbindung der Automatisierungstechnik in die IT-Welt. Die Auto-Identifikation mit RFID ermöglicht eine effizientere Logistik in Produktion, Distribution, Recycling und Entsorgung sowie das Tracking und Tracing jeglichen Gutes, wo immer Qualitäts- oder Sicherheitsfragen relevant sind. Kooperierende Robotersysteme können in der Fertigungstechnik dazu dienen, die Produktion hinsichtlich unterschiedlicher Produkte zu flexibilisieren. Insbesondere beim Einsatz vieler Sensoren, aber teilweise auch aus hygienischen Gründen sind drahtlos und flexibel vernetzte Sensornetze eine attraktive Entwicklungslinie.

Leistungsfähige *Modelle und Software* sind erforderlich, um komplexe Prozesse zu beherrschen. Ein wichtiger Aspekt dabei ist die Strukturierung und Verdichtung der infolge der Verbilligung der Informations- und Kommunikationstechnik einschließlich der Sensoren generierten Datenflut, deren Potenzial zur Wissensgenerierung bei weitem nicht ausgeschöpft ist. „Soft Sensors“ oder auch „Virtuelle Sensoren“ stehen für die indirekte Ermittlung nicht gemessener Parameter über einfache messbare Größen und mathematische Modelle. Für eine proaktive Prozesssteuerung ist eine Ideal/Real-Prozessmodellierung erforderlich. Zu den wichtigen Anwendungsszenarien gehört das proaktive Eingreifen bei schleichenden Qualitätsverschlechterungen. Durch automatische Meldeverdichtung wird die Darstellung detaillierter Informationen vermieden, was die Prozesssteuerung und das Alarmmanagement in komplexen Anlagen und Systemen vereinfacht. Manufacturing Execution Systems überbrücken die Lücke zwischen Anlagensteuerung und Produktionsplanung. Durch diese Middleware kann die Gesamtsystemoptimierung über den Produktionsprozess hinaus ausgedehnt werden. Simulations- und Assistentensysteme können dazu eingesetzt werden, die mannigfaltigen Informationen über komplexe Prozesse handlungsrelevant aufzubereiten. Der Entwicklungsbedarf liegt hierbei vor allem in der weiteren Optimierung.

Steigender ökonomischer Druck, wachsende Qualitätsanforderungen sowie die Notwendigkeit der Beherrschung komplexer Prozesse fördern die Nachfrage nach immer aufwändigeren Managementkonzepten. Wichtiger Treiber ist die *Verschmelzung virtueller und physischer Welten*, wie sie in Konzepten zum „virtuellem Verkehr“, „virtuellen Kraftwerken“ und „virtuellen Fabriken“ zum Ausdruck kommt. Wichtige Aufgaben für die Informationstechnik und Automatisierung sind z.B. die vorbeugende Wartung und das Sicherheitsmanagement. In der „Virtuellen Fabrik“ oder auch „Digitalen Fabrik“ werden alle relevanten Prozesse mittels eines Netzwerkes digitaler Modelle simuliert, um z.B. Fertigungsprozesse virtuell in Betrieb zu nehmen. Das Management-Leitbild „Digitale Fabrik“ erstreckt sich vom FuE-Bereich über die Produktion bis hin zur Wartung/Instandhaltung, Logistik sowie Schulung und Training. Im „virtuellen Kraftwerk“ sind unterschiedliche Stromproduzenten über eine zentrale Leittechnik miteinander vernetzt. Die Spanne der Einsatzmöglichkeiten reicht von der heutigen Einbindung konventioneller Kraftwerke über die

zukünftige massenhafte Einbindung regenerativer Energieträger mit schwankendem natürlichem Angebotspotenzial bis hin zur Spotmarkt-gesteuerten Stromproduktion. Die Vision eines intelligenten Netzes (Smart Grid), in dem sich dezentrale Energieanlagen im Plug & Play Verfahren an zentralen Leitwarten anmelden, Kunden sich online detailliert über ihre Stromverbraucher im Haushalt informieren können und Netze automatisiert Fehler erkennen und beheben, könnte in einigen Jahrzehnten Realität werden. Heute schon werden die dafür benötigten Technologien entwickelt und demonstriert. Im „Virtuellen Verkehr“ operieren zum Beispiel selbstfahrende Einheiten zum Transport von Gütern und Personen in einem Gesamtkonzept für die Schiene. Hierunter fallen auch verbrauchernahe Konzepte bei Überwachung und Training des Fahrverhaltens sowie die intelligente Fahrzeugnavigation und –elektronik auf Basis von aktuellen Emissionsberechnungen und –analysen. Zentrale Optimierungsaufgaben sind Routenmanagement, Kapazitätsmanagement sowie Sicherheits- und Energiemanagement.

Durch Automatisierungsprozesse werden die *Mensch/Maschine-Interaktionen* verändert bzw. gänzlich durch Maschine/Maschine-Kommunikation ersetzt. Das Ablesen von Verbrauchsständen durch fernauslesbare Verbrauchszähler z.B. für Wasser, Strom und Gas kann erheblich zur Kostenreduktion beitragen. Das Ablesen entfällt und wird durch eine digitale Datenübertragung ersetzt. Intuitive Benutzerführung können die Bedienung erleichtern und auch Fehlbedienungen minimieren. Bislang erfolgte der Einsatz von Robotern in abgetrennten Sicherheitszonen. In Zukunft sollen Menschen und Roboter immer enger kooperieren, um die spezifischen Stärken dieser beiden Produktionsfaktoren auszunutzen.

Die hier aufgeführten Entwicklungslinien zeichnen sich bereits heute ab. Bei konsequenter Weiterentwicklung lassen sich zum einen große Marktpotenziale, zum anderen aber auch große Ressourcenschonungspotenziale erschließen.

6. Akzente für eine Ressourceneffizienzprogrammatik

Ziel der Bundesregierung ist es, die Rohstoffproduktivität bis 2020 gegenüber 1994 zu verdoppeln, was einer Halbierung der Rohstoffintensität entspricht. Seit Mitte der neunziger Jahre werden in der Nachhaltigkeitsdiskussion Schätzungen diskutiert, nach denen die Ressourcenintensität sogar um einen Faktor 4 bis 10 verringert werden müsste, soll das Lebensniveau des reichen Nordens auf den ganzen Globus übertragbar sein. Die technische Realisierbarkeit dieses Ziels wird in der Regel nicht bezweifelt (von Weizsäcker et al., 1995, 2010). Seit Jahren zielen verschiedene Forschungs-, Entwicklungs- und Beratungsprogramme auf einschlägige Fragen und können bereits eine Reihe interessanter Pilotprojekte vorzeigen, die Wettbewerbsvorteile von innovativen Technologien im Sinne der Ressourceneffizienz demonstrieren. Im Trend sind aber lediglich inkrementelle Verbesserungen (Szenario 1). Weitergehende Potenziale können im Rahmen der derzeit gegebenen politischen und wirtschaftlichen Rahmbedingungen nicht oder nur schwer gehoben werden. Gründe hierfür sind insbesondere:

- Ressourceneffizienzeffekte sind in Unternehmen bislang meist unbeabsichtigte Nebenfolgen. Ein Monitoring, das Ressourceneffizienzpotenziale systematisch aufspürt, fehlt bisher weitgehend.
- Ein Großteil der identifizierten Potenziale gilt derzeit als wirtschaftlich zu wenig attraktiv, da sie technisch komplex und mit hohen Anlaufinvestitionen verbunden sind.
- Fehlen sektoraler Anreizstrukturen, die es für einzelne Akteure nicht ausreichend attraktiv machen ihren Materialeinsatz zu senken.
- Kapitalmangel, Informationsdefizite, fehlende Anreize zur Materialkostensenkung sind häufig anzutreffende Defizite.
- Schwierigkeit komplexe, vernetzte und sich dauernd ändernde Ströme verschiedener Materialien zu erfassen.
- Unternehmen erwarten außerdem oft kurze Amortisationszeiten von Investitionen und übersehen mittelfristige Kostensenkungspotenziale.
- Pfadabhängigkeiten begünstigen inkrementelle Innovationen und erschweren Investitionen in radikale Innovationen und in Systeminnovationen (Bleischwitz, Jacob et.al. 2009).

Hinzu kommt, dass die Ressourcennutzung seit den 70er Jahren immer wieder öffentlich diskutiert wird, bisher konnte aber keine umfassende Ressourcenpolitik (vergleichbar der Energie- und Klimaschutzpolitik) umgesetzt werden. Im Zusammenwirken der verschiedenen Hemmnisse und Formen des Marktversagens ist festzustellen, dass Rohstoff- und Materialeffizienz noch keine Priorität hat. Das Interesse ist zwar in den letzten Jahren (infolge der Preisentwicklung auf den Rohstoffmärkten, temporären Rohstoffengpässen und der Klimaschutzdebatte) deutlich gestiegen, steht aber noch weit hinter dem Interesse an der Energieeffizienz. Einer Umfrage vom CHEManager in Kooperation mit der Unternehmensberatung Droege & Comp. zufolge setzen 49% der befragten Unternehmen bei Energie Schwerpunkte bei der Kostensenkung, 34% bei der Personalentwicklung und 28% bei Rohstoffen (CHEManager 2009).

Damit die Informations-, Kommunikations- und Automationstechniken ihre Potenziale zur Erschließung von Ressourceneffizienzpotenzialen ausschöpfen können, bedarf es erheblicher und gezielter Anstrengungen sowohl auf Seiten der Politik, der Wirtschaft als auch der Anwender. Dazu müssen über die bereits laufenden Aktivitäten und Initiativen auf legislativer Ebene und die bereits zum Teil bestehende marktliche Wettbewerbsdynamik bei der Energie- und Ressourceneffizienz hinaus umfangreiche weitere Maßnahmen ergriffen werden. Aus der Vielzahl von Ansatzpunkten erscheinen insbesondere folgende Bereiche zur Realisierung der Szenarien 2 (Beschleunigte Diffusion) und 3 (Neue Paradigmen) von zentraler Bedeutung:

6.1 Anspruchsvolle Ausgestaltung des politisch-rechtlichen Ordnungsrahmens: Dynamisierung und Internationalisierung

Ressourceneffizienzfortschritte begründen sich aus der komplexen Wechselwirkung einer Vielzahl von betriebsinternen und –externen Faktoren (Fichter 2005). Inkrementelle oder auf Nischenmärkte beschränkte Lösungen können meist der Eigendynamik des Marktes überlassen werden. Allerdings reicht das nicht aus, um das große Einsparpotenzial weder im installierten Bestand noch mit Blick auf grundlegend neue Technologien und Systemlösungen auszuschöpfen. Politischen Maßnahmen kommt dabei eine zentrale Bedeutung zu. Dies liegt insbesondere daran, dass für ressourceneffiziente Produkte und Prozesse vielfach ausreichende Markttreiber fehlen und Geschäftsmodelle sich noch nicht rechnen (SRU 2005). Aber selbst wenn Unternehmen wirtschaftliche Vorteile durch Ressourceneffizienzmaßnahmen erwarten können, bestehen oft interne Hemmnisse für die Umsetzung entsprechender Maßnahmen. Ohne staatliche Interventionen und Regulierungen werden die rohstoffpolitischen Effizienzfortschritte nicht erreichbar sein. Neben der effizienzbezogenen Infrastruktur im Bereich von Forschung und Entwicklung kommt es auf die Förderung des gesamten Innovationsprozesses von der Markteinführung über die weltweite Verbreitung bis hin zur Entsorgung bzw. Wiederverwertung an. Hier ist ein hybrides Steuerungssystem von monetärer Steuerung und regulativer Detailsteuerung zentral. Marktbasierte wie ordnungsrechtliche Regelungen benötigen dabei unterstützende Instrumente. Vorschläge und Konzepte werden seit längerem in der Wissenschaft diskutiert, über viele Fragen herrscht weitgehend Konsens. Die Herausforderung besteht in erster Linie darin, diese Ansätze „ausreichend zu konkretisieren und ihre Anwendung politisch durchzusetzen“ (Faulstich 2009).

Chancen zur Steigerung der Ressourcenproduktivität und zum Abbau der identifizierten Hemmnisse haben insbesondere folgende Ansatzpunkte. Sie bleiben dabei nicht auf den engeren Bereich der Umweltpolitik beschränkt. Maßnahmen müssen vielmehr in unterschiedlichen Politikfeldern entwickelt werden (Bleischwitz, Jacob 2009). Letztlich ist Rohstoffpolitik ein immanent wichtiger Teil der Wirtschaftspolitik, für den auch fiskalische Regelungen von zentraler Bedeutung sind.

Dynamisierung und Erweiterung der Ökodesign-Richtlinie und des Energiebetriebene-Produkte-Gesetzes

Mit der Ökodesign-Richtlinie existiert in der Europäischen Union ein produktpolitisches Instrument, das weitreichende Steuerungsmöglichkeiten bietet und daher besondere Bedeutung für die Ressourceneffizienz haben kann. In Deutschland wurde die EuP-Richtlinie durch das Gesetz über die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte (kurz: EBPG) vom 6.3.2008 umgesetzt. Grundsätzlich liegt dem Instrument eine umfassende Lebenszyklus-Betrachtung zu Grunde, die verschiedene Umwelteffekte der Produkte einschließt. Bisher wurden Regelungen zum Standby-Betrieb erlassen, Glühbirnen wurden verboten, in speziellen Verordnungen werden Energieeffizienzstandards für Industriemotoren, Umwälzpumpen, Fernseh- sowie Kühl- und Gefriergeräten gefordert. Von den neuen Regelungen werden bedeutsame Einsparungen beim Stromverbrauch erwartet. Nun ist sicherzustellen, dass Standards dynamisiert werden. Um

Effizienzfortschritte (im Sinne eines Technology Forcing) zu beschleunigen, sollte der Top-Runner-Ansatz, der bereits von der Bundesregierung am 23./24.8.2007 in Meseberg als ein Eckpunkt für ein integriertes Energie- und Klimaprogramm formuliert wurde, einbezogen werden. Darüber hinaus ist eine Weiterentwicklung anzustreben, die über Energieeffizienz hinaus auch die Materialintensität berücksichtigt und so damit „breiter zur Ressourcenschonung beiträgt“ (Faulstich 2009). Ein Grund für die politische Zurückhaltung ist das Fehlen eindeutiger Parameter wie Energieverbrauch (EuP-Richtlinie), Emissionswerte (Abgasstandards) oder Gefährlichkeit (REACH). Diese vergleichsweise einfach zu messenden Größen können nur bedingt auf die Ressourceneffizienz übertragen werden. Eine Herausforderung für die Weiterentwicklung des ordnungspolitischen Rahmens für eine höhere Ressourceneffizienz ist daher die Entwicklung und Festlegung von Leitparametern (Bleischwitz, Jacob 2009).

Ressourcensteuern

Zu den erforderlichen Veränderungen von Rahmenbedingungen gehören auch fiskalpolitische Steuerungsinstrumente, wie sie mit dem Emissionshandel im Klimaschutz und der ökologischen Steuerreform eingeführt wurden. Allerdings stösst die Weiterentwicklung der ökologischen Steuerreform auf Vorbehalte und Widerstände in der Wirtschaft und Teilen der Öffentlichkeit. Dabei ist der wirtschaftliche und ökologische Nutzen nachgewiesen. Vor kurzem hat die Bundesregierung verbliebene Ausnahmen von der Ökosteuern abgeschafft. Neuerdings erwägt die Europäische Kommission eine Steuer auf Rohstoffe. Dadurch sollen Privathaushalte und Industrie zu einer effizienteren Nutzung bewegt werden. Das betrifft sowohl nachwachsende Rohstoffe wie Holz als auch Metalle, Wasser oder fossile Brennstoffe (faznet, 26.8.2010). Die Besteuerung von Ressourcen kann dabei nicht singular erfolgen, sondern müsste in ein Gesamtkonzept eingebettet sein, das ökologische und ökonomische Aspekte der Ressourcenverfügbarkeit genauso berücksichtigt wie die Substituierbarkeit von Ressourcen im Kontext nationaler und internationaler Ressourcenströme. Für eine umfassende Besteuerung des Ressourceneinsatzes wäre erst noch eine geeignete Konzeption zu entwickeln. Ressourcensteuern sind daher auf Ebene einzelner Rohstoffe oder geeigneter Rohstoffgruppen zu diskutieren. Wo dies noch nicht geschehen ist, sollten Wirkungsanalysen ökonomische, ökologische und soziale Auswirkungen abschätzen. Eine Besteuerung von Baustoffen, die anteilmäßig das Rohstoffaufkommen dominieren, wurde bereits 2008 von der Europäischen Umweltagentur in verschiedenen Länderstudien evaluiert (EEA 2008). Mit der Besteuerung von Baustoffen wurden in mehreren Ländern „positive Erfahrungen gemacht und die Gefahr einer Einschränkung der Wettbewerbsfähigkeit wird in den stark regional geprägten Baustoffmärkten für beherrschbar gehalten“ (Faulstich 2009). In dem Projekt MaRes (Materialeffizienz und Ressourcenschonung), das von BMU und UBA gefördert wird, werden unter anderem diese Steuerungsinstrumente untersucht und konkretisiert (Bleischwitz, Jacob 2009). Ggf. könnten Steuerquoten bzw. der Einnahmebedarf auch ex ante festgelegt werden und die Verteilung der Steuerlast regelmäßig je nach Situation angepasst werden.

Ökologische Beschaffung

Eine umweltorientierte Beschaffung ist eine wichtige Ergänzung ordnungsrechtlicher und fiskalpolitischer Instrumentierungen. Auf die öffentliche Beschaffung in Europa entfallen jährlich ca. 16 % des Bruttoinlandsproduktes. In Deutschland verfügen Bund, Länder und Kommunen mit jährlichen Ausgaben für die Beschaffung von Produkten und Dienstleistungen in Höhe von insgesamt ca. 260 Mrd. Euro über ein enormes Marktpotenzial. Von diesem Beschaffungsvolumen der öffentlichen Hand haben etwa 51,4 Mrd. Euro unmittelbare Relevanz für sog. „grüne“ Zukunftsmärkte (BMU 2008 nach McKinsey 2008). Diese Marktmacht verstärkt zu nutzen, um umweltpolitische Ziele zu fördern, ist daher in den letzten Jahren national, international und auf EU-Ebene zunehmend als Instrument anerkannt und empfohlen worden (OECD, EU, BMU). Allerdings ist die praktische Umsetzung bislang weitgehend unzureichend. Zentrale Hindernisse sind teilweise höhere Kosten „grüner“ Produkte und Informationsdefizite insbesondere was Rechtsfragen anbetrifft. Statusfragen sind ein weiterer Hinderungsgrund, was sich beispielsweise am Fuhrpark der Mitglieder der Bundesregierung zeigt. Eine mögliche Maßnahme, um das Potenzial besser auszuschöpfen, ist die Festlegung anspruchsvoller, verbindlicher Zielvorgaben. Die Bundesregierung hat sich 2008 zum Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2013 den durch den IKT-Betrieb verursachten Energieverbrauch um 40% zu senken. Dazu gehört auch die Erstellung von Musterausschreibungen, Leitlinien und ein Benchmarking. Förderlich sind strategische Allianzen mit Verbänden mit dem Ziel, gemeinsame Leitfäden und Standards festzulegen, wie beispielsweise zwischen BMU und dem Branchenverband BITKOM, da diese als Plattform und Multiplikator fungieren und ein Interesse daran haben, Indikatoren weiterzuentwickeln.

Forschungsförderung: Innovationen und Leuchtturmprojekte

Die Debatte über Klimaschutz und Ressourcenschonung hat Anlass gegeben, auch die Forschung für Ressourceneffizienz neu zu profilieren. So sind inzwischen die Umwelttechnologien in der Hightech-Strategie der Bundesregierung, die ein Kernbestandteil der Innovationspolitik ist, in einem „Masterplan Umwelttechnologien“ gebündelt worden. Im Masterplan werden strategische Leitmärkte genannt, darunter auch mit Blick auf Ressourceneffizienz die Bereiche „Natürliche Ressourcen und Materialeffizienz“ sowie „Kreislaufwirtschaft, Abfall, Recycling“. Die Förderrichtlinie "Innovative Technologien für Ressourceneffizienz- Rohstoffintensive Produktionsprozesse" ist eine weitere Konkretisierung der Hightech-Strategie der Bundesregierung im Innovationsfeld Umwelttechnologien. Forschungsergebnisse sollen vermehrt in marktfähige Produkte überführt werden, indem die Rahmenbedingungen hierfür innovationsgerechter gestaltet sowie strategische Partnerschaften zwischen Bildung, Wissenschaft und Wirtschaft aufgebaut werden. Außerdem unterstützt das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) die Entwicklung innovativer, ressourceneffizienter Produktionstechnologien. Unter dem Stichwort Effizienzfabrik wird eine Innovationsplattform als gemeinsame Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung und des Verbands Deutscher Maschinen- und Anlagenbau betrieben. Trotz dieser und weiterer Förderaktivitäten, die bisher teilweise sehr isoliert abliefen, ist die Förderung verbesserungsbedürftig.

Dies betrifft zum einen die Schwierigkeiten während des Übergangs von öffentlicher zu privater Finanzierung. Ergebnisse aus Förderprogrammen bleiben nicht selten Pilotprojekte ohne die notwendige Förderung zur breiten Umsetzung. Daher ist die Bereitstellung von „Venture Capital“ für Unternehmen zur Ressourceneffizienz zu verbessern. Vorgeschlagen wird die Einrichtung eines „Green Tech Fund“ (Bleischwitz, Jacob 2009). Zum anderen sind anwendungs- und marktorientierte Leuchtturmprojekte zu initiieren, die über die bisherigen Förderschwerpunkte der Produktion hinaus gehen, und neue Paradigmen der Ressourceneffizienz in Modellprojekten und –regionen versuchen umzusetzen und marktfähig zu machen. Dabei kann an die Erfahrungen vergleichbarer Förderungen wie E-Energy, E-Mobility, Green IT oder Solar Valley angeknüpft werden, wo regionale Experimente mit großer Strahlkraft gefördert werden. Paradigmen mit hohem Ressourceneffizienzpotenzial und geeignet für Leuchtturmprojekte sind insbesondere:

- Zerstörungsfreies Recycling von Werkstoffen (Non-Destructive-Recycling),
- Modellregionen für Urban Mining,
- Aufbau von sektorbezogenen und globalen Netzwerken zum Recycling von Technologiemetallen,
- Kopplung von Abwasser-, Abfall- und Energielösungen (Energieautarke Kläranlagen, Wärme aus Abwasser).

Konsequente Entwicklung einer integrierten EU-Ressourcenstrategie

Ressourcenschonung und Verringerung der Umweltbelastung der Ressourcennutzung sind Gegenstand verschiedener thematischer Initiativen und Strategien der Europäischen Kommission. In den letzten Jahren sind dies u.a. die EU-Strategie für eine nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen, EU-Rohstoffinitiative, Strategie für eine nachhaltige Industriepolitik (SIP), Biodiversitätsstrategie und EU-Leitmarktinitiative. Die europäische Ressourcenstrategie verpflichtet die Mitgliedsländer zum Erarbeiten von nationalen Nachhaltigkeitsstrategien. Einige Länder wie z.B. Österreich sind bei diesen Schritten bereits weit vorn. Großbritannien und Dänemark haben ehrgeizige Rahmenprogramme vorgelegt. In Deutschland soll das von BMU und UBA geförderte Projekt „MaRes“ Wege für die Steigerung der Materialeffizienz und für die Ressourcenschonung aufzeigen. Erwartet werden Ansätze für zielgruppenspezifische Ressourceneffizienzpolitiken und neue Erkenntnisse hinsichtlich der Wirkungsanalyse auf gesamt- und betriebswirtschaftlicher Ebene. Außerdem soll das Projekt konkrete Umsetzungsaktivitäten und öffentliche Diskurse (Agenda Setting) anregen. Die vielfältigen bereits abgeschlossenen oder noch laufenden Aktivitäten bieten eine gute Basis für eine integrierte und zielgerichtete Ressourcenstrategie. Sie sollte insbesondere auf folgende Herausforderungen fokussiert werden:

- *Differenzierung der Ziele:* Eine pauschale Ressourceneffizienz ist kein ausreichender Indikator für eine nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen. EU-Kommission und SRU betonen deshalb, „dass die Umweltauswirkungen verschiedener Ressourcen differenziert betrachtet werden müssen“ (SRU 2005). Die Entkopplung des Rohstoffverbrauchs vom

Wirtschaftswachstum ist eine Voraussetzung für eine umweltverträgliche Ressourcenstrategie, reicht aber langfristig nicht aus. Reboundeffekte können Ressourceneffizienzfortschritte kompensieren.

- *Festlegung einer nationalen und europäisch kohärenten Roadmap als Masterplan zur zielgerichteten Umsetzung der Ressourcenstrategie*: In Deutschland sind in der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung Ziele für Rohstoff- und Energieproduktivität festgelegt. Es gibt bis dato aber weder eine kohärente Ressourcenstrategie noch ein Programm, in dem rechtliche und ökonomische Anforderungen aufeinander abgestimmt sind.
- *Weiterentwicklung der Recyclinginfrastrukturen und –techniken für eine effiziente Wiedergewinnung dissipativ verwendeter Materialien*: Dissipative Verwendungen sind dadurch gekennzeichnet, dass sie in geringer Konzentration und in geringen absoluten Mengen im Produkt vorliegen. In oder am Ende der Nutzung werden die Stoffe emittiert (z.B. Platin im Katalysator), in andere Abfallströme eingetragen (z.B. Blei im Bauschutt) oder in andere Kreisläufe verschleppt (z.B. Kupfer in den Stahlkreislauf). Viele der dissipativ verwendeten Rohstoffe, darunter strategisch wichtige Metalle, die die wirtschaftliche Entwicklung von Zukunftstechnologien gefährden, entziehen sich bisher einem effektiven Recycling.
- *Globale Recyclingstrukturen*: Eine noch zu lösende Herausforderung ist die Globalisierung der Recyclingströme. Die Entwicklungsländer werden mit immer mehr Elektronikschrott konfrontiert; China und Südafrika müssen im Vergleich zu 2007 bis zum Jahr 2020 mit einer Vervielfachung rechnen (Bleischwitz 2009). Bislang werden diese Schrottmengen nur selten fachgerecht behandelt. Andererseits kommt es zu einem stetigen Verlust von Wertstoffen. Zum Beispiel liegt die Goldausbeute in Entwicklungsländern nur bei ca. 25 Prozent, für Palladium noch deutlich darunter, Sondermetalle gehen komplett verloren (Hagelücken 2009). Es muss sichergestellt werden, dass am Ende der Lebensdauer der Produkte auch nachweisbar ein umwelt- und gesundheitsverträgliches Recycling stattfindet. Transparenz und Überwachung der Altproduktströme sind dafür von großer Bedeutung.
- *Ressourcenmanagement in Unternehmen*: Die heutigen Strukturen des Ressourcenmanagements in Unternehmen sind unzureichend. Zukünftig kann es immer wieder zu Versorgungsengpässen kommen, die sich in Lieferschwierigkeiten und/oder hohen Preisen äußern. Mittelfristig besteht das Risiko einer strukturellen Knappheit bei einigen Elementen, die als Beiprodukte gewonnen werden. Die Versorgung mit seltenen Metallen beschäftigt zunehmend Unternehmen und Wirtschaftsverbände, so den ZVEI. Verfügbarkeits- und daraus entstehende Kostenprobleme von kritischen Materialien (z.B. Ga, In, Ge, Te, Ag) müssen beachtet und angesichts wachsender Märkte angegangen werden. Der Entwicklung von effizienten branchen- und unternehmensspezifischen Ressourcenmanagementkonzepten kommt deshalb eine Schlüsselfunktion für die Sicherstellung der Rohstoffverfügbarkeit, der Dämpfung der Preisvolatilität und der Schonung der Ressourcen zu. Ansatzpunkte hierfür sind

Fragen der Rohstoffeinkaufspolitik, der Entwicklung ressourceneffizienter Produkte und eines effizienten Recyclings.

6.2 Beschleunigung der Marktdiffusion ressourceneffizienter Lösungen mit hohem Reduktionspotenzial

Einige Maßnahmen bieten enorme Einsparpotenziale. Dazu gehören energieeffiziente elektrische Antriebe, Druckluftsysteme und Pumpen. Diese sollten prioritär gefördert werden. Seit 2008 werden Energieberatungen gefördert und zinsgünstige Investitionskredite für Energieeinsparmaßnahmen, wie Energiesparmotoren und Frequenzumrichter, durch die KfW vergeben. Das Green IT Beratungsbüro beim BITKOM e.V. wurde im Rahmen des neuen Förderschwerpunktes „IT goes green“ im Umweltinnovationsprogramm (UIP) Anfang 2009 eingerichtet und unterstützt professionelle Anwender bei der Umsetzung von Green IT-Projekten. Mit dem Umweltinnovationsprogramm des Bundesumweltministeriums werden großtechnische Vorhaben gefördert, die erstmalig demonstrieren, wie Umweltbelastungen vermieden oder spürbar verringert werden können. In diesem Rahmen besteht die Möglichkeit, Innovationsprojekte der Informations- und Kommunikationstechnik mit Umweltbezug fördern zu lassen. Über bestehende Aktivitäten und Programme hinaus können folgende Maßnahmen beschleunigend wirken:

- Einrichtung der Position eines Ressourceneffizienzbeauftragten in Unternehmen, analog der Positionen für Arbeitssicherheit und Umweltschutz.
- Verbindliche Lebenszykluskostenbetrachtungen (LCC) in Anfragen und Angeboten sowohl in Unternehmen als auch im öffentlichen Auftragswesen (z.B. Entsorgung, Trinkwasseranlagen, Kläranlagen), um das „Einkaufs-/Betreiber-Dilemma“ abzubauen,
- Aufklärung im Bereich der Investitions- und Finanzierungsrechnung: Investitionsprojekte sollten nach der Kapitalwertmethode und nicht nach der Amortisationszeitenmethode kalkuliert werden.
- Anreizprogramme für Ressourceneffizienzinvestitionen (positive oder negative Anreize), z.B. durch verbesserte Abschreibungsbedingungen für den Einsatz von ressourceneffizienten Lösungen oder durch Zusatzbelastungen für Verschwender.

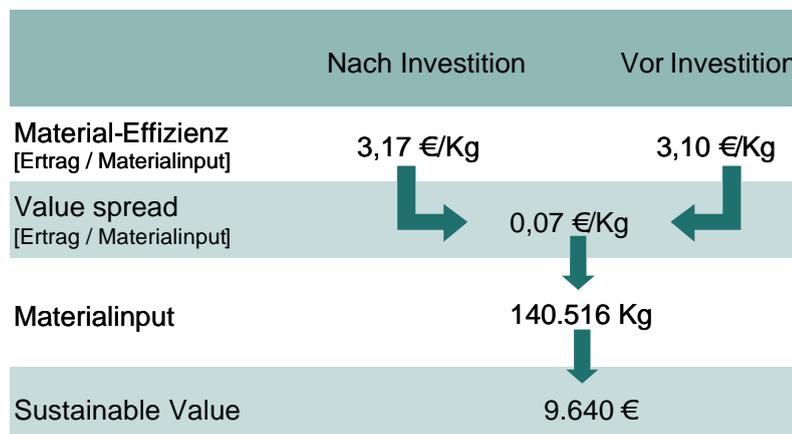
6.3 Sustainable-Value-Ansatz: Bewertung von Ressourceneffizienzmaßnahmen in der Logik des Finanzmanagements

Einen vielversprechenden Ansatz für eine gesteigerte Wahrnehmung der Akzeptanz und Relevanz von Material- und Ressourceneffizienz innerhalb von Unternehmen stellt der neue Sustainable-Value-Ansatz (Figge 2001, Figge, Hahn 2004) dar. Er bewertet den Material- und Ressourceneinsatz im Hinblick auf ihren Beitrag zur Wertschöpfung eines Unternehmens. Im Kontrast zu bestehenden schadensorientierten Ansätzen kalkuliert der Sustainable-Value-Ansatz, wie viel Mehrwert mit dem Einsatz eines Materials oder einer Ressource im Vergleich zu einer alternativen Verwendung

geschaffen wird. Er ist der erste wertbasierte Ansatz zur Messung und Steuerung unternehmerischer Ökoeffizienzleistungen. Der Ansatz misst den Einsatz von Ressourcen genau so, wie Unternehmen heute den Kapitaleinsatz bewerten. Zur Berechnung des Sustainable Value eines Unternehmens wird die Ressourcen- oder Materialproduktivität mit einem Benchmark (Vergleichsgruppe) verglichen. Sustainable Value entsteht immer dann, wenn das Unternehmen seine Ressourcen effizienter einsetzt als der Benchmark. Der Ansatz greift so die im Management gängige Logik der Opportunitätskosten auf und drückt Material- und Ressourceneffizienz in der Sprache der Unternehmensführung aus. Der Sustainable-Value-Ansatz eignet sich daher unter anderem hervorragend zur Bewertung von Material- oder Ressourceneffizienzmaßnahmen.

In einem Projekt für das BMWi wurde beispielsweise eine Maßnahme zur Steigerung der Materialeffizienz eines mittelständischen Unternehmens mit dem Sustainable-Value-Ansatz bewertet (Liesen 2009). Vor der geplanten Investition schuf das Unternehmen 3,10 Euro Ertrag pro verbrauchtem Kg Material. Aufgrund der technischen Daten der Investition war bekannt, dass nach der Investition 3,17 Euro Ertrag pro verbrauchten Kg Material geschaffen werden würde. Multipliziert man die Differenz dieser Materialeffizienzen (Value Spread) mit dem gesamten Materialeinsatz des Unternehmens erhält man den nachhaltigen Mehrwert (Sustainable Value) der Investition für das entsprechende Jahr. Unter sonst gleichen Bedingungen würde die Investition einen Sustainable Value von circa 10.000 Euro erzielen, d.h., dass bei gleichbleibendem Materialinput 10.000€mehr Ertrag als vor der Investition geschaffen worden wären.

Abbildung 6-1: Bewertung der Materialeffizienz eines mittelständischen Unternehmens nach dem Sustainable-Value-Ansatz

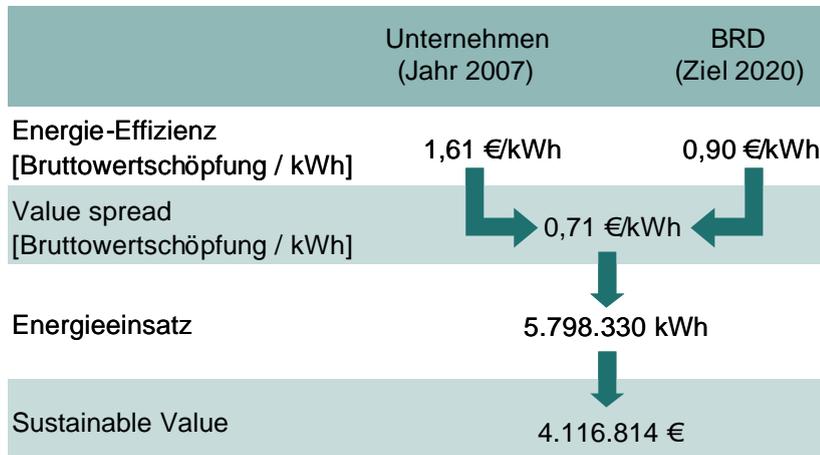


Quelle: Müller, Liesen et. al 2009

Auch können mit dem Sustainable-Value-Ansatz Branchen, Unternehmen, Standorte, Prozesse oder Investitionen im Hinblick auf ihren Beitrag zur Erreichung politischer Ziele transparent dargestellt werden. Das Ziel der Bundesregierung im Jahr 2020 0,90 Euro Bruttoinlandsprodukt pro kWh verbrauchter Primärenergie zu schaffen (Statistisches Bundesamt 2008) wurde beispielsweise von dem oben untersuchten Unternehmen bereits im Jahr 2007 erfüllt. Das Unternehmen schuf im Jahr 2007

bereits 1,61 € Bruttowertschöpfung pro kWh Energieverbrauch. Mit seinem Energieverbrauch von 5,7 Millionen kWh schuf das Unternehmen im Jahr 2007 4,1 Millionen Euro mehr Bruttowertschöpfung als es die BRD für das Jahr 2020 vorsieht.

Abbildung 6-2: Beitrag zur Erreichung politischer Ziele



Quelle: Berechnungen des IZT

Mit dem Sustainable-Value-Ansatz lassen sich auf diese Art einfach Aussagen darüber ableiten, inwieweit die Material- und Ressourceneffizienz eines Unternehmens oder einer Branche zur Erreichung der politischen Ziele der Bundesregierung beiträgt und wie exponiert diese Branche oder das Unternehmen gegenüber politischen Zielen ist.

6.4 Kooperatives Roadmapping: Instrument innovationsorientierter Wirtschaftspolitik zur Schaffung und Unterstützung von Leitmärkten für Material-, Produkt- und Systeminnovationen

Dem Markt für Effizienztechnologien werden sehr positive Zukunftsaussichten prognostiziert. Insbesondere die Energieeffizienz gewinnt national wie international an Bedeutung. Dies wird mittelfristig auch die Nachfrage nach entsprechenden Effizienztechnologien weiter steigern. Das Weltmarktvolumen wird für 2006 auf 400 Mrd. EUR geschätzt (BMU 2006). Der größte Teil davon entfällt auf die Mess-, Steuer- und Regeltechnik, Gebäude-, Heiz- und Klimatechnik sowie Haushaltsgeräte. Bis 2030 wird das zusätzliche Marktvolumen von Berger (2006) auf rund 1000 Mrd. US-Dollar geschätzt, die zu zwei Dritteln auf die OECD-Staaten und knapp einem Drittel auf Nicht-OECD-Staaten entfallen (BMU 2006). Auch im Bereich der Rohstoffeffizienz und Recyclingtechnologien werden Wachstumspotenziale gesehen. BMU und BMBF nennen in ihrem Masterplan für Umwelttechnologien ein Weltmarktpotenzial für Kreislaufwirtschaft und Materialeffizienz in Höhe von 40 Mrd. Euro jährlich (2008), Schätzungen von Berger beziffern den Umsatz für Rohstoff und Materialeffizienz weltweit auf 95 Mrd. Euro. Bis zum Jahr 2020 wird eine Verdreifachung des Volumens erwartet (BMU 2006). Für die Zukunft erwarten die Unternehmen

Wachstumsraten von bis zu 26% im Auslandsgeschäft (BMBF 2008). Man befürchtet jedoch steigenden Wettbewerb und den Verlust von Weltmarktanteilen. Wesentliche Voraussetzungen für die Erschließung der Potenziale liegen in der Entwicklung der wirtschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen. Insgesamt fehlt es bisher an einer umfassenden und kohärenten nationalen, europäisch eingebetteten und abgestimmten Strategie und Roadmap für die Erschließung der Ressourceneffizienzpotenziale sowie einem damit verbundenen Monitoring. Dabei geht es nicht allein um die Verbesserung der existierenden Forschungs- und Förderinstrumente, sondern vielmehr um die Schaffung und Unterstützung von Leitmärkten⁷ für Material-, Produkt- und Systeminnovationen (Bleischwitz, Jacob et.al. 2009). Die umfassende Verbesserung und Publikation der rohstoff- und effizienzbezogenen Datenbasis ist eine unabdingbare Voraussetzung für ein erfolgreiches Vorgehen.

Mit Blick auf diese Aufgabe wurden im Rahmen des vom Bundesumweltministerium geförderten Vorhabens „Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ erste Dialogprozesse mit Branchen-, Unternehmens-, Verbraucher- und Wissenschaftsvertretern organisiert, die in Roadmaps mündeten. Dies geschah exemplarisch für zwei bedeutsame ressourcenrelevante Felder: zum einen für die Fotovoltaik als jungem dynamischen Technologiefeld und zum anderen für die Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) als besonders relevanter Querschnittstechnologie. Innerhalb der IKT wurde auf den besonders wichtigen und dynamisch wachsenden Bereich arbeitsplatzbezogener Computerlösungen fokussiert. Analysen zeigen, dass die IKT als Querschnittstechnologie erhebliche, bislang nicht erschlossene Ressourceneffizienzpotenziale birgt.

Das Roadmapping ermöglicht eine „Straßenkarte“, die viele Einzelthemen bündelt, Handlungsoptionen identifiziert und Prioritäten benennt. Die Früherkennung von Ressourceneffizienzpotenzialen und die Erschließung von Zukunftsmärkten und den damit verbundenen Herausforderungen basiert auf der Analyse von Trends und der Identifikation der treibenden Kräfte. Das Suchfeld richtet sich dabei nicht nur auf die Eigendynamik technologischer und marktlicher Entwicklungen, sondern auch auf leistungsfähige Lebenszyklus- und Systembetrachtungen. Das Roadmapping schafft dafür den notwendigen Rahmen, in dem es eine intelligente Vernetzung und Kommunikation zwischen zentralen Innovationsakteuren sowie eine Wissensintegration ermöglicht.

Während die Anwendung der Roadmapping-Methodik auf der Ebene einzelner Unternehmen oder Branchen oder für die Entwicklung von „Masterplänen“ staatlicher Akteure bereits in der Vergangenheit genutzt wurde, stellt die systematische Zusammenarbeit von Akteuren aus Wirtschaft, Politik, Verwaltung und Wissenschaft eine neue Form und Qualität des „kooperativen Roadmapping“ dar, die im Rahmen des MaRes-Vorhabens an den o.g. Technologiefeldern erprobt wurde.

Mit Blick auf Ressourceneffizienz kann das kooperative Roadmapping folgendes leisten:

⁷ Leitmarkt bezeichnet einen Markt von dem aus sich entwickelte Technologien weltweit durchsetzen, so dass sich für Unternehmen besondere Exportchancen ergeben, die Wertschöpfung und Beschäftigung generieren (BMU/UBA 2007).

- *Langfristperspektive*: Früherkennung von Chancen und Risiken (z.B. von Rohstoffengpässen oder von ökologischen und wirtschaftlichen Chancen der Entwicklung eines Leitmarktes).
- *Potenzialabschätzung*: Ermittlung der Materialeffizienz- und Ressourcenschonungspotenziale.
- *Beschleunigung und Förderung der Verbreitung schon bestehender Effizienztechnologien in der Fertigung*: Besseres Verständnis bestehender Hemmnisse für die Umsetzung ressourceneffizienter Zukunftslösungen (z.B. Systemwechsel) und Klärung der Frage, wie die Potenziale für Materialeffizienz und Ressourcenschonung kurz-, mittel- und langfristig bestmöglich erschlossen werden können?
- *Einbindung unterschiedlicher Akteursperspektiven*: Ressourceneffizienz aus der Sicht unterschiedlicher Akteure. z. B mit Blick auf die Frage: Wie kann durch neue Produktionskonzepte (Maschinen- und Anlagenbau, Automationstechnik) die Erschließung der Effizienzpotenziale in der Wertsschöpfungskette unterstützt werden?
- *Innovationsfahrplan*: Entwicklung konkreter Maßnahmen zur Erschließung der Materialeffizienz- und Ressourcenschonungspotenziale (z.B. Roadmap „Ressourceneffiziente Fotovoltaik“ und „Arbeitsplatzbezogene Computerlösungen 2020“) mit konkreten Zielsetzungen, Zeitplänen, Meilensteinen und Zuständigkeiten.
- *Unterstützung und Konkretisierung der „ökologischen Industriepolitik“*, insbesondere der Offensive zur Material- und Energieeffizienz und der Erschließung von grünen Zukunftsmärkten durch branchenorientierte Roadmapprozesse.
- *Identifizierung von Technologiebedarfen, Standardisierungsbedarfen, Forschungsbedarfen, Qualifizierungserfordernisse, Anwenderanforderungen und Bedingungen* zur Erschließung von besonders relevanten Zukunftsmärkten der Ressourceneffizienz.
- *Bündelung von Kompetenzen*: Praktisch werden spezifische Kompetenzen und Know-how aus Forschungseinrichtungen, Unternehmen, Verbänden und gesellschaftlichen Gruppen gebündelt. Dies kann von einzelnen Firmen, insbesondere KMU allein nicht geleistet werden. Sie erhalten einen direkten Zugang zu interdisziplinärem Wissen und zu spezifischem Know-how.
- *Einbindung von Branchenverbänden*: Einbindung, Sensibilisierung und Aktivierung von Branchen- und Fachverbänden als (bisher wenig genutzte) Plattform zur Entwicklung von abgestimmten Innovationsfahrplänen zur Ressourceneffizienz und als potenzielle Multiplikatoren für den Transfer der Ergebnisse in das Innovationsmanagement von Unternehmen (mit Pilotcharakter).
- *Marktchancen*: Aufzeigen von Möglichkeiten und Strategien zur Schaffung und Erweiterung von Märkten für Effizienztechnologien und Identifikation von Pilotprojekten für deutsche Unternehmen auf zentralen Zukunftsmärkten der Effizienztechnologien.

- *Innovationsimpulse für Unternehmen*: Impulse zur Verknüpfung der Roadmap mit operativen Aktivitäten in Innovationspolitik und -management der Unternehmen zur Erschließung von Ressourceneffizienzpotenzialen.

Die gemachten Erfahrungen können auch für andere Technologiefelder übertragen und als wesentliches Element einer innovationsorientierten Wirtschaftspolitik genutzt werden.

Selbstverständlich muss am Ende der Staat als einziger Akteur, der nicht Partikularinteressen, sondern dem Allgemeinwohl verpflichtet ist, Richtungsentscheidungen treffen.

6.5 Aufgaben der Unternehmens - und Wirtschaftsverbände: Neue Intermediäre und Promotoren

Wirtschaftsverbände haben sich in den letzten Jahren in ihrem Selbstverständnis gewandelt. Infolge der Globalisierung, des Strukturwandels und neuer Anforderungen der Unternehmensmitglieder wurde und wird das Leistungsspektrum kontinuierlich erweitert und den veränderten Bedingungen angepasst. So hat der ZVEI mit Blick Informationsdefizite bei Unternehmensentscheidern und Anwendern die Initiative für Energie-Intelligenz, EnQ, ins Leben gerufen. Daneben macht der ZVEI mit ELECTRA konkrete Vorschläge für den Einsatz energieeffizienter Technologien in Europa und versucht damit die EnQ-Initiative auf die europäische Initiative auszuweiten. Der Fachverband Automation erstellt jüngst Technologie-Roadmaps zur Identifikation der Technologiebedarfe in „grünen“ Zukunftsmärkten für seine Mitgliedsfirmen. Der Bundesverband der Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien (BITKOM) hat eine Reihe von Projekten angestoßen, die Green IT zum Durchbruch verhelfen sollen. Dafür hat BITKOM für die IKT-Wirtschaft in Deutschland im Juli 2009 gemeinsam mit IT-Anwendern eine „Green IT Allianz“ gegründet, die Wissenschaft und mehrere Ressorts der Bundesregierung als Partner unterstützen. Das „Green IT Beratungsbüro“ beim BITKOM wurde im Rahmen des Förderschwerpunktes „IT goes green“ im Umweltinnovationsprogramm (UIP) eingerichtet und unterstützt professionelle Anwender bei der Umsetzung von Green IT-Projekten. Verschiedene Initiativen sind beim führenden Verband der Maschinen- und Anlagenbauer, dem VDMA zu finden. So bietet der Verband (VDMA) ein Forum „Produktionsmittel für die Fotovoltaik“, das als wichtige Informations- und Austauschplattform für Zulieferer der Solarindustrie dient. Aufsetzend auf den vorhandenen Aktivitäten können Verbände mit Blick auf Ressourceneffizienz aber auch hier als neue „Intermediäre“ und „Prozess- bzw. Beziehungspromotoren“ fungieren. Aufgaben dabei sind:

- Vermittlung von Ressourceneffizienzpotenzialen und damit zusammenhängenden Marktchancen,
- Identifikation von Technologiebedarfe und Zukunftsmärkten,
- Standardisierungsfunktion (z.B. Systemstandards, technische Normen) zur Marktvorbereitung/-einführung,
- Vernetzung von Aktivitäten,

- Förderung der Verbreitung schon bestehender Effizienztechnologien und
- Transfer und Fortbildungsfunktion.

Während in der Diskussion bis dato Energiefragen im Mittelpunkt stehen, sind auch die zukünftigen Chancen und Herausforderungen mit Blick auf die Steigerung der Ressourceneffizienz zu betrachten. Ziel müsste es daher sein, wichtige, bisher in der Debatte wenig beachtete Aspekte näher zu beleuchten und dabei zukünftige Chancen, Herausforderungen und Handlungsbedarfe herauszuarbeiten. Wirtschafts- und Unternehmensverbände können dabei eine zentrale Bedeutung für eine kooperative Erschließung von Ressourceneffizienzpotenzialen spielen, indem sie eine Plattform für einen moderierten und strukturierten Suchprozess sowie einen Erfahrungs- und Ergebnisaustausch schaffen. Daraus ergeben sich Chancen für effektivere Austauschbeziehungen, die weit über unternehmensorientierte Marktsignale und Technologieprognosen hinausgehen und Chancen und Risiken identifizieren helfen können.

7. Quellen

- Aachener Stiftung Kathy Beys (2005): Ressourcenproduktivität als Chance. Ein langfristiges Konjunkturprogramm für Deutschland. Aachen
- ADL (2005): Arthur D. Little/Wuppertal Institut/Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung 2005: Studie zur Konzeption eines Programms für die Steigerung der Materialeffizienz in Mittelständischen Unternehmen. Abschlussbericht
- Altner., G. et.al (2010) (Hg.): Umwälzung der Erde, Konflikte um Ressourcen, S. Hirzel, Stuttgart
- Alwood, J. (2009): Low Carbon Material Processing, University of Cambridge, Department of Engineering
- Angrick, M. (2010) (Hg.): Nach uns, ohne Öl, Marburg
- BCG (2009): Boston Consulting Group: SMART 2020 Addendum Deutschland
- Behrendt, S. (2010): Integriertes Roadmapping. Nachhaltigkeitsorientierung in Innovationsprozessen des Pervasive Computing, Springer, Heidelberg, Dordrecht, London, New York
- Behrendt, S.; Würtenberger, F.; Fichter, K. (2001): Ressourcenproduktivität durch E-Commerce, TAB, Berlin
- Binswanger, M. (2001): Technological progress and sustainable development: what about the rebound-effect?, Ecological economics, 36(1), 119-132
- Bleischwitz, R., Pfeil, R. (2009) (Hrsg.): Globale Rohstoffpolitik. Herausforderungen für Sicherheit, Entwicklung und Umwelt. Nomos-Verlag, Herausgegeben von der Stiftung Entwicklung und Frieden, Band 23
- Bleischwitz, R.; Jacob, K. et. al. (2009): Ressourcenpolitik zur Gestaltung der Rahmenbedingungen, Wuppertal, http://ressourcen.wupperinst.org/uploads/tx_wibeitrag/RE-Paper_3-1.pdf
- BMU (2007): Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Zukunftsmarkt – Stofferkennung und –trennung, Fallstudie durchgeführt von Zukünftige Technologien Consulting (ZTC) der VDI Technologiezentrum GmbH, Berlin
- BMU(2008): Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Ökologische Industriepolitik, Nachhaltige Politik für Innovation, Wachstum und Beschäftigung, Berlin
- BMU(2008): Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Strategie Ressourceneffizienz, Impulse für den ökologischen und ökonomischen Umbau der Industriegesellschaft, Berlin
- BMU/UBA (2007): Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit , Umweltbundesamt., Wirtschaftsfaktor Umweltschutz, Vertiefende Analyse zu Umweltschutz und Innovation, Berlin

- Buchholz, P (2009): Aktuelle Entwicklungen auf den Rohstoffmärkten, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Commodity Masters, Vortragsunterlagen, Berlin 9. Februar 2009
- CHEManager (2009): CHEManager, 2/2009, S. 4, GIT Verlag
- Ebay (2008): Auktionskultur: Leben im Jetzt, Besitzen auf Zeit. Dreilinden
- Endeman, G., Still, G., Traupe, J. (2010): Nachhaltigkeit – Mit Stahl in die Zukunft, in: Angrick, M. (Hg.): Nach uns, ohne Öl, Marburg 2010, S. 195-224
- Enquete-Kommission (1998): Abschlussbericht der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des 13. Deutschen Bundestages, Konzept Nachhaltigkeit, Bonn
- Erdmann, L. (2010): Ökologische Abschätzung des Gebrauchtwarenhandels auf eBay, Berlin, Arbeitspapier, i.E.
- Erdmann, L.; Hilty, L.M (2010): Scenario analysis: Exploring the Macroeconomic Impacts of Information and Communication Technology on Greenhouse Gas Emissions, Journal of Industrial Ecology (forthcoming), Accepted for Publication
- Europäische Umweltagentur (2008): Effectiveness of environmental taxes and charges for managing sand, gravel and rock extraction in selected EU countries, EEA Report No 2/2008, URL: http://www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2008_2
- Faulstich, M.; Leiprand, A.; Mocker, M. (2009): Strategieelemente zur Steigerung der Ressourceneffizienz, in: kfw: Perspektive Zukunftsfähigkeit – Steigerung der Rohstoff- und Materialeffizienz, Frankfurt/M. S. 9-32
- FhG (2008): Fraunhofer Gesellschaft, Energieeffizienz in der Produktion, Untersuchung zum Handlungs- und Forschungsbedarf
- Fichter, K. (2000): Nachhaltige Unternehmensstrategien in der Internet-Ökonomie, in: Schneidewind, U.: Nachhaltige Informationsgesellschaft, Marburg, S. 67-82
- Fichter, K. et.al. (2009): Green IT: Von der Energieeffizienz zur umfassenden Ressourceneffizienz, Hintergrundpapier für die BMU/UBA/BITKOM-Jahreskonferenz 2009
- Fichter, K.; Paech, N.; Pfriem, R. (2005): Nachhaltige Zukunftsmärkte, Orientierungen für unternehmerische Innovationsprozesse im 21. Jahrhundert, Marburg
- Fichter, K., et.al. (2010) : Roadmap Thin clients & Web based Computing. MaRes-Projekt, Arbeitspapier
- Figge, F. (2001). "Environmental Value Added. Ein neues Maß zur Messung der Öko-Effizienz." Zeitschrift für Angewandte Umweltforschung 14(1-4): 184-197.
- Figge, F., Hahn, T. (2004). "Value-oriented impact assessment: the economics of a new approach to impact assessment " Journal of Environmental Planning and Management 47(6): 921-941

- Fricke, K.(2009): Urban Mining – nur ein Modebegriff?, in Müll und Abfall, 10/09, 489
- Mocker, M: Franke, M. et.al. 2009: Von der Abfallwirtschaft zur Ressourcenwirtschaft, in: Flamme, S. etc. al (Hrsg.): Tagungsband der 11. Münsteraner Abfallwirtschaftstage, Münster, 10-11. Februar 2009, S. 27-33
- Frondel, M.; Schmidt C. M. (2007): Von der baldigen Erschöpfung der Rohstoffe und anderen Märchen, RWI Positionen, Aachen
- Gleich A. von., Pade C., Petschow U., Pissarskoi, E. (2007): Bionik - aktuelle Trends und Potenziale, Berlin/Bremen
- Greening L.A., Greene D., Difiglio C. (2000): Energy efficiency and consumption: the rebound effect – A survey, Energy Policy, Volume 28, 389-401
- Hagelüken, Ch. (2009): "Wir brauchen eine globale Recyclingwirtschaft", in: Germanwatch-Zeitung, verfügbar unter: <http://www.germanwatch.org/zeitung/2009-1-int.htm>
- Hagelüken, Ch. (2009): Recycling sichert Versorgung mit Technologiemetallen, in: ChemManager 2009, <http://www.chemanager-online.com/themen/forschung-labor/recycling-sichert-versorgung-mit-technologiemetallen>
- Hahn, Tobias; Figge, Frank; Liesen, Andrea und Barkemeyer, Ralf (2010): Opportunity Cost Based Analysis of Corporate Eco-Efficiency: A Methodology and its Application to the CO2-Efficiency of German Companies. In: Journal of Environmental Management 91. Jg., S. 1997-2007
- Henn, J.; Kümmel, R.; Lindenberger, D. (2002): Capital, labor, energy and creativity: modeling innovation diffusion, Structural Change and Economic Dynamics 13, S. 415-433
- Herbst, W. (2009): Workshop Ressourceneffiziente Fotovoltaik, „Materialeffizienz und Ressourcenschonung in der Fertigung“, MaRes, 3.11.2009 in Berlin
- Hilty L. et.al (2002): Das Vorsorgeprinzip in der Informationsgesellschaft, Auswirkungen des Pervasive Computing auf die Gesundheit und die Umwelt, TA Swiss, Bern 2002
- IEA (2006): International Energy Agency 2006: Energy Technology Perspectives, Szenarios and Strategies to 2050, Paris
- Illge, Lydia; Hahn, Tobias und Figge, Frank (2008): Applying and Extending the Sustainable Value Method related to Agriculture – an Overview. Ghent: Conference Proceedings of European Association of Agricultural Economists 2008 International Congress
- IPTS (2004): Institute for Prospective Technological Studies, Erdmann, Lorenz; Hilty, Lorenz; Goodman, James und Arnfalk, Peter (2004): The Future of ICT on Environmental Sustainability, Seville
- ISU (2009): Fraunhofer ISI, Energieeffizienz in der Produktion, Wunsch oder Wirklichkeit?, Mitteilung Nr. 51, Karlsruhe

IZM/ISI (2008): Abschätzung des Energiebedarfs der weiteren Entwicklung der Informationsgesellschaft und Ableitung von Handlungsempfehlungen für eine optimale Energieeinsparung, Studie des Bundeswirtschaftsministeriums, Berlin

IZT (2010): Roadmap – Ressourceneffiziente Fotovoltaik, Umweltbundesamt, Dessau

IZT/ISI (2008): Angerer, G.; Erdmann, L. et. al: Rohstoffbedarf für Zukunftstechnologien, Bundesministerium für Wirtschaft, Berlin

KfW (2009) (Hrsg.): Perspektive Zukunftsfähigkeit – Steigerung der Rohstoff- und Materialeffizienz, Frankfurt/M.

Kristof, K.: (2007): Hot Spots und zentrale Ansatzpunkte zur Steigerung der Ressourceneffizienz, gefördert vom BMBF, Wuppertal

Landtag von Baden Württemberg: (2009) Stellungnahme des Wirtschaftsministeriums, Materialeffizienz im Produzierenden Gewerbe, Drucksache 14/4480, 13.5.2009

Liesen, A.; Müller, F.; Marwede, M.; Handke, V.; Hahn, T., Figge, F. (2009): Der Sustainable-Value-Ansatz in kleinen und mittleren Unternehmen: Konzepte und Erfahrungen aus drei Fallstudien. IZT Werkstattbericht Nr. 107, Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung, Berlin:

Linscheidt, Bodo 1999: Nachhaltiger technologischer Wandel aus Sicht der Evolutorischen Ökonomik – staatliche Steuerung zwischen Anmaßung von Wissen und drohender Entwicklungsfalle. Umweltökonomische Diskussionsbeiträge Nr. 99

Paech, N. (2005): Nachhaltigkeit als marktliche und kulturelle Herausforderung, in: Fichter, K., Paech, N.; Pfriem, R.: Nachhaltige Zukunftsmärkte, S. 57-96, Marburg

Prognos (2009), Energieeffizienz in der Industrie, VDMA, Frankfurt/M.

Rohn, H.; Lang-Koetz, C., et.al. (2009): Identifikation von Technologien, Produkten und Strategien mit hohem Ressourceneffizienzpotenzial, MaRes-Projekt, Wuppertal

Roland Berger (2009): Roland Berger Strategy Consultants: Der Beitrag des Maschinen- und Anlagenbaus zur Energieeffizienz, VDMA, Frankfurt/M.

Schippl, J. et.al (2009): Roadmap Umwelttechnologien 2020, Forschungszentrum Karlsruhe

Scholl, G. (2010): Nutzen statt Besitzen – Perspektiven für ressourceneffizienten Konsum durch innovative Dienstleistungen, Workshop im BMU am 30.6.2010 in Berlin

Schrader, U. (2003): Konsumsymbolik als Determinante der Akzeptanz eigentumsersetzender Dienstleistungen, in: Scherhorn, G., Weber, C. (Hg.): Nachhaltiger Konsum, S. 219-230

Sellmann, R. et.al. (2009): Reducing the Greenhouse Gas Emissions of Commercial Print with Digital Technologies in: Proceedings of 2009 IEEE International Symposium on Sustainable Systems and Technology (ISSST)

Sorell, S.; Dimitropoulos, J., Sommerville, M. (2009): Empirical estimates of the direct rebound effect: A review, Energy Policy, Volume 37, Issue 4, April 2009, Pages 1356-1371

<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2008.11.026>

Sorrell, S. (2007): The Rebound Effect: an assessment of the evidence for economy-wide energy savings from improved energy efficiency

SRU (2005): Sachverständigenrat für Umweltfragen: Auf dem Weg zur Europäischen Ressourcenstrategie, Orientierung durch ein Konzept für eine stoffbezogene Umweltpolitik, Stellungnahme Nr. 9, Berlin

SRU (2008): Sachverständigenrat für Umweltfragen, Umweltgutachten 2008, Berlin

Statistisches Bundesamt (2008). Nachhaltige Entwicklung in Deutschland - Indikatorenbericht 2008. Wiesbaden, Statistisches Bundesamt

Statistisches Bundesamt (2009), Umweltnutzung und Wirtschaft, www.destatis.de

Statistisches Bundesamt (2010); Indikatorenbericht 2010, www.destatis.de

Thiessen, J., Christensen, T. S., Kristensen, T. G., Andersen, R. D., Brunoe, B., Gregersen, T. K., et al. (2008). Rebound effects of price differences. International Journal of Life Cycle Assessment, 13(2), 104-114.

UBA (2006): Energie aus Abfall –Ein bedeutender Beitrag zum Klimaschutz, Dessau

UBA (2007): Umweltdaten Deutschland – Nachhaltig wirtschaften – Natürliche Ressourcen und Umwelt schonen, Dessau

UBA (2009): Nachhaltige Flächennutzung und nachwachsende Rohstoffe, Dessau

UBA (2009): Nanotechnik für Mensch und Umwelt, Chancen fördern und Risiken mindern, Dessau

UBA (2010): Chemikalienleasing als Modell zur nachhaltigen Entwicklung mit Prüfprozeduren und Qualitätskriterien anhand von Pilotprojekten in Deutschland, FKZ 3707 67 407 Dessau

Weizsäcker, E.U.; Hargroves, K.; Smith, M.: Faktor Fünf, Droemer, München

wik (2006): wik-Consult – FhG Verbund Energie, Potenziale der Informations- und Kommunikations-Technologien zur Optimierung der Energieversorgung und des Energieverbrauchs (eEnergy), Studie für das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), Bad Honnef

ZVEI (2006): Technologie-Roadmap Automation 2015+. Frankfurt/M.

ZVEI (2008): Weißbuch Energie-Intelligenz, Frankfurt/M.

ZVEI (2009): Mit Hightech für Umwelt- und Klimaschutz, Frankfurt/M.

ZVEI (2009): Technologie-Roadmap Automation 2020+: Energie, Frankfurt/M.

ZVEI (2009): Technologie-Roadmap Automation 2020+: Wasser und Abwasser, Frankfurt/M.

ZVEI (2010): Roadmap Automation 2020+: Megacities, Frankfurt/M.

8. Glossar

Asset Management: Überwachung von Hardware- und Softwareressourcen zur Optimierung der eingesetzten Systeme. Dies umfasst z.B. Wartung und Instandhaltung von Maschinen zur Erhöhung der Anlagenverfügbarkeit.

Biosensoren: Biotechnologischen Messfühler sind mit biologischen Komponenten ausgestattet und basieren auf der direkten räumlichen Kopplung eines immobilisierten biologisch aktiven Systems mit einem Signalumwandler (Transduktor) und einem elektronischen Verstärker.

CO₂-Äquivalente: Angabe von Treibhausgaskonzentrationen, bei der neben Kohlendioxid auch andere Treibhausgase berücksichtigt werden und anhand ihrer Klimawirksamkeit in Kohlendioxid-Äquivalenten umgerechnet werden.

Demand-Side Management: Beeinflussung der Energienutzer um den Energieverbrauch dem zur Verfügung stehenden Angebot anzupassen (etwa in Spitzenzeiten den Energieverbrauch zu reduzieren). Gewinnt an Bedeutung bei hohem Anteil unregelmäßiger Erzeuger (erneuerbare Energien) aber auch aufgrund der Strommarktliberalisierung.

Echtzeitsysteme: Für die Realisierung der „Digitalen Fabrik“ werden komplexe Simulationssysteme benötigt, die alle relevanten Prozesse auch in der zeitlichen Dimension sehr wirklichkeitsnah – d.h. „in Echtzeit“ – abbilden. Dabei sind die im Vorfeld festzulegenden Zeitintervalle, in denen das System Zustandsgrößen erfasst und berechnet, so zu wählen, dass der entsprechende Prozess hinreichend genau abgebildet wird.

E-Invoice: Elektronische Abrechnungen

E-Media: Elektronische Medien im Bereich Audio und Video

Energieautonome Sensoren: Die Versorgung mit Energie erfolgt z.B. über Batterien und die Datenübertragung über Funk.

E-Paper: Elektronische Printmedien, das heißt Bücher, Zeitungen und Zeitschriften in digitaler Form

Inline-Qualitätssicherung: Soll die Produktanalytik prozessintegriert anstatt nachgeschaltet im Analytiklabor erfolgen, so sind Inline-Sensoren erforderlich. Zwar gibt es diese Inline-Sensoren bereits für viele Prozessparameter, aber nur für wenige Produktparameter. Die Qualitätssicherung am Band, anstelle im Labor, erfordert eine modular aufgebaute „intelligente“ Breitband-Sensorik bzw. -Analytik In Echtzeit.

Lab on a Chip: Das Konzept des „Lab on a Chip“ umfasst die Analyse von Produkt- und Prozessparametern mit Hilfe von Schnelltest-Sensoren in miniaturisierter Form.

MES Manufacturing Execution System: MES bezeichnet ein prozessnah operierendes Fertigungsmanagementsystem. Es zeichnet sich gegenüber ähnlich wirksamen Systemen zur Produktionsplanung, den sog. ERP-Systemen (Enterprise Resource Planning), durch die direkte Anbindung an die Automatisierung aus und ermöglicht die Kontrolle der Produktion in Echtzeit.

Modulare Sensorsysteme (Legobausteine): Modulare Prozessoren bzw. Funktionsblöcke könn(t)en je nach Bedarf entsprechend flexibel konfiguriert werden.

Prognose Tools: Für unregelmäßige Stromerzeuger (insbesondere Wind) sind Vorhersagen über die zu erwartende Stromproduktion wichtig. Prognose Tools fassen z.B. meteorologische Daten und Produktionskapazitäten zu Vorhersagen zusammen.

Prozessmodellierung: Für eine proaktive Prozesssteuerung ist eine Ideal/Real-Prozessmodellierung erforderlich, um anhand dessen geeignete Gegenmaßnahmen einleiten zu können. Um Idealzustände abzubilden, könnten Fingerprint-Sensoren zur produktspezifischen Kalibrierung eingesetzt werden. Die Realzustände müssen durch Echtzeitsensoren erhoben werden.

RFID (Radio Frequency Identification): RFID-Systeme gehören zu den Auto-Identifikationssystemen, mit deren Hilfe Informationen gespeichert, im Nahbereich drahtlos übertragen und ausgelesen werden können.

Selbstdiagnose/ Selbstüberwachung: Selbstdiagnose und -überwachung liefern Informationen über den Zustand des jeweiligen Messsystems und reduzieren dadurch Wartungsaufwand und -kosten.

Soft-Sensoren: Softwarebasierte Sensoren ermöglichen es, nicht direkt messbare Größen aus Anlagenmessungen, Qualitätsmessungen und –analysen anhand eines mathematischen Modells nahezu in Echtzeit zu ermitteln.

Software-Agenten: Als Software-Agenten werden Computerprogramme bezeichnet, welche autonom (unabhängig von Benutzereingriffen), proaktiv (d.h. Aktionen aus eigener Initiative auslösend) und reaktiv (auf Änderungen der Umgebung reagierend) arbeiten sowie sozial (mit anderen Agenten kommunizierend) und lernfähig (die Strategie aufgrund zuvor getätigter Entscheidungen bzw. Beobachtungen ändernd) sind.

Virtuelle Güter: Sammelbegriff für digitale Substitute für physische Produkte bis hin zu Dienstleistungen, die eine Nutzungsintensivierung von Produkten fördern.