



Publikationen des
Umweltbundesamtes

Verbesserung von Rohstoffproduktivität und Ressourcenschonung

Teilvorhaben 1: Potenzialermittlung,
Maßnahmenvorschläge und Dialog
zur Ressourcenschonung
(Kurzfassung)

Forschungsprojekt im Auftrag des
Umweltbundesamtes
FuE-Vorhaben
Förderkennzeichen 206 93 100/01

**Thomas Lemken
Rainer Lucas
Jose Acosta
Prof. Dr. Raimund Bleischwitz
Claudia Kaiser
Melanie Krause
Michael Ritthoff
Dr. Michael Scharp
Martin Stürmer
Henning Wilts**

**Umwelt
Bundes
Amt** 
Für Mensch und Umwelt

2009



Wuppertal Institut
für Klima, Umwelt, Energie
GmbH



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

Verbesserung von Rohstoffproduktivität und Ressourcenschonung – Teilvorhaben 1: Potenzialermittlung, Maßnahmenvorschläge und Dialog zur Ressourcenschonung

Kurzfassung

Förderkennzeichen 206 93 100/01

Juli 2008

Im Auftrag des Umweltbundesamtes



Bearbeitung durch:

Thomas Lemken (Projektleitung, WI)

Rainer Lucas (Projektleitung, WI)

Jose Acosta (WI)

Prof. Dr. Raimund Bleischwitz (WI)

Claudia Kaiser (WI)

Melanie Krause (WI)

Michael Ritthoff (WI)

Dr. Michael Scharp (IZT)

Martin Stürmer (WI)

Henning Wilts (WI)

Diese Kurzfassung des Abschlussberichtes ist im Rahmen des vom Umweltbundesamtes geförderten Forschungsprojektes „Verbesserung von Rohstoffproduktivität und Ressourcenschonung“ entstanden. Das Projekt wurde federführend vom Wuppertal Institut gemeinsam mit dem Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung in Berlin (IZT) und dem UNEP/Wuppertal Institute Collaborating Centre on Sustainable Consumption and Production (CSCP) durchgeführt.

Sie spiegelt die Ergebnisse des Zukunftsdialogs von 2007 bis 2008 wider und gibt einen Einblick über aktuelle Potenziale, Chancen und Hemmnisse zur Verbesserung der Rohstoff- und Ressourcenproduktivität in den Fokusbereichen „Bauen und Wohnen“ „Stahl“ und Kupfer“. Hintergrundrecherchen, Experteninterviews und Workshops waren Teil des offenen Dialogprozesses mit Akteuren aus Wirtschaft, Politik und Wissenschaft. Darüber hinaus werden ausgewählte Maßnahmenoptionen mit Beispielen für effiziente Handlungsansätze vorgestellt.

Ziel des Zukunftsdialogs war die Bündelung konkreter und praxisrelevanter Beiträge zur Verbesserung der Rohstoffproduktivität und der Ressourcenschonung und die Erarbeitung von Maßnahmenoptionen zur Steigerung der Ressourcenproduktivität. Diese gilt es nun an vorhandene politische Initiativen wie die Europäische Ressourcenstrategie und die „Ökologische Industriepolitik“ des Bundesumweltministeriums (BMU) anzuknüpfen.

Weitere Informationen zum Projekt finden Sie unter: www.ressourcenproduktivitaet.de

Die in der Studie geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Auftraggebers übereinstimmen.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	4
1 Einleitung	5
1.1 Ziele des Projekts	6
1.2 Untersuchungsdesign.....	7
1.3 Hot-Spots des Ressourcenverbrauchs.....	9
2 Bedürfnisfeld Bauen und Wohnen	13
2.1 Trends und Hemmnisse	13
2.2 Potenziale zur Erhöhung der Ressourceneffizienz und der Ressourcenschonung	14
2.3 Maßnahmenoptionen – Rechtliche-, Förder-, Marketing- und Informationsinstrumente.....	17
2.4 Weitere Handlungsoptionen und Empfehlungen.....	20
3 Rohstoffsystem Kupfer	23
3.1 Trends und Hemmnisse.....	23
3.2 Potenziale zur Erhöhung der Ressourceneffizienz und der Ressourcenschonung	25
3.3 Maßnahmenoptionen im Aktionsfeld Fahrzeugbau und Fahrzeugelektronik.....	30
3.4 Maßnahmenoptionen im Aktionsfeld IKT	32
3.5 Übergreifende Strategien – Internationale Regulierungen von Stoffströmen	34
4 Branche Stahl	36
4.1 Trends und Hemmnisse	36
4.2 Potenziale zur Erhöhung der Ressourceneffizienz und der Ressourcenschonung	37
4.3 Maßnahmenoptionen im Aktionsfeld „Hoch- und höchstfeste Stähle, Formgebungs- und Fügeverfahren, Ressourceneffizienz in der Stahlproduktion“	38
4.4 Maßnahmenoptionen im Aktionsfeld Durchdringungsstrategien	44
ressourceneffizienter Technologien	44
5 Dialogprozess und Bewertung	47
6 Ressourcenpolitik – Instrumente und internationale Anschlussfähigkeit	48
6.1 Ressourceneffizienz und Policy-Mix.....	48
6.2 Internationale Anschlussfähigkeit.....	50
6.3 Verbesserung der Ressourcenproduktivität in globalen Wertschöpfungsketten.....	51
7 Literatur	53

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Untersuchungsschritte und durchgeführte Analysen	7
---	---

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einsatz abiotischer Materialien bei der Herstellung ausgewählter Metalle	11
Tabelle 2: Material- und Energiebedarf für die Primär-/Sekundärproduktion von Kupfer	26
Tabelle 3: Instrumente eines ökologisch-industriellen Regulierungsrahmens	49

1 Einleitung

Der Ressourcenverbrauch moderner Industriegesellschaften ist durch vielfältige neue Herausforderungen gekennzeichnet. Es kann als gesicherter Stand der Diskussion angesehen werden, dass mit der Höhe des Ressourcenverbrauchs zahlreiche negative Umweltwirkungen verbunden sind. Vor diesem Hintergrund hat sich die Bundesrepublik Deutschland im Rahmen ihrer Nachhaltigkeitsstrategie das Ziel gesetzt, die Rohstoffproduktivität bis zum Jahre 2020 gegenüber dem Jahr 1994 zu verdoppeln.

Dieses neue Handlungsfeld der Ressourcenpolitik ist durch eine dreifache Herausforderung charakterisiert:

- Energie und Rohstoffe werden teurer, weil dem begrenzten Angebot eine verstärkte Nachfrage vor allem aus den bevölkerungsreichen Schwellenländern wie China, Indien und Brasilien gegenübersteht. Diese angespannte Situation wird auf mittlere Sicht so bleiben, weil der Rohstoffbedarf dieser Länder weiterhin ansteigen wird.
- Auf längere Sicht sind die Rohstoffvorkommen endlich. Und es muss ein immer größerer Aufwand betrieben werden, um neue Lagerstätten zu erkunden und zu erschließen. Zudem werden bei steigenden Rohstoffpreisen auch geringwertige Vorkommen in politisch instabilen Regionen und sensiblen Ökosystemen erschlossen, die mit höheren Umweltbelastungen einhergehen.
- Der Verbrauch der fossilen Energieträger trägt maßgeblich zum Klimawandel bei. Jeder Rohstoffverbrauch ist lebenszyklusweit mit Umweltbelastungen verbunden, die es zu minimieren gilt.

Umweltbelastungen durch Inanspruchnahme von Rohstoffen, Ressourcenschonung und effizientere Verwendung von Ressourcen sind dementsprechend grundlegende Handlungsfelder der heutigen Umweltpolitik. Die wirtschaftliche Entwicklung muss noch stärker als bisher von der Ressourceninanspruchnahme entkoppelt und die Ressourceninanspruchnahme mittelfristig absolut deutlich gesenkt werden. Neue Schwerpunkte sind die effizientere Nutzung von Rohstoffen, insbesondere durch eine Ressourcen schonende Gewinnung und Bereitstellung von Rohstoffen, Ressourcen schonende Produktionsverfahren, ökologisches Produktdesign, das Schließen von Stoffkreisläufen sowie durch Veränderung von Konsummustern hin zu einer Ressourcen schonenderen Erfüllung von Bedürfnissen.

Rohstoffe sind Kostenverursacher, insbesondere in rohstoffintensiven Produktionsprozessen. Spätestens seit dem neueren Preisanstieg auf den internationalen Rohstoffmärkten ist es ein ureigenes Interesse von Unternehmen, diese Kosten zu reduzieren und damit Wettbewerbsvorteile zu erlangen. Die Steigerung der Rohstoffproduktivität ist deshalb in nahezu allen Branchen ein seit langem verfolgtes strategisches Unternehmensziel. In der Vergangenheit wurden in einigen Branchen bereits spezifische Verbesserungen erzielt, indem Prozesse optimiert, interne Stoffkreisläufe geschlossen, Stoffe substituiert oder Technologiesprünge umgesetzt wurden. Insgesamt sind die Potenziale zur Steigerung der Rohstoffproduktivität jedoch längst noch nicht ausgeschöpft. Der Schwerpunkt der Optimierung lag in den vergangenen Jahren in der Verbesserung der Produktionsprozesse. Potenziale liegen aber in der gesamten Kette eines Stoffstroms von der Exploration über die Gewinnung, den Transport, die Veredelung, die Produktion, die Nutzung bis zur Wiederverwendung im geschlossenen Kreislauf oder einem anderen Produktsystem.

Hier ist es schwieriger, die Verantwortlichen und Entscheidungsträger zu identifizieren, die an einer Verbesserung der Produktivität Interesse und von ihr Vorteile haben. Diesen Stufen in den Stoffströmen, ihren Schnittstellen zum Produktionsprozess und ihren Mechanismen soll deshalb ein besonderes Augenmerk gelten. Zugleich wird auf „Hot-Spots“ des Ressour-

cenverbrauchs fokussiert. Es ist wichtig, die beteiligten Akteure zu identifizieren, ihre Motivationen zu erfassen und sie in den Diskussionsprozess einzubinden. Vor allem Systeminnovationen sind auf Koalitionen zwischen Akteuren angewiesen.

Diese Herausforderungen verlangen nach Innovationen und neuen wirtschaftlichen und politischen Konzepten und Bündnissen. Die deutsche und europäische Politik ist dabei, hierfür wichtige Weichenstellungen vorzunehmen und bei der Suche nach innovativen Lösungen neue Wege zu gehen. „Die intelligente Nutzung von Energie, Rohstoffen und Materialien ist eine Schlüsselfrage des 21. Jahrhunderts.“ Dies ist einer der Kernsätze aus dem Gründungsdokument für das Netzwerk „Ressourceneffizienz“ des Bundesministeriums für Umwelt (BMU/Roland Berger Strategy Consultants 2007). Die Bundesregierung hat in ihrer nationalen Nachhaltigkeitsstrategie in diesem Zusammenhang zwei Handlungsziele bis zum Jahr 2020 definiert: die Verdopplung der Rohstoffproduktivität (verglichen mit 1994) und der Energieproduktivität (verglichen mit 1990). Die Notwendigkeit einer über diese Anstrengungen hinaus gehenden Ressourcenschonung resultiert aus internationalen wirtschaftlichen Verflechtungen und ist politisch seit den Konferenzen in Rio (1992) und Johannesburg (2002) mit einer Reihe globaler Diskurse verknüpft, speziell mit der Frage nach ökologischer Verteilungsgerechtigkeit.

Auch die Europäische Kommission hat bereits im Jahr 2005 den Rahmen für eine nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen abgesteckt (Kommission der Europäischen Gemeinschaften 2005). Alle Länder der EU sollen einen nationalen Aktionsplan zur Steigerung der Ressourcenproduktivität vorlegen. Die absolute Senkung der Rohstoffinanspruchnahme einschließlich der damit einhergehenden Verringerung der Inanspruchnahme der Umwelt, und dies möglichst weltweit, wird zum Ziel staatlichen bzw. suprastaatlichen Handelns. Aufgabe der Politik ist es also, für geeignete Orientierungen, Anreize und Rahmenbedingungen zu sorgen, so dass alle zivilgesellschaftlichen und marktlichen Akteure ihre Chancen erkennen und den ihnen möglichen Beitrag zur Ressourcenschonung leisten.

Derartige politische Stellungnahmen und Vorgaben sind nicht nur aus Sicht der Ressourcenverfügbarkeit und -schonung wichtig, sie schaffen vielfache Win-Win-Optionen für eine sichere Rohstoffversorgung, Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit, den Umweltschutz und zusätzliche Arbeitsplätze (vgl. BMU/IG Metall/WI 2006).

1.1 Ziele des Projekts

Das Ziel dieses Vorhabens war ein konkreter Beitrag zur Verbesserung der Rohstoffproduktivität und Ressourcenschonung in Deutschland. Um künftige Koalitionen für Systeminnovationen einzuleiten, wurden strategisch bedeutsame Potenziale untersucht und Akteure identifiziert, um im Projektverlauf Maßnahmenoptionen in ausgewählten Schwerpunkten zu erarbeiten. Für ausgewählte Themen der Ressourcenpolitik wurde eine Dialogplattform geschaffen, wobei Workshop-Dialoge zentrale Elemente des umsetzungsorientierten Vorhabens waren.

Die Diskussion dieser Themen mündete in konkreten Maßnahmen, die auf eine Vermeidung von Scheinlösungen zielten, da diese an anderer Stelle wieder Probleme schaffen. Um neue Strategien zukunftsfähig zu machen, war eine Abwägung wirtschaftlicher, ökologischer und sozialer Risiken notwendig. Um dies auf den Weg zu bringen, haben sich im Rahmen des Projektes verschiedene Akteure aus Gesellschaft, Wirtschaft, Wissenschaft und Politik über Zielperspektiven und erste Maßnahmen verständigt.

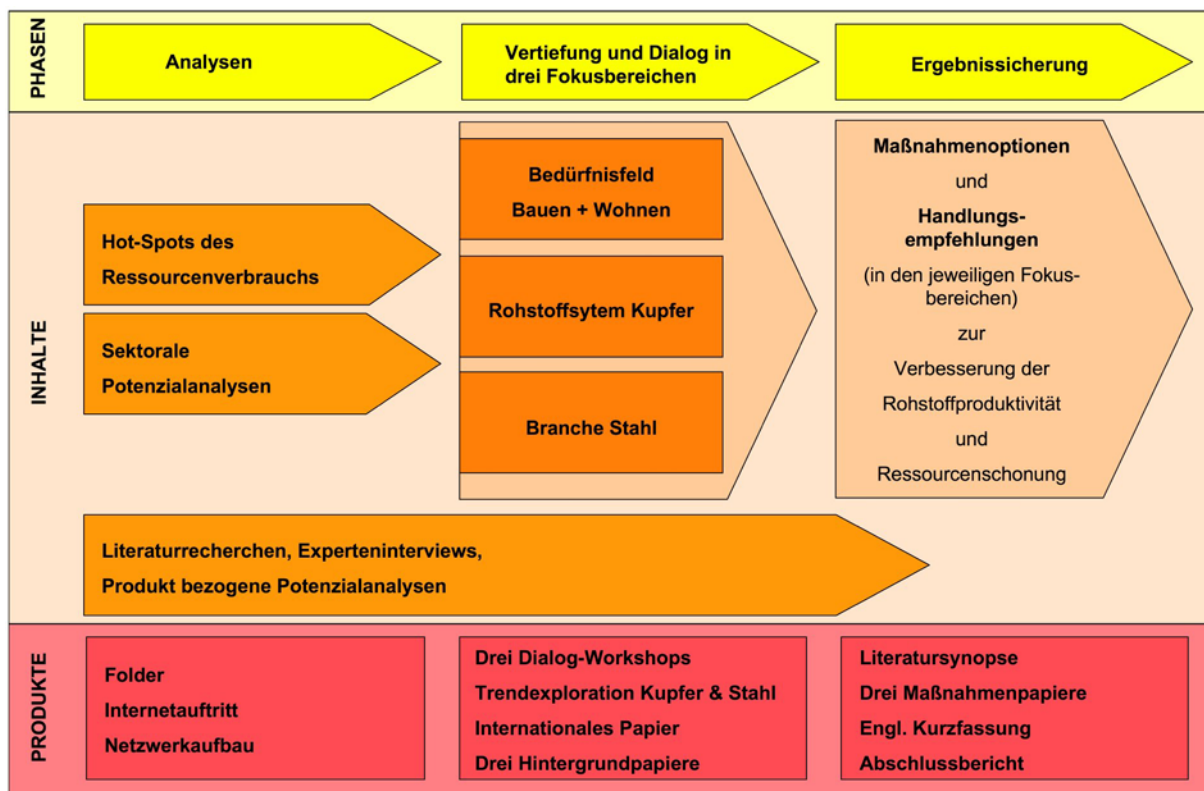
In drei ausgewählten **Fokusbereichen Rohstoffsystem Kupfer, Branche Stahl** und dem **Bedürfnisfeld Bauen und Wohnen** wurde die gesamte Wertschöpfungskette betrachtet, um

„Hot-Spots“ des Ressourcenverbrauchs zu identifizieren. Aufbauend hierauf wurden konkrete Maßnahmen und Innovationsfelder zur Verbesserung der Rohstoffproduktivität und Ressourcenschonung in Deutschland vorgeschlagen. Die Projektziele wurden durch eine Hot-Spot- und Potenzialanalyse realisiert. Ausgehend von den Ergebnissen der Literaturstudie und eigener Forschung wurden Maßnahmenvorschläge für prioritäre Rohstoffsysteme, Branchen und Bedürfnisfelder für alle relevanten involvierten Akteure erarbeitet. Eine angepasste Dialog-/Kommunikationsstrategie erlaubte es, spezifische Schlüsselakteure in Politik, Wirtschaft und Wissenschaft wie auch die interessierte Öffentlichkeit zu erreichen. Hierzu wurden unterschiedliche Transferprodukte wie Workshops, ein Internetportal und Hintergrundveröffentlichungen genutzt.

1.2 Untersuchungsdesign

In dem heterogenen und sehr fokusspezifischen Setting dieses F+E Vorhabens mit seinen unterschiedlichen qualitativen und quantitativen Anforderungen stellen Hot-Spot- und Potenzialanalysen in Verbindung mit einer Trendexploration, verschiedenen Literaturstudien und Experteninterviews einen adäquaten Methodenmix zur Erreichung der Projektziele dar.

Abbildung 1: Untersuchungsschritte und durchgeführte Analysen



Quelle: Wuppertal Institut

1.2.1 Bottom-up- und top-down-Analysen

Der Stoffhaushalt einer Gesellschaft bestimmt den Stoffwechsel mit der Umwelt, d.h. sämtliche Stoffentnahmen und -abgaben aus bzw. an die Natur. Die möglichen Wirkungen dieser Stoffströme auf die Umwelt und die Entwicklung der Ressourcenproduktivität lassen sich mit Hilfe von Indikatoren beschreiben. So ermittelt das Statistische Bundesamt die Indikatoren Rohstoff- und Energieproduktivität auf gesamtwirtschaftlicher Ebene und stellt den Zielerreichungsgrad entsprechend der Vorgaben der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie (Verdoppe-

lung bis 2020) dar (DeStatis 2003). Durch die im Projekt angewandten Methoden zur Ermittlung des sektoralen Ressourcenaufwands unter Berücksichtigung der direkten und indirekten Vorleistungen werden Defizite der bisher amtlicherseits verwendeten Methoden und Indikatoren überwunden. Auf der Basis der Vorarbeiten des Wuppertal Instituts (Behrensmeier/Bringezu 1995; Bringezu 2000; Moll et al. 2004; Acosta Fernández 2007) wurde Indikatoren gestützt ermittelt, welche Wirtschaftssektoren die höchsten Materialverbräuche aufweisen (*top-down*).

Mit Hilfe der Methodik der Hot-Spot-Analyse in Produktketten wurde ein Werkzeug entwickelt, welches es erlaubt die ressourcenintensivsten Phasen (Rohstoff-, Verarbeitungs-, Nutzungs- und Entsorgungsphase) innerhalb einer Produktkette *bottom-up* zu identifizieren. Bezogen auf die Art des Ressourceneinsatz wurden folgende Unterscheidungen getroffen: abiotische und biotische Rohstoffe sowie Wasser und Energie. Diese Unterscheidung ermöglichte es, orientierende Schlussfolgerungen für einzelne Produktketten zu treffen und Aussagen über mögliche Maßnahmenschwerpunkte zu treffen. Als Datengrundlage für die Hot Spot-Analyse dienten verfügbare Studien.

Durch die dargestellte Methodik war es insgesamt möglich

- die wichtigsten Vorleistungen eines Sektors darzustellen, die zu dem gesamten Ressourcenaufwand führen. Hierbei sind die Vorleistungsmengen durch die sektorale Endnachfrageproduktion bestimmt.
- den Ressourcenaufwand (TMR) aufgliedert nach Sektoren vergleichend darzustellen. Hierdurch konnten Erkenntnisse über die verbrauchstärksten Bereiche gewonnen werden und erste Ansatzpunkte identifiziert werden, worauf die Verbrauchsintensität zurückzuführen ist.

Die Untersuchung der Mikro- und Meso-Ebene erfolgte mit unterschiedlichen Systemabgrenzungen. Untersucht wurde das Rohstoffsystem Kupfer, die Branche Stahl sowie das Bedürfnisfeld Bauen und Wohnen. Aus dieser Differenzierung ergaben sich unterschiedliche Zugänge zu den Bottom-Up-Analysen dieser Bereiche. So spielten im systemweiten Ansatz für Kupfer auch internationale Entwicklungen und Verflechtungen eine starke Rolle. Der branchenbezogene Fokus Stahl hatte einen starken produktionstechnischen Fokus, während im Bedürfnisfeld Bauen und Wohnen die Nutzerperspektive in den Mittelpunkt rückte.

1.2.2 Literaturanalyse und Expertengespräche

Um zu einem Gesamtüberblick über mögliche Potenziale und Strategien zur Verbesserung der Rohstoffproduktivität und Ressourcenschonung in der Wirtschaft und konkreten Produktbereichen zu kommen, wurden auch Erkenntnisse über die über den Status Quo hinausgehenden (werkstoff-)technologischen Möglichkeiten benötigt, die bereits in der Wissenschaft diskutiert wurden und sich zum Teil bereits in der Erprobung befanden (z.B. Legierungen, Bearbeitungs- und Umformtechniken, Werkstoffsubstitution, neue Produktnutzungskonzepte, neue Recyclingverfahren). Diese Informationen wurden über eine Literaturanalyse und Expertengespräche gewonnen. Sie wurden genutzt, um – zunächst unabhängig von einzelnen Handlungsfeldern – die Maßnahmenorientierung in den Fokusbereichen zu konkretisieren, sowohl für einzelne Produktketten als auch für einzelne Wirtschaftsbereiche.

Den Schwerpunkt der Literatenauswahl bildeten vor allem Aussagen zum Ressourcenverbrauch und zur Ressourcenintensität in der gesamten Wertschöpfungskette eines Rohstoffes. Diese „Hot-Spots“ wurden aus den zugrunde liegenden Bedürfnisfeldern, Branchen, Rohstoffsystemen oder aber auch , Lebenszyklus- bzw. Wertschöpfungskettenabschnitten oder Prozessschritten, die sich durch eine hohe Ressourcenintensität auszeichnen, der verschiedenen Studien ermittelt. Für diese Hot-Spots wurden dann die in den Studien ge-

nannten Potenziale zur Erhöhung der Ressourceneffizienz, Trends/ Treiber, Hemmnisse und Strategien/Maßnahmen identifiziert. Dies war teilweise nicht immer vollständig möglich auf Grund fehlender Informationen bzw. anderer Schwerpunktlegungen der Studien. Das zweite Auswahlkriterium war der direkte bzw. indirekte Bezug der Studien zu metallischen bzw. mineralischen Rohstoffen, um damit die zuvor gewählten Fokusbereiche zu flankieren.

1.2.3 Dialog-Workshops

Der Vorbereitung und Durchführung des Dialogprozesses kam im Rahmen des Projektes ein zentraler Stellenwert zu. Zu Beginn wurden daher Ziele und Workshopdesign wie folgt festgelegt: Erstes und vorrangiges Ziel war es, konkrete Maßnahmenvorschläge zur Verbesserung der Rohstoffproduktivität und der Ressourcenschonung in drei ausgewählten Fokusbereichen zu erarbeiten. Diese sollten, soweit möglich, schnell umsetzbare Kostensenkungs- und Innovationspotenziale für die Teilnehmer bieten (low hanging fruits) und vornehmlich durch die beteiligten Akteure oder das UBA/BMU initiiert werden können.

Ein zweites wichtiges Ziel war es, die Akteure für ein längerfristiges Engagement über die drei Workshops hinweg und wenn möglich auch darüber hinaus zu gewinnen. Insbesondere sollten neue Netzwerke, Allianzen und Kooperationen entlang der Wertschöpfungsketten angeregt werden. Insgesamt sollte der Dialogprozess auch zu einer verbesserten politischen Steuerung und Abstimmung beitragen und mögliche Synergiefelder zwischen den Fokusbereichen aufzeigen.

Das **Teilnehmerspektrum** konzentrierte sich auf Akteure, die in den ausgewählten Fokusbereichen Kompetenzen hatten. Berücksichtigung fanden ebenso die Stakeholder eines ökologischen Strukturwandels/ einer „ökologischen Industriepolitik“ (Politik, Wirtschaft, NGOs, Konsumenten), die das System mittelbar beeinflussen. Des Weiteren wurde darauf geachtet, dass sich die Kompetenzprofile der Teilnehmer sinnvoll ergänzten. Voraussetzung war die Kompetenz als innovativer und umsetzungsstarker Entscheidungsträger und einflussreicher Multiplikator. Thematisch betraf dies vor allem die **Kompetenzfelder** Marktentwicklung und Wachstumstreiber in Branchen und Bedürfnisfeldern, Ressourcenschonung und Umweltwirkung, Innovationspotenziale, Erschließung von Effizienzpotenzialen und technischen Alternativen, Markteinführung (Leitmärkte) sowie die gesetzlichen Rahmenbedingungen.

Im Laufe des Prozesses wurden weitere Schlüsselakteure identifiziert, die (großen) Einfluss auf die Ressourceneffizienz des Systems, der Branche oder des Bedürfnisfeldes haben. Diese Schlüsselakteure wurden, wenn möglich, auch in die Interviewphase und die Vorbereitung der Workshops/ Abschlussveranstaltung eingebunden.

1.3 Hot-Spots des Ressourcenverbrauchs

Im Folgenden werden allgemeine Aussagen zum Ressourcenverbrauch in den drei Fokusbereichen getroffen, die auf so genannte Hot-Spots hinweisen. Dazu wurden auf nationaler Ebene „Hot-Spots des Rohstoffverbrauchs“ identifiziert. Diese kennzeichnen je nach Untersuchungsgegenstand Bedürfnisfelder, Branchen, Rohstoffsysteme oder aber auch Lebenszyklus- bzw. Wertschöpfungskettenabschnitte oder Prozessschritte, die sich durch eine hohe Ressourcenintensität (z.B. durch große ökologische Rucksäcke) auszeichnen. Diese Hot-Spots sind nicht notwendiger Weise mit großem Ressourcenschonungspotenzial oder einem besonders hohen Kosteneinsparpotenzial gleichzusetzen. **Potenziale** geben Auskunft über eine mögliche Erhöhung der Ressourceneffizienz (z.B. technische Optimierung) auf Basis der Hot-Spots. **Trends** für einen erhöhten Rohstoffverbrauch sowie deren **Treiber** („driving

forces') laufen der Erhöhung der Ressourceneffizienz entgegen (z.B. erhöhter Ver- und Gebrauch, wirtschaftliche Faktoren wie eine steigende Nachfrage usw.).

Für den **Fokusbereich Bauen und Wohnen** konnten entlang des Gebäudelebenszyklus insbesondere die Rohstoffgewinnung/Baustoffherstellung und die Nutzungsphase als besonders ressourcenintensive Phasen identifiziert werden. Zentraler Hot-Spot für Neubau und Sanierung ist die Planungsphase, in der über eine strategische Materialwahl auf die Materialintensität aller übrigen Lebenszyklusphasen eingewirkt werden kann.

Drängende Problemfelder im Bedürfnisfeld Bauen und Wohnen liegen in den Bereichen **Flächenverbrauch** und **Stoffströme**. Rund 40% des jährlichen Abfallaufkommens sind laut Enquête-Kommission zum Schutz des Menschen und der Umwelt dem Bausektor zuzurechnen. Die anfallenden Abfallmengen liegen jedoch unter der Menge der jährlich in Bauwerken gebundenen Baustoffe (vgl. Deutscher Bundestag 1997 in: Wallbaum/Kummer 2006, S. 19). „Von den jährlich durchschnittlich 51 t natürlichen Ressourcen (Bringezu 2004, S. 78), die jeder Mitteleuropäer im Jahr nutzt, resultieren bezogen auf die Bevölkerung in Deutschland ca. 30% aus der Art, wie Menschen heute noch bauen und wohnen.“ (Wallbaum/Kummer 2006, S. 19)

Weitere Hot-Spots liegen in den Bereichen Materialwahl, Energieverbrauch, Flächenverbrauch, Baustoffabfälle und Material/Rohstoffe im Bestand. Die höchsten Materialverbräuche entstehen in der Phase der Rohstoffgewinnung/Baustoffherstellung und der Gebäudenutzungsphase. „Gebäude sind langlebig. So sind zwei Drittel der im Jahr 2030 bewohnten Häuser heute gebaut, jedes Jahr kommen nur 1% Neubauten dazu (Fachinformationszentrum Karlsruhe 2002, S. 1).“ (Wallbaum/Kummer 2006, S. 20) „Als „Faustwert“ lässt sich sagen, dass Materialerneuerungen während der Nutzungsphase zu zusätzlichen direkten und indirekten Materialaufwendungen führen, die ungefähr 50% der Ressourcenaufwendungen des Rohbaus ausmachen.“ (Wallbaum/Kummer 2006, S. 31)

Die Hot-Spots im **Rohstoffsystem Kupfer** liegen vor allem im Abbau der Kupfererze, aufgrund zu hoher Umweltbelastungen. Beim Abbau treten ca. 98% der Mengenstoffströme in Form von Abraum und Abfällen auf, die als so genannte ökologische Rucksäcke den Rohstoffverbräuchen zugerechnet und damit sichtbar gemacht werden können. Gerade beim Rohstoff Kupfer zeigt sich die Relevanz dieser ökologischen Rucksäcke: Kupfer und Kupferprodukte allein machen 2,3% aller metallischen Rohstoffe, Halb- und Fertigwaren in der Material-Fluss-Analyse Deutschlands für das Jahr 2000 aus (importiertes Kupferkonzentrat, Kathodenkupfer, Kupferprodukte sowie in Deutschland hergestelltes Kupfer und -produkte). Bezieht man die für die deutsche Produktion notwendigen sekundären Vormaterialien mit ein, so steigt der Anteil des Kupfers und seiner Produkte auf 29% aller in Deutschland hergestellter und importierter metallischen Rohstoffe, Halb- und Fertigwaren an und ist damit bedeutsamer als die Branchen Eisen und Stahl sowie Aluminium mit ihren Produkten.

Außerdem ist der steigende Bedarf an Kupfer in den Schwellenländer zu nennen, der zu einem allgemein steigenden Ressourcenverbrauch führt. Der durchschnittliche Erzgehalt des abgebauten Kupfers sank in den letzten Jahren auf unter 1%, was zum einen an erschöpfenden Kupferlagerstätten liegen kann, zum anderen aber auch an der Einführung neuer Technologien wie dem SX-EW-Verfahren (Solvent-Extraction/ElectroWinning), die einen wirtschaftlichen Abbau von Kupfer auch mit signifikant niedrigerem Erzgehalt erlauben. Beim Abbau von Kupfer fallen pro Tonne Kupfer (Abbau und Verarbeitung) ca. 100-350 t Abraum sowie 50-250 t Abgang an (vgl. Erdmann et al. 2006). Weiterhin werden 30-100 GJ Energie und 200-900 m³ Wasser verbraucht und es entstehen 300 kg SO₂-Emissionen. Beim Abbau, aber auch der Verarbeitung und dem Recycling von Kupfer treten zudem dissipative Einträge in die Umgebung auf. Des Weiteren sind Wasser-, Land- und Luftbelastungen, der Transport

der Rohstoffe in die Verbraucherländer, sowie Belastungen, die während der Nutzungsphase von Kupferprodukten entstehen, zu berücksichtigen.

Aus dem wachsenden Bedarf an Kupfer in den Schwellenländern entstehen zusätzliche ökologische Herausforderungen. So untergraben die regen Auslandsinvestitionen Chinas in Afrika und Asien humanitäre und ökologische Standards. Die steigende Nachfrage auf hohem Preisniveau führt zu einer Expansion des Bergbaus in neue Gebiete und zur Erschließung minderwertiger Vorkommen. Je nach Abbaumethode und Technikeinsatz nimmt die Umweltbelastung zu. Beispielsweise wird in Chile durch den starken Preisanstieg in kleineren Minen die Produktion wieder aufgenommen. Umweltstandards werden oft nicht eingehalten und die Exploration findet in ökologisch sensiblen Gebieten statt. Gleichzeitig gibt es massive Probleme mit der Energie- und Wasserversorgung. Es bedarf verbindlicher Indikatoren und Ziele zur Verbesserung der Umweltsituation (vgl. Giurco 2005; sowie Schüller 2006; BGR 2007).

Hot-Spots der Branche Stahl: Eisen und Stahl sind die mengenmäßig dominierenden metallischen Werkstoffe. Das gilt auch für die mit der Gesamtproduktion verbundenen Umweltbeeinträchtigungen (van der Voet 2003) und den Ressourcenverbrauch. Die absoluten Produktionsmengen sind jedoch eine unmittelbare Folge der intensiven Stahlnutzung. Diese wiederum steht im Zusammenhang mit der guten Verfügbarkeit der Rohstoffe und der vielseitigen Anwendbarkeit des Werkstoffes. Bezogen auf die Produktionsmenge ist der Ressourcenverbrauch, verglichen mit anderen Metallen, vergleichsweise gering (Ritthoff 2005). Bei der Erzeugung von primärem Aluminium werden etwa 5-mal und bei der Erzeugung von primärem Kupfer etwa 50-mal mehr Ressourcen eingesetzt (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1: Einsatz abiotischer Materialien bei der Herstellung ausgewählter Metalle

	t/t
Roheisen	7,34
Aluminium (primär)	36,51
Kupfer (primär)	348,47

Quelle: Wuppertal Institut

Der Ressourcenverbrauch der Stahlindustrie wird vor allem von den eingesetzten Eisenerzen und dem Energieverbrauch bestimmt. Hierbei ist zu unterscheiden zwischen Stahl aus der Hochofenroute, bei der Eisenerz und Energieträger einen etwa gleich großen Anteil am Ressourcenverbrauch haben, und der Elektrolichtbogenroute für Stahlschrotte. Bei letzteren dominieren klar die Energieträger, da es sich bei den eingesetzten Stoffen um Sekundärmaterialien handelt (Herzog et al. 2003).

Die Ressourceneffizienz der Stahlerzeugung wurde durch viele Optimierungsschritte bereits deutlich erhöht. Aufgrund des Einsatzes höherwertiger Erze, verbunden mit einem völligen Verzicht auf eine Eisenerzförderung in Deutschland, konnte die deutsche Stahlindustrie bereits deutliche Ressourceneffizienzsteigerungen erzielen. Der Effekt ist dabei ein zweifacher: Einerseits kommt es zu einer Verringerung der eingesetzten Mengen an Eisenerz, andererseits wird der Energieverbrauch reduziert (Ritthoff 2006). Hinzu kommt beispielsweise auch eine verbesserte Gesamtausbringung der eingesetzten Eisenressourcen von ca. 60% 1960 auf fast 90% 2005 (Ameling 2007).

Der Einsatz hochwertiger Erze ist eine wesentliche Ursache für die Verbesserung der Ressourcen- und Energieeffizienz der Stahlindustrie. Der spezifische Einsatz von Rohstoffen konnte so zwischen 1960 und 2003 pro 1 t Rohstahl um insgesamt 44% reduziert werden. Hinsichtlich des Reduktionsmittelverbrauchs werden die Hochöfen in Deutschland am verfahrenstechnischen Minimum betrieben (Lüngen 2004; Still 2005).

Große Fortschritte im Hinblick auf die Effizienz des Herstellungsprozesses konnten auch jenseits der eingesetzten Energieträger und Rohstoffe erzielt werden. Deutlich wird dies z.B. anhand des Einsatzes feuerfester (ff) Werkstoffe in der Stahl- und Eisenerzeugung (u.a. in Hochöfen, Konvertern). Der Verschleiß von ff-Materialien ist einerseits verbunden mit erheblichen Kosten sowie Ressourcen- und Energieverbräuchen, andererseits auch mit Produktionsstillständen für die Erneuerung von Anlagen. Durch die Weiterentwicklung und den gezielten Einsatz von ff-Stoffen konnte deren Verbrauch in der Stahlindustrie innerhalb der letzten 30 Jahre halbiert werden. (Ritthoff 2005).

2 Bedürfnisfeld Bauen und Wohnen

2.1 Trends und Hemmnisse

Trends im Bedürfnisfeld Bauen und Wohnen können regional unterschiedlich ausfallen und angepasste Maßnahmen erfordern. Als generelle Trends werden der erhöhte Flächenverbrauch, der soziodemographische Wandel, die Differenzierung von Lebensstilen und die Zunahme von Trockenbau genannt.

Der Anteil der Einfamilienhäuser an neu errichteten Wohngebäuden in Deutschland wird sich bis zum Jahr 2025 auf 95% erhöhen gegenüber 75-80% im Jahr 2001 (Wallbaum/Herzog 2001). Der zunehmende Wohnflächenbedarf resultiert dabei aus der steigenden Zahl der Eigenheime, die pro Kopf tendenziell immer mehr Fläche verbrauchen als Mietwohnungen, aus der Zunahme der Haushalte von Alleinstehenden (Single-Haushalte) und als Folge des demographischen Wandels: Der Anteil älterer Menschen an der Gesamtbevölkerung steigt. Diese beanspruchen aber mehr Wohnfläche pro Kopf als Jüngere (GdW 2006, S. 19).

Die demographische Entwicklung Deutschlands befindet sich in einem Wandel: Von 1990 bis 2000 stieg die Bevölkerungszahl noch um über zwei Millionen an, bis 2010 ist schon ein leichter Rückgang zu erwarten, der sich schneller entwickeln wird. Für den Zeitraum von 2005 bis 2050 wird ein Rückgang der Bevölkerung um ca. 10% auf dann etwa 74 Mio. Einwohner prognostiziert. Die langfristige Bevölkerungsentwicklung bis zum Jahr 2050 kennzeichnet das Statistische Bundesamt (DeStatis) als gleichzeitigen Schrumpfungs- und Alterungsprozess (2006).

Es ist ein Wandel von Kundenbedürfnissen und eine Differenzierung von Lebensstilen in der Gesellschaft zu verzeichnen. Diese Entwicklungen verändern die Vorlieben für bestimmte Wohn- und Bauformen. Auch die Formen des Zusammenlebens sind in Deutschland in den letzten Jahrzehnten vielfältiger geworden. Dieser Trend ist geprägt durch einen Anstieg von „nichtkonventionellen“ Lebensformen (Patchwork-Familien, Alleinerziehende etc.) neben der „Normalfamilie“, durch eine Zunahme von Single-Haushalten und durch den Anstieg der Haushalte, in denen ältere Menschen leben.

Ergebnisse einer Studie des Vereins für Holz- und Trockenbau (VHT) zum Innovationspotenzial verschiedener Bauweisen (Mauerwerksbau, Stahlbauweise, Trockenbau): „Der Trockenbau, dessen wichtigste Komponente der Baustoff Gips ist – fast die Hälfte des eingesetzten Materials ist Gips – wird bis 2012 die meisten Innovationen hervorbringen. Und: Während der Einsatz von Mauerwerk und Stahlbeton auf den Baustellen zurückgeht, ist der Trockenbau auf dem Vormarsch. Um rund 30 Prozent soll das Marktvolumen in Europa bis 2012 zulegen.“ (Tichelmann/ Ohl 2005, S. 2)

Als allgemeine **Hemmnisse** für Ressourceneffizienz können im Bedürfnisfeld Bauen und Wohnen folgende genannt werden:

- **Verbraucher/Bauherren:** Informationsdefizite bzgl. Rentabilität und Einsetzbarkeit von Innovationen (z.B. verbesserte Gebäudetechnik) (vgl. ADL/WI/ISI 2005, S. 61);
- **Kenntnisse der Nutzer:** Besonders bei Technologien, die eine Umstellung im Verhalten der Gebäudenutzer erfordern, ist eine verstärkte Begleitung notwendig (z.B. durch Monitoringprogramme oder regelmäßige Informationsveranstaltungen) (Erfahrungsbericht des Architekten Michael Müller zum Passivhaus-Studentenwohnheim Neue Burse in Wuppertal);
- **Architekturbüros/Baufirmen:** Mangel an qualifiziertem Personal für Planung, Projektleitung und -durchführung (vgl. ADL/WI/ISI 2005, S. 61);

- **Baufirmen/Baustoffhersteller:** Fehlende Finanzmittel für Investitionen in Maschinen und Anlagen (z.B. in der Baustoffherstellung) (vgl. ADL/WI/ISI 2005, S. 61);
- **Nachhaltige Gebäudeplanung:** Fehlende technisch-organisatorische Lösungen und Konzepte (z.B. für Ressourcen schonende, lebenszyklusorientierte Planungskonzepte) (vgl. ADL/WI/ISI 2005, S. 61).

2.2 Potenziale zur Erhöhung der Ressourceneffizienz und der Ressourcenschonung

Das Bedürfnisfeld Bauen und Wohnen stellt eine große Herausforderung für eine nachhaltige Entwicklung dar (Enquête-Kommission 1998). Etwa 30% unseres Naturverbrauchs (gemessen als Materialentnahmen in kg) pro Kopf und Jahr werden für die Art, wie wir heute noch bauen und wohnen benötigt (Bringezu 2004). Gebäudebestand und umgebende Infrastruktur (z.B. Straßen, Plätze) nehmen in Deutschland einen großen Teil der Ressourcen (Fläche, Energie und Rohstoffe) in Anspruch (Deutscher Bundestag 1998). Rund ein Drittel aller direkt und indirekt erzeugten Materialströme pro BundesbürgerIn entsteht im Bedürfnisfeld „Bauen und Wohnen“ (Wallbaum/Kummer 2006, S. 163). Damit ist „Bauen und Wohnen“ das mit Abstand materialintensivste Bedürfnisfeld (Bringezu/Behrensmeier 1998; Behrensmeier/Bringezu 1995, S. 27). Mit einem globalen Materialverbrauch von ungefähr 52 t je Bundesbürger pro Jahr (Bringezu 2004, S. 81) entspricht das ungefähr dem Gewicht von 17 Kleinwagen pro Kopf und Jahr allein im Bedürfnisfeld „Bauen und Wohnen“ (Annahme: 1000 kg/Kleinwagen).

Um die im Kyoto-Abkommen vereinbarten Klimaschutzziele umzusetzen, kann vor allem die Sanierung des Gebäudebestandes einen signifikanten Beitrag leisten. Die Einsparpotenziale sind groß: Während ein überwiegender Teil des zukünftigen Bedarfs an Wohngebäuden durch bestehende Gebäude gedeckt werden könnte, träumen viele Bauherren und Bauherinnen weiterhin vom freistehenden Einfamilienhaus im Grünen. Viel zu selten wird deutlich, dass ähnlicher Wohnkomfort, energetisch- und ressourcenoptimiert, auch in städtischer Umgebung und mit besserer Infrastrukturanbindung geschaffen werden könnte.

Entlang des Gebäudelebenszyklus konnten für jede Gebäudelebensphase verschiedene Ressourceneinsparpotenziale identifiziert werden. Die Studie nachhaltiges Bauen prognostiziert in einem Nachhaltigkeitsszenario, dass bis 2025 durch die Umsetzung eines Maßnahmenmixes bis zu einem Drittel der jährlichen Rohstoffinanspruchnahme eingespart werden können. „Die jährliche Inanspruchnahme mineralischer Rohstoffe für „Bauen und Wohnen“ [...] um etwa ein Drittel verringern“ (UBA 2004, S. 13) – d.h. minus 89 Mio. t/a von 269 Mio. t auf 180 Mio. t. im Nachhaltigkeitsszenario.

Viele der aufgeführten Hinweise auf Einsparpotenziale weisen ebenfalls in diese Richtung. Schwerpunkte liegen vor allem in den Möglichkeiten einer vorausschauenden und Ressourcenproduktivitätsaspekte berücksichtigenden Planungsphase, der Verlängerung von Gebäudelebensdauern und Energieeinsparungen in der Nutzungsphase. Auch Optimierungen in der Baustoffgewinnungsphase, z.B. über den verstärkten Einsatz von Recyclingmaterial (Baustoffe und aus Siedlungsabfällen gewonnene Materialien) können signifikant zur Nachhaltigkeit im Bedürfnisfeld Bauen und Wohnen beitragen.

Im Folgenden werden einige identifizierte Potenziale entlang der Gebäudelebensphasen aufgeführt:

Baustoffgewinnungs-/Herstellungsphase

Nachhaltige Baustoffe:

- Entwicklung innovativer und ressourceneffizient produzierter und zu entsorgender Baustoffe
- Substitution herkömmlicher Baustoffe durch nachwachsende Rohstoffe
- Verbesserung der Material- und Energieeffizienz bei der Gewinnung/Produktion herkömmlicher Baustoffe
- Ressourceneffizientere Energiegewinnung, insbesondere Strom (zur Entlastung der Herstellungs- und Gebäudenutzungsphase) (vgl. Wallbaum/Kummer 2006, S. 37)

Baustoffrecycling:

- Verbessertes Baustoffrecycling auf qualitativ hochwertiger Ebene (vgl. Wallbaum/Kummer 2006, S. 37)
- Nutzung von Bauabfällen als Rohstoffquelle. (Wallbaum/Kummer 2006, S. 37)
- Förderung und stärkere Etablierung von Betonrecycling in hochwertige Anwendungen (Zuschlag für Neubeton) – Geschätztes Potenzial: Rohstoffeinsparungen bis 10% ab ca. 2010 (bis 16 Mio. t/a) (Öko-Institut 2006, S. 23)

Planungsphase

Reduzierung des Bedarfs an mineralischen Rohstoffen:

Reduktionspotenzial um ca. 50% (d.h. 80 Mio. t/ha) zwischen 2000 und 2025 durch Verlängerung der Gebäudelebensdauer (umfassende Sanierungen, Zusammenlegungen von Wohnungen, Verringerungen von Leerständen, Beschränkung des Neubauvolumens auf Bedarf, forcierter selektiver Rückbau von ungenutzten Gebäuden (Öko-Institut 2006, S. 23).

Lebenszyklusbetrachtungen/Ressourceneffizienzchecks für Neubau und Sanierung:

Planungsbegleitende lebenszyklusorientierte Analysen, bzw. Checklisten zu größenordnungsmäßigen Ressourcenverbräuchen von Gebäudeteilen (z.B. typischen Wandaufbauten) in Verbindung mit üblichen Erneuerungszyklen. (Potenzial z.Z. nicht sinnvoll quantifizierbar) (vgl. Wallbaum/Kummer 2006, S. 37).

Neubau- und Sanierungs-Ausführungsphase

Sanierung/Instandhaltung/Weiternutzung des Bestands:

Durch Um- und Weiternutzungen von Bestandsgebäuden können 50% bis 80% Material eingespart werden (vgl. Wallbaum/Kummer 2006, S. 34, 39). „Nimmt man Bezug auf die Sanierungs- und Neubauraten der Vergangenheit, können die durch planungsbegleitende Ressourceneffizienzanalysen erreichbaren Einsparungen mit ca. 58,85 Mio. t im Neubau bzw. 117,7 Mio. t im Altbau beziffert werden.“ – Das bedeutet gegenüber 5.000 kg abiotischen Materials auf 1.500 kg/m² in der Nutzungsphase zu reduzieren (ebd., S. 39).

Energieeinsparungen/Energetische Gebäudesanierung:

„Die Möglichkeiten zur Energieeinsparung im Gebäudebestand werden bislang bei Fassaden- und Gebäuderenovierungen nicht ausreichend genutzt (Stand 2002). Wie die Sanierung einer großen Wohnungssiedlung in Ludwigshafen zeigt, ist mit den heutigen neuen Wärmedämmstoffen und Wärmeschutzfenstersystemen eine Verminderung des spezifischen Wär-

mebedarfs von derzeit durchschnittlich 180 kWh pro Quadratmeter und Jahr möglich.“ (Bundesregierung 2002, S. 167)

Verminderung von Bauschäden durch Qualitätskontrolle:

„Durch Fehler bei der Planung und Ausführung entstehen in Deutschland jedes Jahr vermeidbare Bauschäden in Höhe von rund 3,35 Mrd. Euro. Oft liegt es daran, dass so schnell und preiswert wie nur irgend möglich gebaut wird. In einigen Fällen werden Mängel von Handwerkern und Baufirmen nicht erkannt oder bewusst ignoriert, und es wird weitergearbeitet, bis ein offensichtlicher Schaden daraus entsteht.“ (MDR 2004)

Nutzungsphase (inkl. Umnutzung/Instandhaltungsphase)

Senkung des Energiebedarfs für Heizung und Wasseraufbereitung:

Durch Innovationen in der technischen Gebäudeausrüstung und durch Umstieg auf erneuerbare oder weniger Klima belastende Heizenergieträger (vgl. Wallbaum/Kummer 2006, S. 37); „Würden z.B. alle Wohneinheiten bei gleich bleibendem Heizwärmebedarf von 150 kWh/m²*a mit Erdgas beheizt [bezogen auf Deutschland], entspräche dies einem theoretischen Einsparpotenzial von 267 Mio. t abiotischen Materials (d.h. eine Verringerung der heutigen Naturinanspruchnahme um den Faktor 6).“ (Wallbaum/ Kummer 2006, S. 39)

Energieersparnis durch Gebäudeautomation und eine fortschrittliche technische Gebäudeausrüstung:

Sensorensysteme, die feststellen, ob jemand im Raum ist und danach Heizung und Beleuchtung steuern: „Durch ein konsequent umgesetztes Gebäudeautomationskonzept mit integrierter Raumautomation lassen sich bis zu 65% der Beleuchtungsenergie und bis zu 35% der Heiz- und Kühlenergie einsparen. In der Gesamtbilanz kann der Primärenergiebedarf – und damit auch die Energiekosten – um bis zu 50% gesenkt werden.

Die Finanzierungskosten für ein solches System liegen in der Regel deutlich unter den zu erwartenden Energiekosteneinsparungen. Eine Modellrechnung zeigte, dass bei 700 Euro Zusatzinvestition pro Raum den Finanzierungskosten in Höhe von 90 Euro jährlich Kosteneinsparungen von 150 Euro gegenüberstehen – eine Rendite im zweistelligen Bereich.“ (Becker/ Knoll 2007))

Rückbau

Bei der Trennung von Baustofffraktionen sollte ein hochwertiges Recycling ermöglicht werden.

Weitere Potenziale

Kohlendioxidemissionen im Aktionsfeld Bauen und Wohnen:

Die jährliche Emissionen von rund 227 Mio. t CO₂ könnten nach dem Nachhaltigkeitsszenario 2025 (vgl. UBA 2004, S. 14) um 52% bis 2025 gesenkt werden (UBA 2004, S. 15).

Reduktion der Flächeninanspruchnahme:

Die zusätzliche jährliche Flächeninanspruchnahme für Wohnen könnte bis 2025 um bis zu 85% reduziert werden (im Vergleich zum Jahr 2000) (UBA 2004, S. 12f). „Weg vom Neubau auf der „grünen Wiese“, hin zur Stärkung der Siedlungskerne. So lässt sich die zusätzliche Fläche, die wir verbrauchen, binnen zwei Jahrzehnten um mehr als achtzig Prozent verringern.“

Export der Technik nachhaltigen Bauens:

Ungefähr zwei Drittel der weltweiten Aktivitäten im Hochbau werden in Entwicklungsländern durchgeführt. Die Hälfte aller städtischen Wohngebäude in China wurde erst in den 1990er

Jahren erbaut. Hier ergeben sich aufgrund niedrigerer Standards vor Ort große Potenziale für Ressourceneinsparungen. „Aufgrund unzureichend strikter Baustandards oder nicht hinreichend an den Standards orientierter Baupraxis benötigen die neuen Gebäude in vielen Schwellen- und Entwicklungsländern bis zwei Drittel mehr Energie zur Beheizung bzw. zur Klimatisierung als es wirtschaftlich angebracht wäre.“ (Rat für Nachhaltige Entwicklung 2004, S. 6)

2.3 Maßnahmenoptionen – Rechtliche-, Förder-, Marketing- und Informationsinstrumente

Nachfolgend werden einige rechtliche Instrumente, Förder-, Marketing- und Informationsinstrumente als Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz vorgestellt, die im Projekt mit Akteuren diskutiert wurden.

2.3.1 Rechtliche Instrumente

Mietrecht

Ungefähr 61% der bewohnten Wohneinheiten in Deutschland sind vermietet, so dass ein maßgeblicher Teil des bislang unsanierten Bestandes vom Nutzer-Investor-Dilemma betroffen ist (desicca 2007). So bedeuten energetische Gebäudesanierungen in der Regel auf der einen Seite Investitionskosten für Eigentümerinnen und Eigentümer und auf der anderen Seite Einsparungen bei den Nebenkosten – vorwiegend für Mieterinnen und Mieter. Höheren Investitionskosten der Eigentümerinnen und Eigentümer (Investor) stehen niedrigere Betriebskosten der Mieterinnen und Mieter gegenüber (Nutzer). Ist ein Gebäudebestand vermietet, wird der Anreiz für Investitionen in energetische Sanierungen durch die Möglichkeit bestimmt, die Investitionskosten umzulegen und langfristig selbst von der Investition zu profitieren.

Das aktuelle Mietrecht stellt sicher, dass sowohl Vermieterinnen und Vermieter als auch Mieterinnen und Mieter von den langfristigen Kosteneinsparungen durch energetische Sanierungen profitieren. Im Bürgerlichen Gesetzbuch (BGB) regelt § 559 die „Mieterhöhung nach Modernisierung“. Danach dürfen Vermieterinnen und Vermieter die jährliche Miete bereits heute um bis zu 11% erhöhen, wenn durch Modernisierungsmaßnahmen eine allgemeine und dauerhafte Verbesserung der Wohnverhältnisse oder nachhaltige Einsparungen, im Bereich von Energie oder Wasser, erreicht werden. In der Praxis fehlt jedoch ein *praktikables* Berechnungsmodell für eine Umlage der energetischen Einsparungen. Die Mieterhöhungen müssen im Einzelfall anhand konkreter Verbesserungen begründet werden, so dass es selten gelingt eine Mieterhöhung von 11% ohne beträchtlichen Aufwand durchzusetzen (www.ressourcenproduktivitaet.de).

Auch eine Anhebung des Mietpreises auf die ortsübliche Vergleichsmiete nach § 558 BGB hilft nur selten, den wärmetechnischen Sanierungsstand von Wohnungen zu berücksichtigen, da diese oft auf Basis lokaler Mietspiegel erfolgt die in der Regel keine Angaben zum Energiebedarf des Wohnbaubestandes wiedergeben. Hier könnte die Legaldefinition des Mietspiegels aus § 558c BGB (Mietspiegel) bzw. § 558d BGB (qualifizierter Mietspiegel) angepasst werden, so dass der wärmetechnische Standard bei der Angabe der ortsüblichen Vergleichsmiete berücksichtigt werden muss.

Steuerrecht

Im Einkommensteuerrecht sind Kosten für Modernisierungs- und Instandsetzungsaufwendungen in vermietetem Bestand von der Steuer absetzbar (das gilt bei einer Sanierung im

selbst genutzten Bestand aber nur für die Arbeitskosten und nicht generell für alle Modernisierungsaufwendungen). Wenn diese Kosten innerhalb der ersten drei Jahre nach Anschaffung eines Objektes anfallen und abzüglich der Umsatzsteuer 15% der Anschaffungskosten übersteigen, werden sie – ebenso wie die Anschaffungskosten – über 50 Jahre abgeschrieben (siehe § 6 des Einkommensteuergesetzes (EStG) zur „Bewertung“). Um jedoch die langen Abschreibungszeiträume zu umgehen, zögern viele Eigentümerinnen und Eigentümer (kostspielige) Instandhaltungs- und Modernisierungsmaßnahmen heraus und führen sie erst Jahre später – oder gar nicht – durch. Durch eine Anpassung des EStG könnten Instandhaltungs- und Modernisierungsmaßnahmen, die ökologisch sinnvoll sind, wie zum Beispiel Wärmedämmung, nicht länger zu den anschaffungsnahen Herstellungskosten gezählt werden. So wäre es möglich, diese bereits in einem kürzeren Zeitraum abzuschreiben. Dadurch wäre es ökonomisch attraktiver, Instandhaltungs- und Modernisierungsmaßnahmen bereits zeitnah zur Gebäudeanschaffung durchzuführen.

Förderinstrumente

Schon heute bestehen zahlreiche Möglichkeiten, sich Investitionen in material- und energieeffizientes Bauen fördern zu lassen. So bietet unter anderem die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) eine Reihe von Programmen an, die die Anreize für energetische Sanierungen und energieeffizientes Bauen erhöhen. Allein im Jahr 2006 konnten mit diesen Programmen 2.300 Mio. kWh Energie eingespart werden (CO2-online GmbH/Fraunhofer IBP 2007, S. 10).

Eine finanzielle Förderung durch Kredite und Zuschüsse gibt in der Regel aber nicht den Anstoß für eine Sanierung. Die finanziellen Unterstützungen werden „mitgenommen“, nachdem die Entscheidung zur Sanierung bereits getroffen ist (www.ressourcenproduktivitaet.de). Es scheint daher sinnvoll, wenn in Zukunft seitens der KfW auch energetische Sanierungs- sowie Materialeffizienz-Beratungen finanziell unterstützt würden. Aktuell bieten zahlreiche Akteure Energie- und Materialeffizienzberatungen an. Darüber hinaus werden Tipps und Hinweise für energetische Sanierungen (z.B. Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA), Deutsche Energie-Agentur, Mieterbund, Verbraucherzentralen, Bundesarbeitskreis Altbauerneuerung BAKA e.V.) vermehrt über unterschiedlichste Kanäle angeboten (z.B. Internetportale).

2.3.2 Marketing- und Informationsinstrumente

Ökologischer Mietspiegel

Heutige konventionelle Mietspiegel werden seitens der Stadt oder Kommune bereitgestellt. Sie enthalten nur selten Hinweise auf den energetischen Standard der angebotenen Wohnungen, da ihnen die entsprechende Datengrundlage für die Erstellung eines ökologischen Mietspiegels fehlt. Gleichzeitig fehlen aber auch bundeseinheitlich vorgeschriebene Kriterien.

Eine allgemeingültige Kriterienauswahl und Inhalte für einen ökologischen Mietspiegel würden einen einheitlichen Informationsgehalt sicherstellen und eine Vergleichbarkeit verschiedener Städte ermöglichen. Ein erfolgreiches Beispiel für die Verwendung eines ökologischen Mietspiegels ist die Stadt Darmstadt und auch der Heizspiegel im Rahmen der BMU-Kampagne „Klima sucht Schutz“ (www.klima-sucht-schutz.de).

Im Rahmen einer Mietrechtsreform könnte die Legaldefinition des Begriffs „Mietspiegel“ auf ökologische Kriterien ausgeweitet werden. Doch auch ohne Mietrechtsreform wäre ein flächen deckendes Angebot denkbar. Wichtige Akteure um dem Ziel der weiteren Verbreitung ökologischer Mietspiegel näher zu kommen, sind z.B. Vertreterinnen und Vertreter lokaler Mietspiegelkommissionen. Darüber hinaus könnten Interessenverbände von Mieterinnen und Mietern sowie Eigentümerinnen und Eigentümer sich für die Erstellung ökologischer Mietspiegel nach einheitlichen Kriterien einsetzen.

Erweiterung des Gebäudeenergiepasses zum Ressourcenpass

Über den lebenszyklusweiten Ressourcenverbrauch für Gebäude ist bislang in der Öffentlichkeit nur wenig bekannt. Vorhandene Erkenntnisse zum Ressourcenverbrauch für einzelne Gebäudetypen beschränken sich auf Einzelstudien im Rahmen wissenschaftlicher Begleitforschungen zu Bauprojekten. Privaten Bauherrinnen/ Bauherren mit wenigen Gebäuden ist heute die Berücksichtigung Lebenszyklus weiter Ressourceneffizienz Aspekte (Material, Fläche, Energie) selbst mit hohem Aufwand nur begrenzt möglich. Damit beschränken sich Überlegungen zum ökologischen Bauen und Sanieren oft auf die Energiefrage.

Der Gebäudeenergiepass kann je nach Größe und Alter als verbrauchsorientierter oder bedarfsorientierter Ausweis ausgestellt werden (siehe EU-Richtlinie 2002/91/EG und die deutsche EnEV). Energieverbrauchsausweise bilden eher das Nutzungsverhalten der Bewohner/-innen ab, da der Verbrauchswert als Durchschnitt der tatsächlich verbrauchten Energie der letzten drei Jahre ermittelt wird. Energiebedarfsausweise hingegen vermitteln ein umfassenderes Bild über den Zustand eines Gebäudes und lassen Aussagen über die Energieeffizienz eines Gebäudes zu. Damit stellen Bedarfsausweise einen möglichen Ansatz dar, zumindest den Energiebedarf eines Gebäudes in der Nutzungsphase unter Einbezug der Vorketten zur Energiebereitstellung (Herstellung, Transport, etc.) zu berücksichtigen.

Langfristig könnte dieses Instrument zu einem Ressourcenpass weiterentwickelt werden, der neben dem Energiebedarf auch den Lebenszyklus weiten Materialbedarf eines Gebäudes in den verschiedenen Lebensphasen materialspezifisch ausweist und die lebenszyklusweite Materialintensität wiedergibt. Auf diese Weise könnte eine Informationsbasis und ein Erfahrungsschatz entstehen, die eine gezielte Berücksichtigung von Ressourcenproduktivitätsfragen (Material, Energie, Fläche) bereits in der Planungsphase zulassen. Um einen Ressourcenpass zu entwickeln, sind neben Akteuren aus der Forschung vor allem Erfahrungen aus der Bauwirtschaft gefragt.

Marketing- und Informationsbedarfe

Bauen und Wohnen im Bestand wird im Vergleich zum Neubau oft als schwierig, bzw. risikoreich und oft als unrentabel empfunden. Dies trifft sowohl für viele Architektinnen und Architekten (Multiplikatoren) als auch für einige Zielgruppen unter den Konsumentinnen und Konsumenten zu.

Wohnentscheidungen werden häufig stark gefühlsmäßig, anstatt anhand einer Gegenüberstellung von Fakten getroffen. Die vorherrschenden Idealbilder decken sich dabei nicht immer mit der später angetroffenen Lebenswirklichkeit (siehe z.B. Projekt zum Freiraumschutz des Bundes für Umwelt und Naturschutz (BUND), www.freiraumschutz.nrw.de). Obgleich längst bekannt ist, dass gerade Familien, die an den Stadtrand ziehen, oft später die Infrastruktur der Innenstadt vermissen, ist das Idealbild vom frei stehenden Einfamilienhaus im Grünen nach wie vor vorherrschend.

Wie Erfahrungen im Rahmen des Programms klima:aktiv in Österreich belegen, könnte eine breit angelegte Marketing- und Informationskampagne dazu beitragen, vorhandenes Wissen zum Bauen und Wohnen im Bestand zu verbreiten und auf die Vorzüge des Wohnens im modernisierten und energetisch optimierten Bestand hinzuweisen. Eine vergleichbare Plattform, die neben Energieeffizienz- auch lebenszyklusweite Materialeffizienz Aspekte berücksichtigt, gibt es noch nicht. Diese könnte beispielsweise auf Bundesebene über die Bundesarchitektenkammer oder eine neu zu gründende Dachorganisation bestehender Material- und Energieeffizienznetzwerke ins Leben gerufen werden. Eine bundeseinheitliche Kampagne könnte das bereits in vielen Bundesländern vorhandene Engagement für material- und energieeffizientes Bauen bündeln und unterstützen. Neben Gebäudeeigentümerinnen/ Gebäudeeigentümern, Mieterinnen und Mietern sollten im Rahmen solch einer Kampagne die

Zielgruppen Bauunternehmen, Wohnungsunternehmen, Handwerksunternehmen, Architektinnen und Architekten, Konsumentinnen und Konsumenten (darunter auch Schülerinnen/Schüler und sogar Kindergartenkinder) angesprochen werden.

Eine bundesweite Marketing- und Informationskampagne könnte u.a. auf eine Imageverbesserung von Bauen und Wohnen im Bestand, die Verbreitung eines auf die Bedürfnisse wichtiger Zielgruppen abgestimmten Beratungs- und Informationsangebotes, Ressourcenschonung (Bestandsnutzung hilft Material- und Energieströme einzusparen), die Verhinderung einer weiteren Suburbanisierung und eine gesteigerte Attraktivierung von Innenstädten sowie die Verbreitung neuer Gebäudeformen und -typen und die Arbeitsplatzsicherung im Handwerk zielen.

Ressourcenschonung und Förderung des urbanen Wohnens

Umfragen zeigen, dass auch Familien oft lieber in der Stadt wohnen würden, sofern abgesicherte Spielmöglichkeiten, wie eingefriedete Gärten, Bolzplätze und andere Infrastrukturangebote vorhanden wären. Unter solchen Bedingungen zeigten nur ältere kinderlose Paare eine Präferenz, im Umland zu wohnen (InWIS 2007). Eine Marketing- und Informationskampagne könnte mit bestehenden Projekten und Aktionen gekoppelt werden und die Bedürfnisse verschiedener Zielgruppen direkt ansprechen. Gleichzeitig könnte eine solche Kampagne genutzt werden, das Bewusstsein für die Ressourcenthematik weiter zu schärfen und zielgruppengerechte Hinweise zu Ressourcen sparendem Nutzungsverhalten zu bieten.

2.4 Weitere Handlungsoptionen und Empfehlungen

Ausbildung- und Qualifizierungsoffensive

Die Effizienz in der Nutzung von Baustoffen wird maßgeblich von denen bestimmt, die diese einsetzen, also Architekten und Handwerker. Die Potenziale können vor allem dann optimal genutzt werden, wenn alle Beteiligten ein hohes Fachwissen aufweisen sowie den Mut besitzen, „ineffiziente“ Trends mit innovativen Strategien zu begegnen. Die handwerkliche Qualität durchgeführter Arbeiten spielt eine große Rolle für die Materialeffizienz. Deshalb liegen erhebliche Ressourceneffizienzpotenziale in der Förderung von Know-how bei Handwerkern und in der Qualitätssicherung. Das Spezialwissen der am Bauprozess beteiligten ist ein wichtiger Erfolgsfaktor für Kundenzufriedenheit, Ressourceneffizienz und Auftragslage. Spezialisierung auf Sanierung (auch für Handwerkerinnen und Handwerker) mündet in einer höheren Erfolgsquote. Dadurch lassen sich Baumängel vermeiden.

Sinnvoll ist es hier eine Qualifizierungsoffensive für Architektinnen und Architekten, Planerinnen und Planer, aber auch Handwerkerinnen und Handwerker zu starten. Mit Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen aus Gewerbe übergreifenden und -spezifischen Inhalten können die angesprochenen Zielgruppen ihre Fach- und Beratungskompetenz passgenau erweitern und werden so befähigt, die eigenen Produkte und Dienstleistungen auf die unterschiedlichen „Zielgruppen“ auszurichten.

Information und Beratung

Die Informationslage in Bezug auf ökologische und energetische Eigenschaften von Wohnraum erschwert es sowohl Mieterinnen und Mieter als auch Eigentümerinnen und Eigentümer, ökologische, ressourceneffiziente Kriterien in die Auswahl mit einzubeziehen. Entsprechend ist ein wachsender Bedarf an Beraterinnen und Beratern zu erkennen, da diese die Verbraucherinnen und Verbraucher unabhängig und kompetent beraten können. Unterstützen können dabei auch Instrumente wie Label und Qualitätssiegel. Gebäudepässe oder ein ökologischer Mietspiegel sind hier bereits viel versprechende, ausbaufähige Ansätze. Hier

könnte die reine Energieberatung durch Beratungsleistungen im Themenkomplex Ressourceneffizienz erweitert und gefördert werden. Auch für Nutzerinnen und Nutzer stehen z.B. mit dem FSC-Label (Forest Stewardship Council) und den Fortschritten bei der EPD (Environmental Product Declaration) erste Label zur Verfügung, um Ressourceneffizienz frühzeitig zu berücksichtigen. Im Bereich des Energiebedarfs in der Nutzungsphase besteht eine extrem hohe Abhängigkeit der Ressourcenproduktivität vom Nutzerverhalten. Insofern liegen große Effizienzpotenziale in der Verbreitung von Wissen zur ressourceneffizienten Nutzung moderner Gebäudetechnik. Es genügt nicht, ein hochmodernes und effizientes Gebäude zu bauen. Es ist auch notwendig, den Nutzerinnen und Nutzern die Philosophie des Gebäudes zu erklären.

Erweiterung des Blickwinkels

Handlungsbedarf besteht insbesondere im Hinblick auf eine gezielte Förderung von Bestandsanierung, Nachverdichtung und Brachflächenaktivierung. Hierzu zählen z.B. die Förderung einer verstärkten Innenentwicklung der Siedlungsgebiete bei gleichzeitiger Revitalisierung der Siedlungskerne insbesondere in den Kernstädten (Verminderung der Stadtlucht).

Auch die Förderung einer verstärkten Nutzungsmischung, z.B. durch neue Formen eines verdichteten Bauens für Wohnen und Gewerbenutzung sowie die zusätzliche Besteuerung der Nutzung neuer Flächen, kann eine verstärkte Bestandsnutzung unterstützen. Sowohl der Kontext des Gebäudes selbst, als auch die weiteren Ebenen im Kontext der Stadtplanung müssen gemeinsam betrachtet werden. Es ist bei einzelnen Bauprojekten, eine umfassendere Planung notwendig, die Ressourceneffizienzaspekte auch unter dem Gesichtspunkt der Städteplanung berücksichtigt. Hier ist z.B. das langfristige Ziel einer „Aufwertung von Quartieren“ ein wichtiger zu berücksichtigender Faktor, über den auch die Bestandsnutzung gefördert werden könnte.

Über die Gebäude- bzw. Sanierungsplanung hinaus müsste der Projektentwicklungsbereich gefördert werden. Dann wird es möglich, Ressourceneffizienzbetrachtungen und städteplanerische Aspekte zu berücksichtigen. Im Hinblick auf Ressourceneffizienz lautet für den planerischen Bereich die kurze und einfache Formel: Gute Planung = Ressourceneffizienz.

Förderprogramme um- und ausbauen

Viele Förderprogramme im Bereich Bauen und Wohnen zielen vor allem auf den Neubau. Zur Förderung von notwendigen Investitionen sollten die Förderprogramme der KfW in Richtung Ressourceneffizienz ausgebaut werden. Hier könnte neben dem Instrument zinsverbilligter Kredite auch zeitlich begrenzt direkte Zuschüsse und steuerliche Abschreibungsvergünstigungen eingesetzt werden.

Imageverbesserung des Bauens im Bestand

Das derzeit schlechte Image des „Bauens im Bestand“ hemmt eine breite Umsetzung. Die Nutzung von Altbauten birgt gegenüber Neubauten erhöhte Kostenrisiken. Der Endpreis ist dadurch schwieriger zu kalkulieren. Eine relativ sichere Einschätzung der Kosten des Umbaus ist so erst nach intensiver Planung gegeben, was die finanziellen Risiken v.a. in der Vorfinanzierung erhöht. Eine richtungssichere und verlässliche Imageverbesserung der Bestandssanierung ist aber erforderlich, um die Nutzung von Altbauten für eine breite Zielgruppe, z.B. junge Familien, interessant zu machen.

Kooperationen

Das Bedürfnisfeld Bauen und Wohnen ist durch eine starke wechselseitige Verflechtung der verschiedenen Akteure gekennzeichnet. Im Bauprozess arbeiten verschiedene Gewerke zusammen. Dabei zeigen sich aber deutliche Optimierungsmöglichkeiten. Die Zusammenar-

beit verschiedener Akteure ist von großer Bedeutung und notwendig für die Erreichung von Ressourceneffizienzzielen. In diesem Zusammenhang ist die Zusammenarbeit von Planung und Handwerk mit den Bauherrinnen und Bauherren und von Wohnungsunternehmen und Mietparteien wichtig und verbesserungsbedürftig, sowie eine optimierte Zusammenarbeit innerhalb der Wertschöpfungskette am Bau anzustreben. Mittel- und langfristig sind die Chancen einer forcierten Politik zur Erhöhung der Ressourceneffizienz groß, jedoch auch die anstehenden Herausforderungen und Konflikte nicht zu unterschätzen. Die notwendige Steigerung der Ressourceneffizienz ist demzufolge nicht im Selbstlauf zu erreichen, sondern nur durch eine Kombination von Vorgaben, Anreizen und Unterstützung.

Das Bedürfnisfeld Bauen und Wohnen bietet mit seinen hohen Beiträgen zur Umweltbelastung riesige Ressourcenschonungspotenziale und wird so zu einem bedeutenden Handlungsfeld für strategische Ansätze zur Steigerung der Ressourceneffizienz. Diese werden jedoch nur dann realisiert, falls die gesellschaftlichen Rahmenbedingungen einen effizienten Umgang mit den natürlichen Ressourcen auch wirklich zulassen und befördern.

3 Rohstoffsystem Kupfer

3.1 Trends und Hemmnisse

Im Fokusbereich Kupfer werden Trends und Treiber allgemein durch einen steigenden Ressourcenverbrauch in Schwellenländern charakterisiert. Durch das Wachstum in der Volksrepublik (VR) China und anderen Schwellenländern ist die Nachfrage nach Kupfer zwischen 2001 und 2006 von 14,9 Mio. auf 17,1 Mio. t weltweit sprunghaft gestiegen. Haupttreiber sind der Aufbau der Infrastruktur und die Elektrifizierung. Fast zwei Drittel dieses Anstiegs entfallen allein auf die VR China. Diese nutzte im Jahr 2006 über 3,8 Mio. t Kupfer und löst somit die USA (2,3 Mio. t) als wichtigsten Konsumenten ab (IKB 2007, S. 8 f.).

RWI/ISI/BGR (2006) gehen von einer Steigerung des weltweiten Kupfergebrauchs um rund 72% bzw. 2,7 % p.a. bis 2025 aus (Basisjahr 2004). Gleichzeitig sind die Substitutionspotenziale begrenzt, da Kupfer als Leiterwerkstoff in der Elektrotechnik unverzichtbar ist. Die hohe Nachfrage konnte kurzfristig nicht durch die vorhandenen Minenkapazitäten gedeckt werden. In der Folge stieg der Preis zwischen 2003 und 2006 von 1.500 Dollar auf knapp 8.000 Dollar pro Tonne (BGR/RWI/ISI 2006, S. 71).

Die hohe Nachfrage nach Kupfer aus den Schwellenländern wird anhalten, da ein enger Zusammenhang zwischen steigendem Wohlstandsniveau und Kupferbedarf besteht. Dabei spielen auch allgemeine Trends, die aus der Innovationsdynamik moderner Industriegesellschaften resultieren, eine Rolle: z.B. die zunehmende Vernetzung von Industrien und technischen Anlagen, die steigenden Ansprüche an die Telekommunikation in Beruf und Freizeit, die Dezentralisierung der Energiewirtschaft, aber auch die hohen Sicherheits- und Komfortstandards im heutigen Automobilbau. In diesen Wachstumsfeldern kann die Verbesserung der Rohstoffproduktivität dazu beitragen, die Nachfrage nach Kupfer zu dämpfen.

Vor dem Hintergrund der weltweiten Nachfrageentwicklung kommt der Ausweitung der Sekundärproduktion in Deutschland und Europa eine steigende Bedeutung zu. Aber selbst wenn die weltweite Recyclingquote für Kupfer 2025 beispielsweise bei 35% anstatt wie derzeit bei 13% läge, so würde der Primärkupferbedarf bis 2025 bei einem Verbrauchsanstieg um 72% immer noch um knapp 30% anwachsen (RWI/ISI/ BGR 2006).

Im **Aktionsfeld Fahrzeugbau** werden verschiedene Trends und Treiber ausgemacht:

- Die Entwicklung des Fahrzeugbestands und die hiermit verbundene Zu- und Abgänge (einschließlich der Lebensdauer, die diese Parameter beeinflusst): Zwar steigt durch die Alterung der Gesellschaft und die zunehmende individuelle Automobilität die Anzahl der Führerscheininhaber, gleichzeitig begrenzen jedoch soziale und demographische Faktoren (Einkommen, Rückgang der Bevölkerungszahl) die zukünftige Steigerung der Neuzulassungen.
- Die Ausstattung der Fahrzeuge und den damit verbundenen werkstofflichen Strategien in der Automobilindustrie (insbesondere Anwendungsfelder für den Kupfereinsatz): Hohe Sicherheits- und Komfortstandards im heutigen Automobilbau, insbesondere durch Nischenfahrzeuge mit aufwendiger Elektronik und starken Akkumulatoren (Geländewägen, Cabrios mit elektrischem Verdeck, etc.) lassen den Kupferbedarf inzwischen weiter ansteigen (ca. 1,5 bis 2,5% des Gesamtgewichtes).
- Sättigungserscheinungen auf dem deutschen Markt: Automobilindustrie versucht ihre Wertschöpfung durch eine Expansion in die großen Wachstumsmärkte in Ostasien (z.B. China) zu steigern.

Im Fahrzeugbau laufen folgende **Umsetzungshemmnisse** entgegen einer Verbesserung der Rohstoffproduktivität und Ressourcenschonung:

- Bei der Konstruktion von Automobilen führen einige Anforderungen zu Zielkonflikten in der Praxis (z.B. Kosten, Umweltschutz, Recyclingfähigkeit). Diese sollten durch integrierte Kosten-Nutzen-Analysen im Rahmen des Life-Cycle-Assessment (LCA) überwunden werden.
- Schnittstelle zwischen Gebrauchtwagenmarkt und Abfallregime: Hemmnisse, die eine vollständige Erschließung der Recyclingpotenziale im Bereich der Altfahrzeuge verhindern. Das Abfallregime mit seinen hohen Umweltstandards gerät bei der Altautoentsorgung zunehmend in eine Konkurrenzsituation zu verschiedenen Teilmärkten wie dem Gebrauchtwagenhandel, dem Handel mit demontierten Einzelkomponenten und dem Handel mit Schrotten. Von jährlich mehr als 3,2 Mio. gelöschten Fahrzeugen (KBA 2007a) wird nur noch eine halbe Million in Deutschland verwertet (BVSE 2006).

Im **Aktionsfeld Informations- und Kommunikationstechnologien** (IKT) haben sich in den letzten Jahrzehnten verschiedene leistungsstarke Technologien und somit Trends etabliert, die auf unterschiedlichen Netzen basieren: Kabel und leitungsgestützte Systeme (Festnetz, Kabelnetz) sowie Funksysteme (mobile Kommunikation sowohl terrestrisch als auch über Satellit). Es ist charakteristisch, dass die beiden ersten in erheblichem Umfang auf Kupfer als Leitungsbasis zurückgreifen. Parallel zu den Angeboten der neuen Medien (Highspeed-Datenübertragung, wireless communication, mobile Navigation, Download von Filmen etc.) nimmt jedoch der Bedarf an leistungsstarken Übertragungswegen für große Datenmengen immer mehr zu.

Der ressourceneffiziente Umgang mit Kupfer steht im Rahmen der Produktentwicklung und –herstellung nicht unbedingt im Fokus des Interesses der Unternehmen, da andere Faktoren gewichtiger hinsichtlich der Kosten oder Kundenwünsche sind. So steht bei der Miniaturisierung von Handys und der Digitalisierung seiner Funktionen nicht das Streben nach Ressourceneffizienz im Vordergrund, sondern die Erweiterung der Funktionen und das Angebot von sehr kompakten und leichten Geräten.

Im Rahmen der Analyse dieses Aktionsfeldes, Interviews mit Experten und Expertinnen und Workshops wurden vier Problemstellungen bzw. **Hemmnisse** im IKT-Bereich identifiziert:

- Auf der Ebene der Produktion spielen Kriterien der Ressourceneffizienz vor allem dann eine Rolle, wenn sich die Ressourcenpreise relevant auf die Güterpreise niederschlagen. Allerdings werden in diesem Falle auch von Seiten der produzierenden Industrie Möglichkeiten gesucht, wie die Kosten gemindert werden können z.B. durch die Nutzung alternativer Materialien oder durch Ressourcen sparende Konstruktionsprinzipien. Hinsichtlich der Kupfernutzung in IKT-Geräten gibt es einen deutlichen Zielkonflikt. Einerseits wird Kupfer zwar in nennenswerten Mengen eingesetzt, aber andererseits sind die Materialkosten in den Geräten von untergeordneter Bedeutung im Vergleich zum Beispiel zu den Lohnkosten.
- Im Rahmen der Nutzung von IKT-Produkten wirken sich insbesondere die kurzen Nutzungszeiten aufgrund einer hohen technologischen Innovationsrate kontraproduktiv auf die Ressourceneffizienz aus. Weiterhin hat der weitgehende Preisverfall für IKT-Produkte zu einer Wegwerf- anstelle einer Reparaturkultur geführt.
- Der Ausbau der Funktechnologien und die Nutzung der Funknetze für die Datenübertragung haben zu einer multiplen Angebotsstruktur geführt, bei der die verschiedenen Netze inzwischen gleichartig genutzt werden. Insbesondere durch die Nutzung von

Kupfer im Festnetz ergibt sich hier eine hohe Relevanz zur Betrachtung der Verwendungsweisen.

- Die höchsten Defizite – und auch Potenziale im Sinne der Ressourceneffizienz – im IKT-Bereich werden bei der Rückführung der nicht mehr genutzten Produkte und dem Recycling gesehen. Beim Materialrecycling werden gemäß Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG) die mengenmäßig relevanten Stoffe separiert. Dies müssen aus Sicht einer Ressourcenpolitik aber nicht die wertvollsten Stoffe sein.

Aus der allgemeinen Beschreibung des Rohstoffsystems und der Literaturanalyse ist zu erkennen, dass die größten Potenziale zur Ressourcenschonung am Anfang der Wertschöpfungskette liegen. Produktivitätsfortschritte, die dann indirekt die Ressourcennachfrage dämpfen, müssen dann in einzelnen Anwendungsfeldern erschlossen werden. Hierbei sind die unterschiedlichen Randbedingungen zu beachten. Von daher ist es sinnvoll, die Potenziale anwendungsbezogen für einzelne Handlungsfelder zu beschreiben.

Eine Verbesserung der Ressourcenproduktivität in einzelnen Anwendungsfeldern würde sowohl zu positiven Umwelteffekte in den Erzeugerländern als auch in den importierenden Industrienationen führen. Aus der Literaturanalyse ergibt sich, dass mit einem Maßnahmenbündel (effizienter und gezielter Einsatz, Substitution und Recycling) die Ressourcenproduktivität deutlich gesteigert werden könnte. Ob hiermit allerdings eine absolute Verringerung des Ressourcenverbrauchs verbunden ist, hängt von den jeweiligen Wachstumsraten ab.

3.2 Potenziale zur Erhöhung der Ressourceneffizienz und der Ressourcenschonung

Aus volkswirtschaftlicher Sicht führen technologische Innovationen zur Verbesserung der Rohstoffproduktivität zu einer Reihe positiver externer Effekte (z.B. Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit), gleichzeitig werden die Umweltauswirkungen der Produktion und somit negative externe Effekte verringert. Vor diesem Hintergrund sollten bei der Gestaltung der Anreizsysteme zur Erschließung der Potenziale beide Dimensionen beachtet werden.

Potenzial Kupfer-Recycling

Kupferschrotte sind bis zu 100% recyclebar. Der Recyclinganteil beträgt in Deutschland 55% (BGR/RWI/ISI 2006, S. 72) und weltweit 13% (ebd., S. 258). Kupferschrotte werden hierbei auf einem internationalen Markt gehandelt. Für importabhängige Verbrauchsländer wie Deutschland ist ein hoher Recyclinganteil unter zwei Aspekten von Bedeutung: Kostensparnis und Versorgungssicherheit. Die Verarbeitung von Sekundärrohstoffen – vor allem aus dem inländischen Aufkommen – verringert die benötigten Importe und entlastet die Handelsbilanz (RWTH 2002). So ersetzte das Recycling verschiedener Metalle im Jahr 2005 Rohstoffimporte im Werte von fast 4 Mrd. Euro und führte damit zu einer Wertschöpfung in entsprechender Höhe. Hiervon gehen 2,2 Mrd. Euro auf das Konto eingesparter Energie, die zur Neuerzeugung der Materialien notwendig gewesen wären (Bardt 2006).

Aus umweltpolitischer Sicht bietet das Kupferrecycling erhebliche Potenziale. Belastungen durch Bergbau und Transport entfallen (Ayres et al. 2003, S. 9). Gemäß der Forschungsstelle für Energiewirtschaft (1999) ergibt sich folgender Material- und Energieverbrauch für Primär- und Sekundärkupfer:

Tabelle 2: Material- und Energiebedarf für die Primär-/Sekundärproduktion von Kupfer

	Einheit	Primär- verfahren	Sekundär- verfahren
Herstellung Kupferkonzentrat			
Energie	MJ/t	14-15.000	0
Bergematerial	t/t	37-38	0
Herstellung Kupfer			
Energie	MJ/t	41-46.000	30-32.000
Ausbeute	%	97	k.A.
Schwefelsäure	t/t	1,8	0
Schlacke	t/t	1,1	0,53
Sonstige Reste	kg/t	33	90

Quelle: Forschungsstelle für Energiewirtschaft 1999; Ayres et al. 2003

Insgesamt bewegt sich das Kupferrecycling in Deutschland auf einem hohen technischen Stand. Allerdings sind noch nicht in allen End-User-Märkten leistungsfähige Recyclingkonzepte etabliert, insbesondere dort, wo Kupfer nicht den Hauptmassenstrom darstellt. Ayres et al. (2003) kommen zu dem Schluss, dass die Recyclingpotenziale für Kupfer nicht hinreichend erschlossen sind. Neue Probleme sind darüber hinaus in Folge der Verlagerung des Verbrauchs in Länder ohne eine Recycling-Infrastruktur (wie China und Indien) zu erwarten. Hemmend für den Ausbau des Recyclings sind ebenfalls die (noch) starken wirtschaftlichen Interessen der Mining Industrie. Daher bestehen Potenziale für einen Technologietransfer von Recycling-Infrastrukturen vor allem in Schwellenländern, in denen der Kupfergebrauch weiter steigt.

Im **Aktionsfeld Fahrzeugelektronik und Fahrzeugbau** werden Potenziale wie effizienterer Werkstoffeinsatz, recyclinggerechte Konstruktion und Produktentwicklung, verbesserte Recycling-Technologien, sowie verbesserte statistische Erfassung der Stoffströme genannt. Der enorme Kupferbedarf der Automobilwirtschaft wird für Fahrzeug-Bordnetze weltweit in Höhe von 1,5 Mio. t/a deutlich. Dies entspricht ca. 10% der weltweiten Kupfer-Minenproduktion (Steuff 2006). Nach eigenen Berechnungen des Wuppertal Instituts wird es im deutschen Fahrzeugbestand in den nächsten zwanzig Jahren zu einer Verdopplung des Kupfereinsatzes kommen, von aktuell ca. 22 kg auf ca. 40 kg im Durchschnitt der Personenkraftwagen(PKW)-Flotte im deutschen PKW-Bestand (vgl. Lucas et al. 2007). Dieser zusätzliche Kupfereinsatz ist vor allem bedingt durch die zahlreichen zusätzlichen elektrischen und elektronischen Funktionen in der Bordnetzarchitektur, die im Rahmen sog. Zusatzpakete auch in der Vermarktung eine immer größere Rolle spielen. Hierbei können drei Bereiche unterschieden werden: Erhöhung der Sicherheit, bessere Steuerung der einzelnen Aggregate und Erweiterung der Komfort- und Unterhaltungsfunktionen.

Potenzial „Effizienter Werkstoffeinsatz und Leichtbau“

Die Auswahl der Werkstoffe erfolgt herstellerseitig bisher nach zahlreichen funktionsorientierten Kriterien. Treibende Kraft beim Innovationsfeld Werkstoffe ist derzeit die Forderung nach geringerem Kraftstoffverbrauch und weniger Emissionen durch die Verwendung „leichter“ Materialien. In der Vergangenheit haben steigende Komfort- und Sicherheitsbedürfnisse das Gesamtgewicht der Fahrzeuge steigen lassen. Leichtbaustrategien führen zu einer Veränderung der Fahrzeugkonstruktion und der hieraus abgeleiteten Materialeigenschaften auch beim Einsatz von Kupfer.

Insgesamt weisen folgende technische Innovationen ein hohes Potenzial auf, den Werkstoffeinsatz von Kupfer im Automobilbau zu optimieren:

- Optimierung und Abstimmung der E/E-Architektur zur Gewichtsreduktion (Miniaturisierung, Funktionsintegration, gewichtsreduzierte Bordnetze)
- Entwicklung neuer, funktionsangepasster Kupferlegierungen
- Materialreduzierung und Miniaturisierung von Bordnetzen durch neue Leitungs- und Kontaktteiltechnologien
- Qualitätsmanagement (als ein Beitrag zur Produktdauerverlängerung)
- Substitution von Kupfer durch Aluminium in der Hochstromenergieversorgung (z.B. Batteriekabel)

Potenzial „Recyclinggerechte Konstruktion und Produktentwicklung“

Bis zum Jahr 2000 hatten die Automobilhersteller eine Reihe von Maßnahmen zur Unterstützung der recyclinggerechten Produktgestaltung ergriffen (ARGE-Altauto 2000, S. 10ff). Für Konstrukteure wurden verbindliche Recyclingnormen und -richtlinien entwickelt. Um Recyclingpotenziale zu verbessern, werden Empfehlungen für die Konstruktion von Bauteilen und Fahrzeugen und den Einsatz von Neu- und Sekundärmaterialien gegeben wie z.B.:

- Demontageanalysen zur Beurteilung der Recyclingfähigkeit eines Fahrzeugs und seiner Teile
- Maßnahmen zur recyclingoptimierten Konstruktion so z.B. Reduktion der Materialvielfalt (u.a. bei Stoßfängern aus PP-EPDM (Polypropylen+Ethylen-Propylen-Dimer-Blend) und einer Wärmeisolierung am Unterboden aus Vollaluminium statt einer Sandwichbauweise)
- Materialkennzeichnung aller Kunststoffe über 100 g und aller Elastomere über 200 g
- Reparatur- und vorbehandlungsgerechte Verbindungstechnik (z.B. optimierte Verschraubungen bei großflächigen Außenteilen, geklippte Rückleuchteinsätze)
- Bereitstellung einer Software zur Demontage gängiger Fahrzeugtypen für Verwertungsanlagen (Internationales Demontage Informationssystem: IDIS-Software)

Um die Potenziale für das Kupferrecycling zu verbessern, müssten die bisherigen Strategien zur recyclinggerechten Konstruktion und Produktion auf die wesentlichen Anwendungsbereiche des Kupfereinsatzes im Fahrzeug erweitert werden. Eine recyclingoptimierte Produktentwicklung ist eine wichtige Voraussetzung für eine umweltverträgliche und wirtschaftliche Verwertung des Kupferanteils zukünftiger Altfahrzeuge. Ansatzpunkte hierfür sind die einfache Entnehmbarkeit wichtiger kupferhaltiger Teile (Kennzeichnung kupferhaltiger Bauteile).

Potenzial „Verbesserte Recycling-Technologien bei Altfahrzeugen“

Grundsätzlich besitzt das Altfahrzeugrecycling ein erhebliches Potenzial für die Steigerung der Ressourcenproduktivität. Die Verwertungsquoten aus der Altfahrzeugverordnung sind ein zentrales umweltpolitisches Instrument, dieses Potenzial zu steigern (mind. 85% des durchschnittlichen Fahrzeuggewichts, ab 2015 auf 95% zu steigern). Auch die seit Juni 2005 in Kraft getretene Abfallablagerungsverordnung hat dazu geführt, dass hinsichtlich der zuvor zumeist deponierten Schredderleichtfraktion neue Verwertungsmöglichkeiten erschlossen werden müssen (80% müssen stofflich verwertet oder wieder verwendet werden, ab 2015 mind. 85%).

Die Recyclingquoten können auch durch die Demontage, ggf. Aufarbeitung und Wiederverwendung stark kupferhaltiger Bauteile weiter verbessert werden. Eine effiziente Demontage ist dabei wesentlich abhängig von der demontagegerechten Konstruktion (u.a. kompakte

Bauform, Lage, Verbindung) und der Demontagetiefe in den Entsorgungsbetrieben. In der Autoverwertung werden in der Regel nur große und noch gebrauchstaugliche Aggregate demontiert (Lichtmaschine, Starter, Elektromotoren), da kleine Aggregate, Stecker und Kabel nur händisch demontiert werden können, was mit zusätzlichen Lohnkosten verbunden ist.

Insbesondere kleine elektronische Bauteile und die Kabelbäume mit ihren hohen Kupferanteilen bleiben Bestandteil der sog. Schredderleichtfraktion. Die klassischen Schreddertechnologien sind auf die Rückgewinnung des Hauptmassestroms Stahl ausgerichtet. Das Potenzial zur Rückgewinnung der gesamten Nichteisen(NE)-Fraktion¹ kann gesteigert werden, wenn die Trennschärfe der magnetischen Abscheidung durch ein hohes Zerkleinerungsmaß verbessert wird.

Weitere Potenziale können durch sogenannte Post-Schredder-Technologien erschlossen werden. Darunter wird die mechanische Nachbehandlung der Schredderrückstände, insbesondere der heizwertreichen Schredderleicht(SHL)-Fraktion, verstanden (z.B. Kunststoffe, Gummi, Holz, Textilien, Schaumstoffe, Erde, Glas). Bei Betrachtung der Innovationstätigkeit in diesem Bereich lassen sich zwei Typen von Prozessinnovationen unterscheiden, die prinzipiell in der Lage sind, den verbliebenen Kupferanteil aus der SHL-Fraktion vollständig zu separieren und damit die Rückgewinnungspotenziale zu steigern (Killmann/Pretz 2006):

- Ablaufketten innerhalb des mit herkömmlichen Technologien stattfindenden Zerkleinerungsprozesses werden neu organisiert und optimiert.
- Neuartige Technologien werden entwickelt, die in die bestehenden Prozesse implementiert werden.

Gegenwärtig kommen diese Technologien noch nicht flächendeckend zum Einsatz, da insbesondere der starke Rückgang des Input-Materials aus dem Bereich Autoverwertung zu einer schlechten Auslastung bestehender Anlagen geführt hat und sich damit negativ auf die Investitionsbereitschaft auswirkt (ebd.). Auch die ungleichen europäischen Standards zur Deponierung der SHL-Fraktion führen zu Materialabflüssen ins Ausland und tragen zur Verunsicherung bei. Da das Sekundärkupfer nur ca. 2% des gesamten Stoffstroms Altkaros darstellt, stellen die hohen Kupferpreise und die möglichen Sekundärrohstofflöse in diesem Segment keinen hinreichenden Anreiz dar, während die Verwertung der Schrott- und Schwerfraktion als profitabel gilt.

Potenzial „Verbesserte statistische Erfassung der Stoffströme“

Das Monitoring für eine lebenszyklusweite Erfassung der Stoffströme muss vor allem an der Schnittstelle zwischen Gebrauchtwagenhandel und Altkaroverwertung verbessert werden. Hier gibt es einige erhebliche informatorische Defizite (Recycling Magazin 2007). Aufgrund der derzeitigen statistischen Erhebungen ist der letztendliche Verbleib eines großen Teils der aus der Kraftfahrzeugstatistik gelöschten Fahrzeuge nicht geklärt. Probleme bereitet vor allem die Erfassung derjenigen gelöschten Fahrzeuge, die in den Export gehen (vgl. Fuder 2002). Um die Datenlage für ein internationales Stoffstrommanagement zu verbessern, müssten zum einen die Gebrauchtwagenexporteure verpflichtet werden, Angaben über den Verbleib und das Alter der Fahrzeuge zu machen. Zum anderen sollte die Meldepraxis für den Export von Altfahrzeugen und Altkaros verändert werden.²

¹ Nichteisenmetalle (NE-Metalle) sind Metalle, die kein Eisen enthalten oder Legierungen, in denen Eisen nicht als Hauptelement enthalten ist (z.B. Kupfer, Aluminium, Zink, Bronze, Messing).

² Meldepflichtig sind bei dem Export aus Deutschland in einen anderen Mitgliedstaat der EU (Intrahandelsstatistik) Unternehmen, deren innergemeinschaftliche Warenverkehre im Vorjahr bzw. im laufenden Jahr den Wert von 300.000 EUR übersteigen. Bei der Extrahandelsstatistik (Export in ein „Drittland“, d.h. außerhalb der EU) müssen Warensendungen mit einem Wert über 1.000 Euro oder einem Gesamtgewicht der Sendung von über 1.000 kg angemeldet werden.

Im **Aktionsfeld Informations- und Kommunikationstechnologien** werden verschiedene Handlungsfelder aufgezeigt, von denen man Ressourceneffizienzpotenziale erwarten kann. Zu nennen sind hierbei vor allem die Multifunktionalität, die Miniaturisierung, eine nachhaltige Nutzung von IKT-Produkten, ein verbessertes Recycling sowie die Substitution der Kupfernetze.

Multifunktionalität von IKT-Geräten ist die funktionale und technische Vereinigung von unterschiedlichen Applikationen verschiedener Geräte in einem einzelnen Gerät. Multifunktionalität findet sich vor allem beim Handy, welches neben der Telefonfunktion noch Funktionen wie Fotoapparat, Terminkalender oder SMS einschließt. Ein weiteres Beispiel sind Geräte mit Hardcopy-Funktion, die z.B. Drucken, Scannen, Kopieren oder Faxen können. Multifunktionalität ist prinzipiell ein Ansatz zur Erschließung von Potenzialen der Ressourceneffizienz, da ein einzelnes Gerät mehrere andere im Prinzip ersetzen kann.

Miniaturisierung ist die Verkleinerung von Bauteilen und IKT-Produkten. Miniaturisierung geht zwangsläufig mit einer Reduktion der Masse einher. Anfang der 90-iger Jahre wogen Autotelefone noch ca. 800 g, Handys wogen noch mehr als 200 g (Reichel 2003, S. 43); moderne Handys wiegen ca. 100 g (Sullivan 2006, S. 2). Miniaturisierung wird vor allem durch die Herstellung immer kleinerer und multifunktionaler Chips ermöglicht, die gleiche oder größere Rechenleistungen aufweisen. Miniaturisierung kann aber auch zu Rebound-Effekten führen, wie z.B. die Ausweitung der Nutzung von immer kleineren Produkten.

Eine **nachhaltige Nutzung von Produkten** kann u.a. durch Upgrading – i.A. dem Austausch von Teilen zur Effizienzverbesserung - von Produkten oder durch die Auslegung von Produkten auf eine lange Lebensdauer erreicht werden. Upgrading ist vor allem relevant bei den modularen Computern zur Leistungsverbesserung. Trotz dieser Möglichkeiten wird jedoch die Lebensdauer des PC von ca. 10 Jahren nur zum geringen Teil ausgenutzt (Behrendt et al. 2004, S. 45). Lebensdauerverlängerung bzw. die lange Nutzung von Produkten (Nutzungsdauer) wäre eine effiziente Möglichkeit zur nachhaltigen Nutzung von IKT-Geräten. Eine Verdoppelung der Lebensdauer führt zumeist zu einer Halbierung der produktionsseitig verursachten Stoffströme.

Elektroschrott-Recycling ist ein weiterer wichtiger Handlungsansatz zur Erschließung von Effizienz-Potenzialen. Das Aufkommen des Elektroschrotts wächst kontinuierlich. Für das Jahr 2005 wurde das Aufkommen von privaten und gewerblichen elektrischen und elektronischen Abfällen (EE-Abfällen) auf ca. 1,8 Mio. t für Deutschland geschätzt (Umweltbundesamt 2006). Auf Privathaushalte entfallen hiervon ca. 1,1 Mio. t. Angesichts der erheblichen Mengen an Elektro-schrott und einer nur mittleren Recyclingquote, wie sie vom ElektroG vorgegeben ist, bestehen weitergehende Möglichkeiten zur Rückgewinnung von Kupfer.

Der **Ausbau der Netztechnologie auf Glasfaserbasis** ist eine weitere Möglichkeit zur Minderung des Kupfereinsatzes. Diese wird in der netzgebundenen Kommunikation vor allem im Fernbereich eingesetzt. Der Bedarf für hohe Übertragungsraten führt aber dazu, dass inzwischen auch in den Städten bis nahe an die Endkunden heran Glasfaserleitungen verlegt werden. Allerdings besteht das Festnetz der Telekom noch zu fast 90% aus Kupfer (Telekom 2006), was u.a. durch die Verwendung von Kupfer für die Hausanschlüsse – die letzte Meile – begründet ist. Urban Mining, die Rückgewinnung von Kupferkabeln beim Ersatz durch Glasfasertechnologie, könnte somit auch zur Erschließung eines Effizienzpotentials beitragen.

Neben der netzgebundenen Infrastruktur wurde durch die Mobilfunkanbieter flächendeckend eine **Netztechnologie auf Funkbasis** aufgebaut. Übertragungsverfahren wie UMTS sind in der Praxis genau so leistungsfähig wie ein einfacher DSL-Anschluss. Neue Verfahren wie WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) sind sogar wesentlich leistungs-

fähiger (tns-Infratest 2006, S. 247) und können für das Problem der letzten Meile – den Anschluss des Endkunden an das Festnetz – eine Alternative zu den schnellen Anschlusstechnologien ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) oder möglicherweise auch zu VDSL (Very High Speed Digital Subscriber Line) bieten. Auch für kleine Computernetze in Unternehmen oder in Haushalten gibt es inzwischen Möglichkeiten für die kabellose Kommunikation über W-LAN, so dass auf den Einsatz einer Kupferverkabelung verzichtet werden kann.

3.3 Maßnahmenoptionen im Aktionsfeld Fahrzeugbau und Fahrzeugelektronik

Leichtbau und neue Fahrzeugkonzepte zur Materialeinsparung

Aufgrund der Leichtbaustrategien der Fahrzeughersteller sind Anstrengungen zu beobachten, innerhalb der Fahrzeugelektronik den Materialeinsatz zu optimieren. „Sieht man sich die Entwicklung der Kupferkosten innerhalb der vergangenen zwölf Monate an, so liegt die Erkenntnis nicht fern, dass neue Konzepte zur Miniaturisierung gefunden werden müssen. Aber auch die CO₂-Diskussion und die zu erwartenden neuen Grenzwerte zwingen uns, Masse und Gewicht signifikant zu reduzieren.“ (Best/Vandeveld 2007, S. 19f.)

Vor dem Hintergrund eines weiteren funktionalen Wachstums der Bordelektronik werden mögliche Effizienzgewinne im Bereich des Materialeinsatzes von Kupfer wieder kompensiert. Trotzdem sind sie wichtig, um das Wachstum der Kupfernachfrage zu dämpfen. Im Rahmen der bestehenden Fahrzeugkonzepte ist eine absolute Verringerung des Kupfereinsatzes eher unwahrscheinlich. Daher sollte auch über gänzlich neue Fahrzeugkonzepte nachgedacht werden, welche nicht dem Trend zur weiteren elektronischen Aufrüstung der Fahrzeuge folgen.

Substitution durch Aluminium und Glasfaser

Kupfer steht in einem Spannungsfeld zwischen Leichtbauanforderungen und einer weiteren „elektronischen Aufrüstung“ der Fahrzeuge. Vor diesem Hintergrund muss grundsätzlich das Verhältnis von Mengenentwicklung und Erschließung von Effizienzpotenzialen in Bezug auf das gesamte Fahrzeug bewertet werden, nicht nur auf einzelne Komponenten. Kupfer und Kupferlegierungen werden hauptsächlich wegen ihrer erstklassigen elektrischen Leitfähigkeit eingesetzt. Aber Aluminium wird aufgrund des Preisanstiegs bei Kupfer als elektrischer Leiter im Bordnetz immer interessanter. Es bietet ein hohes Potenzial zur Gewichtseinsparung – insbesondere bei kleineren Kabelquerschnitten, die gewichtsmäßig den größten Anteil im Leitungssatz haben. Aluminium hat aber generell schlechtere mechanische Eigenschaften und erfordert neue Verbindungstechnologien und Steckerkonzepte.

Substitutionsmöglichkeiten von Kupfer durch Glasfaser bestehen bei der Vernetzung von verschiedenen Komponenten der Signalübertragung im Infotainmentbereich. Hier kommen bereits verschiedene BUS-Systeme (z.B. der MOST-Bus = Media Oriented Systems Transport ist ein Netzwerk für Multimediadaten) zum Einsatz, welche aufgrund ihrer besseren Übertragungsraten mit Glasfaserkabeln entwickelt wurden. Kabellose Anwendungen in anderen Funktionsbereichen scheitern nach Aussagen von Experten/Expertinnen an der großen Störanfälligkeit.

Kupferrecycling und Urban Mining

Das Recycling von Kupfer ist für importabhängige Verbrauchsländer wie Deutschland unter zwei Aspekten von großer Bedeutung: Kostenersparnis und Versorgungssicherheit. Die Verarbeitung von Sekundärrohstoffen – vor allem aus dem inländischen Aufkommen – verringert die benötigten Importe und entlastet die Handelsbilanz (RWTH 2002). Auch die Bun-

desregierung misst der Steigerung des Recyclings von Metallen angesichts der Preisentwicklung auf den Welt-Rohstoffmärkten eine große Bedeutung zu (Deutsche Bundesregierung 2007, S. 9f.). Aus umwelt-politischer Sicht bietet Kupferrecycling erhebliche Potenziale. Belastungen durch Bergbau und Transport entfallen, die Verarbeitung von Sekundärressourcen benötigt wesentlich weniger Energie als die Produktion von Kupfer aus Kupferkonzentraten und ist mit geringeren Umweltbelastungen verbunden (Ayres et al. 2003, S. 9). Aus ressourcenpolitischer Sicht wird Recycling bestehender Infrastrukturen, Bauwerken und Konsumgütern zur neuen Rohstoffquelle. Bei der Erschließung dieser Lagerstätten spricht man in Analogie zur Primärgewinnung in den Bergwerken vom „Urban Mining“. In der Schweiz sind bereits Untersuchungen durchgeführt worden, um Umfang und räumliche Verteilung des anthropogenen Kupferlagers abzuschätzen (Wittmer 2006).

Bei einem durchschnittlichen Kupferanteil von etwa 15-20 kg pro Altfahrzeug (Produktionsjahr 1993) würden bei 3,2 Mio. gelöschten Fahrzeugen ca. 60.000 t Kupfer im Jahr dem nationalen Rohstoffkreislauf zur Verfügung stehen. Durch den steigenden Export von alten Fahrzeugen in nicht-EU-Staaten, wie Afrika oder Mittlerer Osten, steigt auch der Rohstoffverlust im nationalen Kreislauf. Es gibt verschiedene Ansatzpunkte und Maßnahmenoptionen, diese Problematik zu verringern. Nachfolgend werden hierzu erste Vorschläge dargestellt, die Anregungen aus dem Dialogprozess des Projektes aufgreifen und weiter entwickeln. Die Vorschläge müssen noch im Rahmen weiterer Expertenrunden auf ihre praktische Umsetzung überprüft werden.

Auf diese komplexe Ausgangssituation mit unübersichtlichen Akteursketten sollte nach Einschätzung des Wuppertal Instituts mit einem neuen Instrumentenmix reagiert werden, der sowohl regulatorische Maßnahmen, informatorische Instrumente als auch ökonomische Anreize umfasst. Diese Instrumente müssen sich auf die konkrete Entscheidungssituation und Praktiken einzelner Akteure bzw. Akteursgruppen beziehen. Hierbei werden unterschiedliche Zielbereiche berührt:

1. Aus ressourcenpolitischer Sicht besteht ein Interesse der Recyclingindustrie, den Input an Altfahrzeugen in das deutsche und europäische Entsorgungssystem zu erhöhen.
2. Aus umweltpolitischer Sicht besteht die Notwendigkeit, den Export von Gebrauchtwagen mit offensichtlichen Funktionsmängeln, die zu Umweltrisiken beim weiteren Betrieb führen, zu unterbinden.
3. Des Weiteren müssen die bestehenden Bestimmungen zum Verbot des Exports von Altfahrzeugen in Nicht-OECD Länder so weit operationalisiert werden, dass für die Zollbehörden und andere Vollzugsorgane klare Kriterien entwickelt werden, um zwischen einem alten Gebrauchtwagen und einem Altfahrzeug (fahrtauglich, Schrott) unterscheiden zu können und illegale Marktpraktiken wie Falschdeklaration zu unterbinden.
4. Mittelfristig gilt es, eine internationale Kreislaufwirtschaft aufzubauen (UBA 2007, S. 33), die mit gleichen Recyclingstandards operiert. Zur Behebung des Technologiegefälles kann der Technologietransfer in die Schwellenländer eine wichtige Rolle spielen.

Informatorische und regulative Maßnahmen an der Schnittstelle zwischen Gebrauchtwagenmarkt und Abfallwirtschaft

Zunächst muss das Handlungsfeld präziser gefasst werden, da es nicht darum geht, den Handel mit gebrauchten Produkten generell in Frage zu stellen. Es sollen vor allem Praktiken unterbunden werden, die zu einer räumlichen Verlagerung von Umweltproblemen führen. Insbesondere sollten Fahrzeuge, die nicht mehr fahrtauglich sind und/oder die ein erhebli-

ches Umweltrisiko darstellen, dem Abfallregime zugeführt werden. Hierzu wurden im Rahmen des Dialogprozesses verschiedene Maßnahmenvorschläge diskutiert.

Maßnahmenvorschlag 1: Breit angelegte Marketingkampagne der Recyclingwirtschaft und der Automobilindustrie

Die für die Altkarrosentsorgung zuständigen Branchen stellen sich in umfassender Weise der Wettbewerbssituation mit dem Gebrauchtwagenhandel. Die Akquisition von gelöschten Fahrzeugen für das Abfallregime wird nicht länger mehr nur auf dem Niveau von Kleinanzeigen in Werbeblättern betrieben, die von den kleinen Entsorgungsbetrieben geschaltet werden. Darin werben Entsorgungsbetriebe mit einer Entsorgungsprämie von 50 Euro, einer umweltgerechten Demontage- und Rücknahme, sowie Abhol- und Abmeldeservice im Rahmen der Altfahrzeug-Verordnung.

Eine Marketingkampagne hätte zum Ziel den Entscheidungsprozess der Verbraucher/Verbraucherinnen als Letztbesitzer/Letztbesitzerin eines Fahrzeuges zu beeinflussen, durch klare Aussagen zur Preiswürdigkeit (Wertigkeit) alter PKWs und Vorteile hoher Umweltstandards der deutschen und EU-weiten Altkarrosentsorgung.

Maßnahmenvorschlag 2: Erweiterte Deklarationspflichten für Exporteure aus OECD-Staaten

Die Exporteure alter Gebrauchtwagen (ab 12 Jahre) werden generell zu folgenden zusätzlichen Angaben verpflichtet: Angabe des Fahrzeugtyps (Schlüsselnummer), Fahrzeuggewicht, Zielland des Exports für jedes Fahrzeug. Damit wird die bisherige Praxis verändert, die eine Deklaration an einen bestimmten Ausfuhrwert knüpft. Diese Angaben dienen dazu, überhaupt eine vernünftige Basis für das Stoffstrommanagement von alten Gebrauchtwagen zu bekommen und werden im Rahmen des nationalen Monitoringberichts dargestellt.

Des Weiteren sollte der Exporteur zu einer Funktionsprüfung verpflichtet werden, die insbesondere folgende Schadensrisiken für Umwelt und Gesundheit ausschließen:

- den Austritt von Betriebsstoffen in die Umwelt und
- den Austritt von Luftschadstoffen aufgrund einer defekten Auspuffanlage.

Dieser Katalog ist gegebenenfalls um allgemeine Kriterien der Funktionstauglichkeit zu erweitern. Allerdings ist zu beachten, dass eine einfache Überprüfbarkeit gegeben sein muss, um den Kontrollaufwand möglichst gering zu halten. Die Zollbehörden werden so ermächtigt, risikoträchtige Fahrzeuge auszusondern.

3.4 Maßnahmenoptionen im Aktionsfeld IKT

In den letzten drei Jahrzehnten haben die Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) Wirtschaft und Gesellschaft durchdrungen. Meilensteine dieser Entwicklung sind die Steigerungen der Rechnerleistungen, der Siegeszug des Internets und der Übergang zur mobilen Telekommunikation.

Für die Entwicklung von Strategien und Maßnahmen zur Verbesserung der Ressourceneffizienz im Aktionsfeld IKT müssen einige marktspezifische Rahmenbedingungen beachtet werden:

- IKT-Produkte werden zunehmend kostengünstiger produziert durch Ausschöpfung aller möglichen Handlungsansätze. Ein geringerer Kupfereinsatz in den Geräten führt nur zu geringen Kostensenkungen.
- IKT-Geräte werden immer kürzer genutzt aufgrund der hohen technologischen Innovationsrate.

- Weiterhin hat der weitgehende Preisverfall für IKT-Produkte zu einer Wegwerfkultur geführt.
- Es gibt eine mangelhafte Erfassung insbesondere der kleinen Elektrogeräte zur Weiternutzung, zur Wiederverwendung und/oder zur Verwertung.
- Die produzierende Industrie hat schon eine Vielzahl von Maßnahmen ergriffen, um den Anforderungen der WEEE-Richtlinie (Waste Electrical and Electronic Equipment) und anderer Anforderungen gerecht zu werden³.

Maßnahmenbündel „Ressourceneffizienz bei Telekommunikationsnetzen“

In den letzten Jahrzehnten haben sich Technologien etabliert, die auf unterschiedlichen Netzen basieren: Kabel- und leitungsgestützte Systeme (Festnetz und Kabelnetz mit hohem Kupferanteil) sowie Funkssysteme (mobile Kommunikation sowohl terrestrisch als auch über Satellit). Parallel zu den Angeboten der neuen Medien (Highspeed-Datenübertragung, Wireless Communication, mobile Navigation, Download von Filmen etc.) nimmt der Bedarf an leistungsstarken Übertragungswegen für große Datenmengen zu.

Mögliche Maßnahmenorientierungen in diesem Themenkomplex sind:

- Forschungsvorhaben zur Ökobilanzierung der Datenübertragung per Festnetz und Mobilfunk sowie den Vergleich von Kupfer- und Glasfaserkabeln;
- Forschungsprogramm: kostengünstige Glasfaserschnittstellen IKT;
- Aufbau eines materialbezogenen Infrastrukturkatasters der Telekommunikationsnetze.

Maßnahmenbündel „Rückführung und Recycling von Kleingeräten im Alltag“

Aufgrund wenig valider Daten hinsichtlich der Erfassung von Elektroaltgeräten sind Aussagen über die Wirksamkeit der Erfassung und des Recyclings von Kupfer nur schwer zu treffen. Die geordnete Erfassung (Rückgabe und Sammlung) von nicht mehr nutzbaren IKT-Produkten ist vermutlich das größte Problem beim Recycling von kupferhaltigen Geräten. Dieses Problem entsteht nicht so sehr aufgrund der vorhandenen Erfassungssysteme, die entweder auf Basis des Elektroggesetzes entwickelt oder von umweltbewussten Unternehmen schon zuvor initiiert worden sind. Im gewerblichen Bereich ist eine geordnete Entsorgung von IKT-Produkten weitgehend üblich. Es ist zu vermuten, dass der private Konsument eine wesentliche Schwachstelle in der Erfassung ist. Ursachen auf der Konsumentenseite können ein mangelndes Bewusstsein um die Werthaltigkeit, sowie Barrieren bei der Rückgabe der alten IKT-Produkte sein. Dies wird von den Akteuren der Recyclingbranche und der Sekundärmetallhersteller bestätigt, die sich deutlich unzufrieden über die unzureichende Rückführung alter Elektroaltgeräte wie z.B. Handys äußern.

Mögliche Maßnahmen in diesem Themenkomplex sind deshalb:

- Vereinfachung der Rückgabe von IKT-Kleinprodukten (Sammelboxen analog der Batteriesammlung oder Zusammenführung der bestehenden Sammelsysteme, sehr hohe Bewertung von den Teilnehmer/Teilnehmerinnen in den durchgeführten Dialog-Workshops);
- Pfand für Elektro- und Elektronik-Kleinprodukte;
- Stoffflussmanagement für IKT-Altprodukte mit einer verbesserten Datenerfassung;

³ Beispielsweise die Aktivitäten von EICTA (European Information & Communications Technology Industry Association) zur Umsetzung der WEEE-Richtlinie oder, die StEP-Initiative der United Nations University (Solving the E-waste Problem), in der Hersteller von IKT-Produkten die Elektroschrottproblematik angehen.

- Zusammenführung von Sammelsystemen zur Vereinfachung der Rückführung z.B. von kleinen IKT-Produkten;
- Verbraucherkampagne und (Schul)-Bildungsprojekte: Zeitloses Design und nachhaltige Nutzung von Produkten (sehr hohe Bewertung s.o.);
- Verlängerung der gesetzlichen Garantiezeit;
- Vor diesem Hintergrund sollte auch über eine Anpassung der Recyclingstrategie der EU nachgedacht werden, um eine differenzierte Erfassung seltener Metalle zu forcieren.

3.5 Übergreifende Strategien – Internationale Regulierungen von Stoffströmen

Der Abfluss der Sekundärrohstoffe in Volkswirtschaften mit niedrigeren ökologischen Recyclingstandards wird als wichtiges Problem bei der Erreichung einer höheren Rohstoffproduktivität bewertet. So ist der Recyclinganteil bei Kupfer in Europa von 49% in 2000 auf 41% in 2005 gefallen (ICSG 2007, S. 22). Kupferhaltige Abfälle wie Kabel- und Elektroschrotte sind aufgrund der massiven Preissteigerungen für Kupfer zu begehrten Handelsgütern geworden. Da in China und anderen Schwellenländern Umwelt- und Sozialstandards wesentlich geringer sind als in Europa, erzielen Recyclingunternehmen aus diesen Ländern höhere Gewinnmargen und können höhere Weltmarktpreise für Schrotte zahlen. Gleichzeitig subventioniert die chinesische Regierung aus strategischen Gründen die Einfuhr von Schrottmaterialien. Der Export nach Europa wird hingegen durch Exportzölle unterbunden. Hierdurch fließen die Sekundärrohstoffe einseitig nach China und werden einem umweltgerechten Recycling in Europa entzogen. Diese Lücke in der Materialverantwortung wirkt sich negativ auf Rohstoffproduktivität und Ressourcenschonung aus. Die hieraus resultierende geringe Auslastung von Recyclinganlagen mindert die Investitionsbereitschaft und verlangsamt die Modernisierung des Recyclingsektors. Folgende übergreifenden Strategien und Maßnahmen werden als besonders relevant bewertet:⁴

Klare EU-weite Regeln für Exporte

Die Schnittstelle von Gebrauchsgüter- und Abfallexporten ist ein zentrales Problem, um eine hohe Rohstoffproduktivität und Ressourcenschonung zu erreichen. Ein derzeit nicht quantifizierbarer Anteil aller EU-Gebrauchsgüterexporte ist falsch deklariert. Es fehlen rechtsverbindliche Kriterien für eine klare Abgrenzung zwischen Gebrauchsgüter- und Abfallgütern. Grundsätzlich sind strengere Abgangskontrollen in den EU-Häfen und -Außengrenzen notwendig. Illegale Altautoexporte und Falschdeklarationen von Elektro- und Elektronikaltgeräte stehen dabei im Vordergrund der Untersuchung.

Die in allen EU-Mitgliedsstaaten geltende Verordnung über die Verbringung von Abfällen (VVA) verbietet den Export von gefährlichen Abfällen zur Verwertung in Nicht-OECD-Länder. Hierbei soll die ab 2007 geltende Anlaufstellen-Leitlinie über die Verbringung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten helfen, Elektrogeräte in Gebrauchsgüter und Abfälle zu unterscheiden (Anlaufstelle Basler Übereinkommen 2007). Beispiel hierfür ist der Nachweis der Funktionsfähigkeit, um zu bestimmen, ob es sich um verwendbare und somit exportierbare Altgeräte oder um Elektroschrott handelt. Diese Richtlinie ist allerdings nicht rechtsverbindlich, so

⁴ Zu weitergehenden Maßnahmen, die insbesondere auch die Primärproduktion umfassen, sei auf die Studie des Wuppertal Instituts zur internationalen Dimension von nachhaltigem Ressourcenmanagement verwiesen (Bleischwitz/Bringezu 2007).

dass eine unterschiedliche Handhabung der Zollbehörden möglich ist und effektiv vollzogene Regelungen fehlen (Ökopol/iiiiee/RPA 2007).

Problematisch ist auch die unscharfe Abgrenzung zwischen Gebrauchtwagen und Altfahrzeugen. Hier sind klarere Kriterien notwendig. Die Fahrtauglichkeit eines Fahrzeugs könnte an Kriterien wie beispielsweise Zustand von Bereifung und Auspuffanlage, Leckagen o.ä. festgemacht werden. Solche Regelungen müssten in der EU einheitlich getroffen werden, um Ausweicheffekte in Häfen von Nachbarländern zu vermeiden (vgl. UBA 2007). Aus Sicht des Wuppertal Instituts wäre zu prüfen, ob Separierung und Export von Elektronikteilen aus Altfahrzeugen nicht ähnlichen Regelungen wie Elektrogeräte zu unterwerfen wären. Weiterhin ist in Deutschland der Verbleib von 2,5 Mio. jährlich stillgelegten PKW statistisch nicht vollständig erfasst. Auch hier ist wie beim Elektroschrott ein besseres Monitoring und eine statistische Erfassung erforderlich.

WTO-Vereinbarung zu Sekundärrohstoffen

Kupferschrott darf im Gegensatz zu Elektroschrott und Altfahrzeugen nach China und in andere Nicht-OECD Staaten exportiert werden. Eine WTO-Vereinbarung sollte folgende Bedingungen beinhalten:

- Festlegung internationaler Verarbeitungs-, Recycling- und Entsorgungsstandards auf hohem umweltpolitischen Schutzniveau wie in Deutschland.
- Abbau von Handelshemmnissen und Wettbewerbsverzerrungen durch Importsubventionen und Exportzölle, um ein ökologisch nachhaltiges Recycling in Europa weiterhin zu ermöglichen (vgl. auch Deutsche Bundesregierung 2007, S. 11).
- Die Europäische Union solle als Reaktion auf niedrige chinesische Recyclingstandards und Außenhandelspraktiken kurzfristig Exportzölle auf Kupferschrotte erheben.

Als weitere wichtige Maßnahmenvorschläge werden erachtet:

- Einheitliche hohe Standards für Recyclinganlagen in der EU. Durch den gemeinsamen Binnenmarkt können nicht gefährliche Abfälle und Schrotte in der Europäischen Union frei gehandelt werden. Dabei wird das deutsche Deponierungsverbot für die Schredderleichtfraktion durch den Export umgangen (vgl. Niedersächsisches Umweltministerium 2007).
- Bilaterale Kooperation beim Aufbau einer modernen Entsorgungsinfrastruktur und Redistributionslogistik. Kernpunkte solcher Kooperationen könnten der Aufbau einer modernen Entsorgungsinfrastruktur, Technologietransfer sowie die Entwicklung und Implementierung von Umweltstandards sein. Diese Kooperationen könnten mittelfristig durch bilaterale Handelsabkommen der EU mit China und anderen Schwellenländern ergänzt werden.
- Aufbau einer globalen Recyclingwirtschaft. Voraussetzungen für eine globale Recyclingwirtschaft sind mehr Transparenz über die tatsächlichen Stoffströme, weltweiter Aufbau lokal leistungsfähiger Recyclinginfrastrukturen und die Einrichtung und Beachtung globaler Umweltstandards für das Recycling.

Insgesamt kann gesagt werden, dass die Erhöhung der Rohstoffproduktivität durch Recycling einen integrierten Politikansatz benötigt. Kurzfristig sind Maßnahmen gegen den Abfluss von Sekundärrohstoffen nötig. Mittelfristig sollten multilaterale Handels- und Umweltregeln Marktverzerrungen und einen Unterbietungswettbewerb bei Umweltstandards verhindern. Es liegen große Chancen in einem Dialog mit der VR China und anderen Schwellenländern. Deutschland könnte den Aufbau von Kreislaufwirtschaften mit dem Transfer von Umweltnormen und Technologie unterstützen.

4 Branche Stahl

4.1 Trends und Hemmnisse

Der gegenwärtig wichtigste Trend im **Fokusbereich Stahl** ist die ungebrochen steigende weltweite Nachfrage nach Stahl, insbesondere aus den Schwellenländern und dort vor allem aus China. Dies hat mehrere Folgen:

- Die Preise für die Rohstoffe sind seit einigen Jahren deutlich gestiegen, das gilt für Eisenerz und Kohle, aber auch für Eisen- und Stahlschrott.
- Aufgrund des langen Verbleibs von Stahl in Produkten hinkt der Schrottanfall deutlich hinter der steigenden Produktion zurück. Der Sekundärmaterialanteil bleibt aus Gründen der „Nichtverfügbarkeit“ begrenzt. Ein großer Teil des heute produzierten Stahls verbleibt zunächst langfristig im Bestand.
- Aufgrund gesetzlicher Bestimmungen kommt es vermehrt zu einem Abfluss von Stahl ins Ausland, z.B. durch den Export von Altkarosserien (Karle 2005).

Heute steht nur eine begrenzte Menge Stahlschrott zur Verfügung. Hierbei handelt es sich insbesondere um ein Problem wachsender Märkte und wird sich zukünftig möglicherweise relativieren. Der heute anfallende Schrott (das deutsche Stahlschrottaufkommen lag 2005 bei 21,3 Mio. t, hiervon entfielen 4,6 Mio. t auf den Eigenentfall der Stahlwerke (IKB 2007)) hängt in Menge und Qualität vom früheren Stahleinsatz ab. Für Infrastrukturen oder Baustahl bedeutet das, dass die heute anfallenden Schrottmengen von dem global viel geringeren Stahleinsatz von vor 50 bis 100 Jahren abhängen. Es ist daher unvermeidlich, dass in wachsenden Märkten der Anteil an Sekundärmaterial selbst bei vollständiger Nutzung anfallender Schrotte limitiert ist. Daher gilt derzeit, dass bei einer Stilllegung von Hochofenkapazitäten in Deutschland diese an anderer Stelle in der Welt aufgebaut und damit die CO₂-Emissionen in mindestens gleicher Menge dorthin verlagert werden (Lüngen 2004). Aufgrund einer geringeren Prozesseffizienz und höheren CO₂-Emissionen bei der Stahlherstellung außerhalb von Westeuropa dürfte es jedoch eher zu einem Anstieg der CO₂-Emissionen kommen.

In der Stahlverarbeitung sind die Auswirkungen der Globalisierung mehr als in vielen anderen Sektoren spürbar. Das weltweite Wachstum der Branche wird heute primär durch eine dynamisch zunehmende Nachfrage und Produktionstätigkeit in Asien – insbesondere China – geprägt (Monhaupt 2006). Verbunden ist dies mit einer erhöhten Nachfrage nach Eisenerzen, was potenziell zur Folge haben wird, dass vermehrt wieder qualitativ schlechtere Erze eingesetzt werden und als Resultat Ressourcen- und Energieverbrauch steigen (van Berkel 2006; Ritthoff 2006). In Deutschland ist ein solcher Trend jedoch bisher nicht erkennbar.

Ein deutlicher Trend der deutschen Stahlindustrie hingegen ist die Orientierung auf höherwertige Produkte. Diese Konzentration hat dazu geführt, dass in Deutschland eine leistungsfähige Stahlindustrie überlebensfähig ist. Demgegenüber ist es z.B. in den USA heute nicht möglich, den Bedarf an hochwertigen Stahlsorten für die Automobilindustrie aus der einheimischen Produktion zu decken (Büchner 2006). Hinzu kommt, dass nach einem längeren Prozess der Konzentration und Konsolidierung die meisten Standorte der deutschen Stahlindustrie verkehrsgünstig liegen. Das gilt insbesondere für die Hochofenwerke, die überwiegend kostengünstig und Ressourcen schonend entweder mit Seeschiffen oder großen Schubverbänden erreichbar sind. Sehr gut veranschaulichen lassen sich die Leistungsfähigkeit der Stahlindustrie und der Trend zu hochwertigen Erzeugnissen anhand des Außenhan-

dels mit rostfreiem Stahl. Hier hat Europa einen erheblichen Exportüberschuss, wohingegen Nordamerika und Asien Nettoimporteure sind.

Deutsche Hersteller können sich vor allem als Anbieter kundenspezifischer Produkte profilieren, die besondere Anforderungen hinsichtlich Maßgenauigkeit, Material- und Bearbeitungsqualität stellen. Eine solche Ausrichtung eröffnet den Unternehmen für die Zukunft breite Absatzchancen, da im Zuge des Globalisierungsprozesses weltweit der Bedarf in wichtigen industriellen Abnehmerbranchen, aber auch im Energiesektor deutlich ansteigt (Monhaupt 2006; BMU 2006). Mit dem Einsatz solcher Stahlwerkstoffe, z.B. hochfester Stahlsorten, können an vielen Stellen Einsatzmengen reduziert werden, die zu einer Reduktion der benötigten Materialmengen führen. Zu nennen sind hier aber auch neue Umformungs- und Fügeverfahren. Im Zusammenspiel von neuen Stahlwerkstoffen, Formgebungs- und Fügeverfahren lassen sich erhebliche Einsparungen erzielen. Eine wesentliche Triebkraft hierfür ist die Konkurrenz mit anderen Werkstoffen, insbesondere Aluminium und Kunststoffe.

4.2 Potenziale zur Erhöhung der Ressourceneffizienz und der Ressourcenschonung

Die „Leitmärkte der Zukunft“ (BMU 2006) sind eine gute Orientierungshilfe für die zukünftige Entwicklung von Innovationsbedarfen und -potenzialen in der Stahlbranche. Mit den Leitmärkten „Energietechnologien“, „nachhaltige Mobilitätstechnologien“, „Effizienztechnologien“ und „Life-science-Technologien“ wird deutlich, dass die Entwicklung von zukunftsfähigen Technologien, Verfahren und Werkstoffen eine hohe Bedeutung hat. Dem Stahl als vielseitigem Werkstoff ist in allen identifizierten Zukunftsmärkten ein wichtiger Beitrag zu technischer Entwicklung und Innovation zuzutrauen (BMU 2006). Bei der Erneuerung des Kraftwerks-parks kann die Effizienz der Kraftwerke durch den Einsatz hochwarmfester Stähle erhöht werden, für die Mobilität werden Ressourcen schonende und klimafreundliche Lösungen gesucht. Viele der heutigen und zukünftigen Effizienztechnologien eignen sich nicht nur für die Anwendung in Deutschland, sondern haben ein ausgesprochen großes Exportpotenzial und können so ein Vielfaches zur Ressourcenschonung beitragen. Hier sind zwei Märkte zu unterscheiden:

- Märkte der industrialisierten Länder: Die Infrastrukturen bestehen zu großen Teilen bereits, müssen gepflegt, umgebaut und saniert werden. Probleme wird der demografische Wandel verursachen. In diesem Bereich bestehen zahlreiche langfristige Festlegungen, etwa durch hohe Aufwendungen für Infrastruktur und die Verknüpfung von Infrastruktur und Anlagen sowie langfristige Lieferbeziehungen. Deutschland ist zu diesen Ländern zu zählen. Zu fragen ist, wie der Umbau, die Instandhaltung und die Anbindung der nachfragenden Systeme kosten- und ressourceneffizient erfolgen können.
- Märkte der Schwellen-/Entwicklungsländer: Die Infrastrukturen befinden sich im Aufbau, die Nachfrage steigt rasant. Viele Menschen leben ohne adäquate Infrastruktur, haben keinen Zugang zu Trinkwasser und Abwassersystemen etc. Hier sind kostengünstige, ressourceneffiziente Systemlösungen von großer Bedeutung.

In beiden Märkten sind Potenziale zur Steigerung der Ressourcenproduktivität, insbesondere im Bereich der Anwendung neuer Technologien, im Bereich der Energieversorgung, des Verkehrs und der Wasser- und Abwassersysteme sowie der Entsorgungssysteme vorhanden. Zur Erschließung sind eingehende Analysen und die Entwicklung alternativer Konzepte und wertschöpfungsketten-übergreifender Systemlösungen notwendig.

Für die meisten Produkte und Dienstleistungen ergeben sich unterschiedliche Ressourcenintensitäten in verschiedenen Phasen des Lebenszyklus. Der Rohstoffabbau wird dabei häufig nur unzureichend mit einbezogen. In der Produktion ist es oft Ziel, den Materialeinsatz im Produktionsprozess (z.B. neue Werkstoffe, Zero Loss Management) oder im Produkt selbst (z.B. materialeffizientes Produktdesign, Verlängerung der Nutzungsdauer) zu vermindern. Die Produktgestaltung spielt auch in der Nutzung eine bedeutende Rolle, da sie den Ressourcenverbrauch während der Nutzungsphase wesentlich mitbestimmt. Liegt der überwiegende Anteil des Ressourcenverbrauchs in der Konsumphase, ist die Nutzerintegration zentral. Sie ermöglicht die Entwicklung lebenszyklusweit optimierter Produkte und Dienstleistungen, die dem Nutzungsprofil entspricht. Hohe Ressourcenintensität bei der Entsorgung – d.h. in der letzten Phase im Lebenszyklus – machen Ansätze wie Kaskadennutzung und Urban Mining zu besonders interessanten Ansätzen für eine Erhöhung der Ressourcenproduktivität. Weitere Ansatzpunkte ergeben sich bei der Verarbeitung der Werkstoffe. Beispielsweise werden dabei hier Materialien entwickelt, die spezifischen Anforderungen genügen müssen (z.B. durch Oberflächenveredelung).

Will man die Ressourcenproduktivität deutlicher als bisher steigern, muss man über rein betriebliche und sektorale Ansätze hinausgehen und Systemlösungen entwickeln. Systemlösungen erlauben technologische und organisatorisch-institutionelle Entwicklungssprünge. Damit sind nicht nur graduelle Verbesserungen in Technologie, Produktionsprozess oder Produkt möglich, sondern substanzielle Steigerungen der Ressourcenproduktivität („radikale Innovationen“, „disruptive technologies“) – meist verbunden mit lukrativen wirtschaftlichen Potenzialen (inkl. Exportmöglichkeiten).

Auf dieser Grundlage wird versucht zwei Aktionsfelder zu formulieren, die ein erhebliches Potenzial zur Steigerung der Ressourceneffizienz haben. Beide Felder sind geeignet, die Wettbewerbsfähigkeit der Stahlherstellung und -anwendung im internationalen Vergleich zu verbessern, wobei die Umsetzung durch flankierende politische Maßnahmen voraussichtlich verbessert werden könnte.

4.3 Maßnahmenoptionen im Aktionsfeld „Hoch- und höchstfeste Stähle, Formgebungs- und Fügeverfahren, Ressourceneffizienz in der Stahlproduktion“

Eine wesentliche Strategie zur Gewichtsminimierung und damit verbunden reduzierter Einsatzmengen kann in der Entwicklung und Nutzung höherwertiger Stahlsorten und optimierter Verarbeitungsverfahren und damit verbunden reduzierter Einsatzmengen gesehen werden. Dies kann langfristig zu einem verringerten (mengenmäßigen) Produktionsmengenwachstum führen. Damit verbunden ist die Möglichkeit zur Steigerung des Sekundärmaterialanteils (Moll 2005).

Viele Stahlsorten sind bereits das Ergebnis einer langen Entwicklung hin zu höherfesten Stählen. Sie sind inzwischen in spezifischen Anwendungen etabliert und reduzieren dort die spezifischen Stahleinsatzmengen erheblich (Still 2007). Mit dem **Einsatz hoch- und höchstfester Stahlsorten** kann aufgrund der höheren Festigkeit nicht nur geringere Stahlmengen eingesetzt (und damit die eisenerzbasierte Stahlerzeugung verringert werden). Dies würde mittelfristig den Anteil an Sekundärstahl erhöhen. Hier beeinflussen sich Fragen der effizienteren Stahlerzeugung und der Entwicklung neuer Stahlsorten gegenseitig. Häufig kann auch die Leistungsfähigkeit von Bauten und Anlagen gesteigert (Tragfähigkeit von Brücken, Auslegern etc.; Beschleunigung von Geräten z.B. Roboterarme) oder aufgrund des verringerten

Gewichts der Energieverbrauch beweglicher Stahlerzeugnisse (Fahrzeuge, bewegliche Anlagenteile) reduziert werden.

Im Stahlbau konnte durch den Einsatz höherfester mikrolegierter Stahlsorten, welche erhöhte Bruch- und Zugfestigkeiten besitzen, die Stahleinsatzmenge deutlich reduziert werden. Bei der Öresundbrücke konnte so durch den Einsatz von 82.000 t mikrolegierter Stähle die benötigte Stahlmenge um 15.000 t reduziert werden (Bleck 2007). Das entspricht bezogen auf die ursprünglich benötigte Stahlmenge einer Einsparung um etwa 15% was in etwa auch den eingesparten Ressourcen entsprechen dürfte, da der Energieaufwand für die Herstellung dieser Stahlsorten kaum erhöht ist. Da es sich um mikrolegierte Stähle handelt, werden nur sehr geringe Mengen an Legierungselementen dem Stahl zugesetzt – auch hier findet kein signifikant erhöhter Ressourceneinsatz statt.

An dieser Stelle muss differenziert werden, zwischen den beschriebenen technologisch aufgewerteten Stählen, sowie den aufgewerteten Stählen durch Versetzung mit Legierungsanteilen. Diese sind gekennzeichnet durch einen 20-25% höheren Preis und einem signifikant gesteigerten Legierungsanteil durch Elemente wie Mangan, Chrom oder Nickel - sie sind in diesem Rahmen nicht gemeint. Im Hinblick auf den Ressourcenverbrauch sind diese wesentlich intensiver und daher nicht für eine großflächige Anwendung zu empfehlen: Typischer Edelstahl ist ca. 2 bis 3 mal so ressourcenintensiv wie unlegierter Stahl aus der Hochofenroute und ca. 5 bis 10 mal ressourcenintensiver gegenüber einem solchen Stahl aus der Elektroofenroute. Die Spannbreite ist abhängig von den gewählten Indikatoren: TMR, Wasser, kumulierter Energieverbrauch (KEA) und Treibhauspotenzial (Global Warming Potential).

Durch den ökonomischen Faktor (Legierungselemente sind relativ teuer – hier zeigt sich zumindest ansatzweise eine Relation zwischen dem Ressourcenverbrauch und den Marktpreisen) reguliert sich die Anwendung jedoch von selbst auf ein geringes Maß (z.B. die klassischen Edelstähle im Einsatzbereich der Lebensmittelindustrie oder der Verfahrenstechnik). Gefügeverbesserte (hochfeste) Feinkornstähle können ebenso wie normalfeste Stähle, als niedrig legierte Stähle ausgebildet werden – dies ist der Fall ab einem Legierungsanteil von unter 5%. In der Regel kann von demselben Legierungsanteil wie bei normalen Stählen ausgegangen werden, eher ist der Legierungsanteil geringer, weil diese spezifischer in der Mikrostruktur eingelagert werden. Es ist also davon auszugehen, dass die Mikrolegierung der Stähle eher zu einer Verringerung des Legierungselementeinsatzes führt und damit unter dem Aspekt der Ressourceneffizienz vorteilhaft ist. Da durchschnittliche Legierungselemente den ca. 4 bis 20 fachen Ressourcenaufwand gegenüber Rohstahl benötigen, ist eine Reduktion dieser Elemente im Stahl in den meisten Fällen sinnvoll. Darüber hinaus haben die eingesetzten thermomechanisch gewalzten Stähle den Vorteil einer guten Schweißbarkeit, was in dem geringeren Kohlenstoffanteil begründet liegt. In vielen Fällen kann so auf eine Vorwärmung der Schweißstelle verzichtet werden (Hanus 2000). Ergänzend kommt hinzu, dass durch den Einsatz höherfester Stähle auch der Schweißnahtquerschnitt reduziert und damit die Kosten sowie der Energieverbrauch reduziert werden (Schröter/Martin 2007).

Aus Sicht der Ressourcenschonung lohnt es sich, die Übertragung der beim Bau großer Brücken gemachten Erfahrungen hinsichtlich der Einsparung von Material und Ressourcen in die anderen Stahlbaubereiche zu untersuchen. Durch die Effizienzsteigerung selbst bei diesen stark beanspruchten Ingenieurbauwerken wird deutlich, dass eine Übertragung auf andere Bereiche gut möglich ist. Dies muss im Hinblick auf die spezifischen statischen und dynamischen Belastungen geschehen, welche je nach Anwendungsbereich sehr variieren können (z.B. bzgl. Biegezug- und Torsionsbeanspruchungen, Steifigkeiten, Tragfähigkeit sowie Gebrauchstauglichkeit).

Es zeigt sich dabei auch, dass es nicht ausreichend ist, hochfeste Stähle einzusetzen. Vielmehr müssen unterschiedliche Aspekte wie Zugfestigkeit, Dauerschwingfestigkeit und Verarbeitbarkeit zusammen optimiert werden. Das wird deutlich, wenn man sich vor Augen hält, dass zwar die Dauerfestigkeit von Stahl mit der Zugfestigkeit ansteigt, nicht jedoch die Dauerfestigkeit von Schweißverbindungen. Soll die Dauerfestigkeit eines Bauteils erhöht werden, muss daher der Optimierung der Fügeverbindungen (etwa durch Nachbearbeitung) eine hohe Aufmerksamkeit geschenkt werden (Nitschke-Pagel 2007). Bisher ist die oft mangelnde Ermüdungsfestigkeit geschweißter Verbindungen ein Hauptgrund für den verzögerten Einsatz von höherfestem Stahl in ermüdungsbeanspruchten Anwendungen. Problematisch ist insbesondere, dass der Einsatz von Verfahren der Schweißnahtnachbehandlung im Baubereich noch unüblich ist, da die bestehenden Normen es bisher nicht gestatten, die resultierenden Vorteile bei der Tragwerksbemessung zu berücksichtigen (Kuhlmann et al. 2007). Es ist daher notwendig zusammen mit neuen Werkstoffen und Verarbeitungsverfahren auch ihre praktische Anwendung zu untersuchen und Anwendungshinweise zu entwickeln, um so eine spätere Normierung vorzubereiten.

In einer Reihe von Fällen können mit der Substitution anderer Baumaterialien durch Stahl weitere relevante Ressourcenersparnisse erzielt werden. Für Freileitungsmasten konnte beispielsweise gezeigt werden, dass hier Stahl im Vergleich zu Stahlbeton deutlich weniger Ressourcen benötigt. Bei der Untersuchung von Masten für 110 kV Leitungen wies der Stahlgittermast einen um rund 60% geringeren Verbrauch abiotischer Ressourcen auf (Merten/Liedtke/Schmidt-Bleek 1995). Durch den Einsatz hochfester Stahlsorten dürfte dieser Unterschied noch deutlich größer sein. Auch bisher besteht die Mehrzahl der Strommasten aus Stahl in der Gitterbauweise, aber ähnlich wie in anderen Ländern ist auch hier eine Tendenz zu den schlankeren Stahl- oder Stahlbetonmasten zu erkennen. Diese Masten haben eine geringere Auftrittsfläche und beanspruchen daher weniger Bodenfläche: z.B. in Österreich sind diese Mastenkonstruktionen daher weiter verbreitet als in Deutschland.

Neu- und weiterentwickelte **Formgebungs- und Fügeverfahren** sind eine Voraussetzung, um kraftflussgerechte Konstruktionen zu ermöglichen. Dies ist eine wesentliche Rahmenbedingung für den optimierten Einsatz von Stahl. Optimierte Formgebungs- und Fügeverfahren erlauben es einerseits, das Gewicht von Konstruktionen deutlich zu reduzieren, etwa dadurch, dass kostengünstiger und kraftflussgerecht konstruiert werden kann und dadurch die Festigkeit des Werkstoffs optimal ausgenutzt wird. Andererseits kann der Aufwand zur Herstellung von Bauteilen deutlich reduziert werden (etwa wenn eine sehr energieaufwendige und Werkstoff verbrauchende Bearbeitung reduziert, minimiert oder vollkommen ersetzt werden kann). Die Anwendung der geeignetsten Fertigungsverfahren kann also, bei vorhandener Technologie, beträchtlich zur Materialeinsparung beitragen.

Grundsätzlich gilt, dass einige Fertigungsverfahren besonders anfällig für hohen Ressourcen- und Energieverbrauch sind. Sehr hoch ist der Energieverbrauch z.B. beim Trennen, d.h. bei spanender Bearbeitung wie Drehen, Bohren oder der Oberflächenbearbeitung durch Schleifen und ähnliche Verfahren. Zugleich führen diese Verfahren grundsätzlich zu einem Materialverlust. Ihr Ressourcenaufwand ist daher zweifach hoch. Wesentlich günstiger als trennende Verfahren ist in aller Regel die Umformung (z.B. Schmieden, Stauchen, Biegen). Zwar hat man auch hier einen erheblichen Energieaufwand, in aller Regel ist er aber geringer als der einer aufwendigen spanenden Bearbeitung. Zugleich kommt es beim Umformen zu keinen oder nur geringen Materialverlusten.

Ganz ähnlich kann es sich mit Fügeverfahren verhalten. Sie stehen vielfach in Konkurrenz zu Trennverfahren. Durch das Fügen von mehreren Einzelteilen kann u.U. der Energie- und Ressourcenaufwand gegenüber einer Fertigung aus einem größeren Vorprodukt deutlich verringert werden. Zugleich gibt es bei Fügeverfahren selber erhebliche Unterschiede hin-

sichtlich ihrer Energie- und Ressourceneffizienz. So gibt es etwa beträchtliche Unterschiede zwischen unterschiedlichen Schweißverfahren, aber auch innerhalb einer Gruppe von Schweißverfahren.

Die Vor- und Nachteile der einzelnen Schweißtechniken sind bisher aus gängigen Regelwerken des Stahlbaus für deren Anwender zu ersehen. Dennoch liegt der Fokus bei der dortigen Darstellungsweise nicht auf Ressourcenschonung, durchaus aber auf Energieeinsparung und insbesondere auf Zeitextensivität. Auf Grund der wirtschaftlichen Konkurrenzsituation entsteht Wettbewerbsfähigkeit zumeist über eine Minimierung der Arbeitsstunden, welche durch bestimmte Schweißverfahren unterstützt wird. An einer Darstellung im Hinblick auf die Ressourceneffizienz besteht also Bedarf. ThyssenKrupp beispielsweise entwickelte eine flanschlose Füge-technologie, welche bedeutend weniger Material verbraucht. Bei der Auswahl von Fügeverfahren sollte daher grundsätzlich auch der mit ihnen verbundene Energie- und Ressourcenaufwand berücksichtigt werden. Dazu ist es notwendig, dass die entsprechenden Daten für die Konstrukteure zugänglich gemacht werden und etwa anhand von beispielhaften Ressourceneffizienzprofilen veranschaulicht werden.

Ressourceneffizienz in der Stahlproduktion

Da die Wertschöpfung bei den hochwertigen (z.B. hochfesten, hochtemperaturfesten oder tiefziehfähigen) Stahlsorten höher ist und dies Sorten sind, die einen Schwerpunkt der deutschen Stahlproduktion darstellen, sind diese Bereiche von Relevanz für die Entwicklung des Ressourcenverbrauchs der Stahlindustrie und der Stahlanwendungen. Langfristig kann es dazu kommen, dass aufgrund eines verstärkten Einsatzes hochwertiger Stahlsorten bei möglicherweise verringerter Stahleinsatzmenge andere Konzepte des Stahlrecyclings greifen müssen.

Die überwiegende Menge der hochwertigen Stahlerzeugnisse wird bisher in der Hochofen-/Konverter-Route produziert. Käme es aufgrund eines verlangsamten Wachstums der Stahlmengen zu einem geringeren Bedarf nach primär erzeugtem Stahl, müssten verstärkt Wege gesucht und gefunden werden, die Elektrolichtbogenroute auch für die Produktion von Flachstahlerzeugnissen zu nutzen. Von besonderer Bedeutung hierbei ist, dass solche Stahlsorten in aller Regel besonders hohe Anforderungen im Hinblick auf Verunreinigungsfreiheit aufweisen und daher bisher nicht aus der Elektrolichtbogenroute erzeugt wurden. Eine Steigerung des Sekundärmaterialanteils in der Stahlerzeugung würde daher eine deutliche Steigerung der Ressourceneffizienz versprechen. Eine Substitution von Stahl aus der Hochofenroute kann daher nur begrenzt durch die Elektrolichtbogenroute erfolgen (Still 2005). Wichtig ist hierbei auch zu unterscheiden zwischen Neuschrotten, d.h. Schrotte aus der Weiterverarbeitung von Stahl etwa in der Automobilindustrie – diese werden sehr gut sortiert und weisen geringe Verunreinigungen auf – und Altschrotten mit teils erheblichen Verunreinigungen und metallischen Beimengungen.

Interessant in diesem Zusammenhang können Entwicklungen wie die „Compact Strip Production“ (CSP) sein. Beim CSP-Verfahren wird flüssiger Stahl zu einer Dünnbramme vergossen und anschließend der Warmbandstraße zugeführt. Hierbei kann ein hochwertiges Warmband (Blech) bis zu einer Stärke von unter einem Millimeter erzeugt werden. Der Vorteil des CSP-Verfahrens ist, dass diese dünnen Bleche aus einer Wärme, d.h. ohne zwischenzeitliches Wiederaufheizen, und ohne Kaltwalzwerk hergestellt werden können. Bei dieser Art der Herstellung von Stahlband ist gegenüber der bisherigen Technik ein um 70 % reduzierter Energieverbrauch möglich (sms-demag 2007). Dadurch kann erheblich Energie eingespart werden. Ergänzend muss noch darauf hingewiesen werden, dass die Herstellung von Edelstahl ebenfalls in Elektrolichtbogenöfen mit hohen Anteilen von Edelstahlschrott erfolgt. Bei allen Prozessen des Stahlrecyclings kommt es durch Oxidation zu erheblichen Verlusten an Legierungselementen, was aus ökonomischer Sicht und in Hinblick auf den

Ressourcenverbrauch ausgesprochen ungünstig ist, insbesondere da der Ressourcenverbrauch für die Erzeugung der meisten Legierungselemente deutlich über dem von Stahl liegt. Zugleich wirkt dieser Effekt, jedoch auch einer Akkumulation unerwünschter Legierungselemente im Stahlkreislauf entgegen. Der eigentlich negative Aspekt eines Materialverlusts sichert daher zugleich langfristig die Kreislauffähigkeit von Stahl.

Trotz der Vielfältigkeit von Stahl gibt es jedoch viele Anwendungsfälle, bei denen eine Kombination von Werkstoffen unter optimaler Ausnutzung ihrer jeweiligen Eigenschaften (u.a. Zugfestigkeit, E-Modul, Gewicht, Betriebsfestigkeit, Wärmedehnung, Temperaturbeständigkeit, Wärmeleitfähigkeit) eine weitergehende Optimierung ermöglicht. Eine solche Kombination von Werkstoffen erfordert jedoch ein sehr hohes Maß an werkstoffkundlichem Know-how. Berücksichtigt man, dass eine sachgerechte Werkstoffauswahl – einschließlich der damit verbundenen Verarbeitungs- und Gestaltungsmöglichkeiten – ein wesentlicher Aspekt einer umweltgerechten Produktgestaltung ist, wird dieser Tatsache in Ausbildung und Qualifizierung bisher zu wenig Bedeutung geschenkt. Werkstoffkombinationen gehen in der Regel einher mit Verbindungstechniken: z.B. Stahl-Beton, Verzinkung oder Sandwich-Bauteile. Dadurch wird u.a. das Recycling dieser einzelnen Werkstoffe erschwert, was wiederum einen negativen Einfluss auf die Ressourcenproduktivität hat. Auf der anderen Seite verlängert eine Verbindung von zwei oder mehreren Werkstoffen die Einsatzfähigkeit eines Produktes (z.B. verzinktes Stahlblech) bzw. macht diese überhaupt erst möglich (z.B. isolierte Kabel).

Bekanntere Beispiele von Werkstoffkombinationen sind etwa Verbundwerkstoffe (z.B. Stahlbeton), die unterschiedliche Eigenschaften kombinieren und so gegenüber den Ausgangswerkstoffen neue verbesserte Eigenschaftsprofile ermöglichen: Stahlbeton ist dann effizienter, wenn Druck- und Zugbelastung vorhanden sind. Druck kann auch von höherwertigen Stählen nicht besser aufgenommen werden, da der Werkstoff Stahl ohnehin durch hervorragende Zug- nicht jedoch Druckfestigkeit ausgezeichnet ist. In diesem Fall können Stahlbetonbauwerke effizienter sein, in denen der Stahl den Zug und Beton den Druck aufnimmt. Auch für Stahlwerkstoffe gilt, dass erst so manche Anwendungsbereiche erschlossen werden können. Neben den Verbundwerkstoffen können auch andere Verbindungen von Werkstoffen Ressourceneinsparpotenziale erschließen. Hierbei kommen ganz unterschiedliche Werkstoffkombinationen in Frage. Zum einen Verbindungen unterschiedlicher Stahlwerkstoffe oder metallischer Werkstoffe, etwa unterschiedliche Stahlsorten für Automobilbleche, hochtemperaturfeste Stähle und Nickelbasislegierungen für den Kraftwerksbau oder Stahl und Kunststoff für leichte Stahlprofile wie z.B. I-Träger.

Erfolg versprechend könnte auch ein Stahleinsatz in Kombination mit anderen Werkstoffen als Verbundquerschnitte und -system im Baubereich sein. Hier verspricht bereits der Einsatz normalfester Stähle Potenziale für den ressourcenschonenden Stahleinsatz. Aufgrund der eher begrenzten Kräfte ist der Einsatz hochfester Stähle in aller Regel nicht notwendig und nicht konkurrenzfähig. Bereits ein verstärkter Einsatz herkömmlicher Stahlsorten könnte durch geschickte Kombination unterschiedlicher Werkstoffe (und Werkstoffeigenschaften) erhebliche Potenziale erschließen. Eine Modellierung des Tragwerks beispielsweise mittels der Finite Elemente Methode hilft bei einer Formoptimierung, in welcher die Werkstoffpotenziale genau ermittelt und eingespart werden können.

In allen Fällen geht es stets darum die günstigsten Werkstoffkombinationen – hinsichtlich Ressourcenschonung, Recyclingfähigkeit, Kosten, Funktionalität usw. auszuwählen die zu den günstigsten Produkteigenschaften beim geringsten lebenszyklusweiten Ressourcenverbrauch führen.

Handlungsbedarf

Forschung und Entwicklung (F+E) in der Werkstoff- und Anwendungstechnologie sind zentrale Grundlagen für eine im Sinne der Ressourceneffizienz optimierte Anwendung von Werkstoffen. Um diese Grundlage weiter zu sichern sollten insbesondere die Lissabonziele umgesetzt werden, d.h. eine Erhöhung der Ausgaben für F+E von gegenwärtig ca. 2,5% auf 3% des BIP (BMBF 2007). Auf europäischer Ebene sind die folgenden Forschungsfelder bedeutend, um die Stahlindustrie zu einer führenden Branche im Sinne von Wettbewerbsfähigkeit und Nachhaltigkeit zu machen: sichere, saubere, kosteneffiziente und kapitalextensive Technologien (Energieeffizienz, flexible und multi-funktionale Prozessketten, intelligentes Produzieren), Stahlanwendungen für Endverbraucher (Automobil, Baugewerbe und Infrastruktur, Energiesektor), Attraktivität der Branche für qualifiziertes Personal, die Sicherung des Nachwuchses und der Qualifikationen sowie der rationelle Energie- und Ressourceneinsatz und das Management der Beiprodukte (vgl. ESTEP 2005).

Bisher werden die Umweltforschung und die Technologieentwicklung vielfach noch getrennt betrieben bzw. die Verknüpfung bleibt meist recht vage, auch wenn häufig eine obligatorische Berücksichtigung von Umwelt- oder Nachhaltigkeitsaspekten in Technologieprojekten erfolgt. Es scheint daher notwendig, stärker interdisziplinäres Forschen zur Verknüpfung von Werkstofftechnologien und Nachhaltigkeitsaspekten zu fördern.

Da eine Reihe von wichtigen Legierungselementen für hochwertige Stahlsorten, insbesondere Nickel, weit begrenzter verfügbar sind als Eisenrohstoffe, zugleich aber auch mit einem besonders hohen Ressourcenaufwand gewonnen werden, ist die Entwicklung von neuen Legierungen, die ohne oder mit möglichst geringen Mengen solcher potenziell ressourcenintensiveren Legierungselemente auskommen, eine wichtige Maßnahme, um einen dauerhaft ressourceneffizienten Stahleinsatz zu erleichtern. Die Entwicklungen, die Legierungselemente auf der Mikrostrukturebene in das Stahlgefüge einsetzen, gehen in diese Richtung. Man versucht durch Veränderungen im Stahlgefüge Eigenschaften zu verändern, die man bisher nur durch die Vermengung verschiedener Metalle (Eisen und Legierungselemente) erreichen konnte. Da ausnahmslos alle Legierungselemente einen höheren Ressourcenverbrauch bei der Gewinnung haben als Eisen, ist eine Reduktion hier in der Regel ein Beitrag zur Ressourcenschonung. Bei der lebenszyklusweiten Analyse müssen dann aber auch die Nutzungs- und die Recyclingphase berücksichtigt werden: so ist der klassische Edelstahl zwar ressourcenintensiv, aber er verhindert das Rosten und ist hervorragend geeignet zum Recycling. Ein Vergleich zwischen verzinktem Stahl und Edelstahl würde bei verschiedenen Produkten zu verschiedenen Favoriten führen: dies ist in der Regel marktwirtschaftlich auch über die Preisregelung bereits zu beobachten. Besonders wichtig wird die Entwicklung neuer Stahlsorten auch sein, wenn der Anteil der Elektrolichtbogenroute an der Gesamtproduktion deutlich steigt und möglicherweise auch aus dieser Verfahrensrouten Flacherzeugnisse erzeugt werden müssen, die bisher nur mit der Hochofenroute erzeugt werden konnten.

Der dauerhafte und sichere Zugang zu natürlichen Ressourcen wie zu Sekundärmaterialien ist für die Stahlindustrie und die ressourceneffiziente und umweltfreundliche Stahlproduktion von entscheidender Bedeutung. Rohstahl lässt sich aus Eisenerz und Kohle herstellen; hochwertige Stahlsorten brauchen aber spezifische Einsatzstoffe von hochwertiger Qualität und spezifische Anlagen, die nur wenig Spielraum in der Bestückung zulassen. Vereinfacht kann man sagen: die Güte der Einsatzstoffe bestimmt das Verfahren und die Güte der Produkte – und die Ressourcenproduktivität. Nur wenn hochwertige Rohstoffe eingesetzt werden können, erreichen Produktionsprozesse eine hohe Effizienz. Aufgrund von Einschränkungen des Freihandels kommt es jedoch immer wieder, etwa aufgrund von Zöllen, zu wettbewerbsverzerrenden Eingriffen. Hier ist es Aufgabe der Politik, Handelshemmnisse abzubauen. Beispiele für solche Einschränkungen sind etwa die russischen Ausfuhrzölle in Höhe von 15% für Stahlschrott (von Wartenberg 2005) aber auch die amerikanischen Strafzölle für

Stahlimporte (Kormann 2002), die 2002 vorübergehend eingeführt wurden und vor allem auch eine Schutzmaßnahme für eine unter ökonomischen aber auch unter ökologischen Gesichtspunkten nicht mehr konkurrenzfähige US-Stahlindustrie waren (der Reduktionsmittelverbrauch der Stahlindustrie in der NAFTA Region lag 2006 pro t Roheisen um ca. 5 % über dem Verbrauch in Deutschland (Ameling 2007)).

Ein großes Potenzial zur Steigerung der Ressourceneffizienz des Werkstoffes Stahl liegt in der Optimierung seiner Nutzung. Wichtige Aspekte sind hier Gewichtsminimierung sowie Reparatur- und Recyclingfähigkeit. Diese Verbesserungspotenziale sind gegenüber den Potenzialen bei der Herstellung weit weniger genau bestimmt (Still 2005). Das liegt vor allen Dingen daran, dass es sich hierbei nicht um exakt bestimmbare verfahrenstechnische Potenziale handelt. Solche „weichen“ Faktoren werden häufig ausgeblendet.

Dennoch kann natürlich z.B. ein reparaturfreundlicher oder modularer Aufbau von Produkten (z.B. beim Auto: Stoßstangen aus Stahl, die sich „rückformen“ lassen oder einfach auszutauschen und zu recyceln sind, oder mit Kratzern weiter genutzt werden – anstelle von lackierten Kunststoff-Blenden) hier zu einer mindestens abschätzbaren Verbesserung der Ressourceneffizienz beitragen. Aber wie man an diesem Beispiel gut beobachten kann, spielen hier so viele verschiedene Faktoren eine Rolle (z.B. das Design oder die Kundenwünsche), dass Hochrechnungen mehr als schwierig sind.

Anders verhält sich die Sachlage, wenn man die Innovationen oder Veränderungen in den „unsichtbaren“ Bereich verlegt: wenn die Werkstoff- oder Produktveränderungen für den Designer oder Kunden nicht sichtbar oder erfahrbar sind, dann lassen sich Optimierungen einfacher umsetzen: z.B. Tailored Blanks im Innenbereich der PKW-Tür (maßgeschneiderte zusammengesetzte Blechplatinen aus unterschiedlichen Blechdicken und Werkstoffen). Beim Recycling kann man die potenzielle Recyclingfähigkeit erhöhen – z.B. durch lösbare Werkstoffverbünde oder Sortenreinheit – einen Einfluss auf die tatsächlichen Recyclingströme zu nehmen ist ungleich schwieriger. Die verstärkte Suche nach systemischen Lösungen und lebenszyklusweiter Optimierung sollte daher zunehmend ins Blickfeld des Interesses gerückt werden. Der Einfluss der Produktgestaltung (basierend auf der zu erbringenden Dienstleistung z.B. saubere Wäsche oder Transport von A nach B), einschließlich der Lebensdauer und Recyclingfähigkeit sowie der Nutzung von Produkten, bietet häufig weit größere Potenziale zur Verringerung des Ressourcenverbrauchs als eine schon weitgehend optimierte Werkstoffherzeugung.

4.4 Maßnahmenoptionen im Aktionsfeld Durchdringungsstrategien ressourceneffizienter Technologien

Erhebliche Ressourceneffizienzpotenziale sind einerseits in Anwendungsfeldern zu vermuten, wo bisher noch vielfach einfache Stahlqualitäten eingesetzt werden, also etwa dem Baubereich, dem Schiffbau, aber auch in Teilen des Maschinen- und Anlagenbaus. Andererseits jedoch auch dort, wo eine besonders große Nähe der bereits entwickelten Verfahren zu neuen Anwendungen zu erkennen ist. Die Bereiche Maschinenbau, Baugewerbe, Stahlbau und Schiffbau sind mit zusammen etwa 25% an der inländischen Stahlverwendung beteiligt. Das mögliche Einsparpotenzial ist daher auch in absoluten Mengen beträchtlich.

Bei der Übertragung neuer Verfahren und Werkstoffe in die breite Anwendung treten insbesondere bei KMU erhebliche Schwierigkeiten auf. Ursachen werden in den z.T. relativ unkontrollierten Fertigungsbedingungen, etwa auf Baustellen, gesehen. Hier wird eine Ausnutzung der möglichen Festigkeit dadurch verhindert, dass Verarbeitungsfehler nicht ausgeschlossen werden können und daher höhere Sicherheiten eingeplant werden müssen, jedoch ebenso

durch teilweise eingeschränkte Kenntnisse von Werkstoffen und Verarbeitungsverfahren. Die Baupraxis beispielsweise zeigt, dass in der Regel „auf der sicheren Seite“ und somit mit erhöhtem Materialbedarf berechnet wird. Dies findet einfache Begründung in den bereits zuvor genannten hohen Kosten für Arbeitsstunden, welche durch genauere Verfahren erforderlich sind. Die möglichen Effizienzpotenziale durch den Einsatz hochfester Stahlsorten können daher u.U. nur unvollständig erschlossen werden. Dies unterstreicht nochmals die Notwendigkeit, Anwendungsrichtlinien, wie etwa die Richtlinien des DASt (Deutscher Ausschuss für Stahlbau) zu entwickeln die es ermöglichen diese Effizienzpotenziale etwa durch eine beanspruchungsgerechte Bauteildimensionierung und die Vermeidung von Schwachstellen auszunutzen.

Eine Vorreiterrolle hinsichtlich der Anwendung neuer Verarbeitungsverfahren – nicht bei der Entwicklung besonders umwelt- und ressourcenschonender Produkte – spielt häufig die Automobilindustrie. Die technischen Anforderungen unterscheiden sich in anderen Anwendungen jedoch z.T. deutlich vom Automobil, so dass nicht jede werkstoffliche oder fügetechnische Neuerung einfach übertragen werden kann. Im Maschinenbau z.B. ist häufig – aber nicht immer – die Steifigkeit eines Bauteils entscheidend und nicht die Festigkeit. In solchen Fällen ist der Einsatz von hochfesten Stählen u.U. nicht lohnend, da das Elastizitätsmodul von hochfesten Stählen nicht höher ist als von Normalstählen. Insofern hängen die Potenziale, insbesondere im Werkzeugmaschinenbau, in hohem Maße von der jeweiligen Anwendung ab. Der Einsatz hochfester Stahlsorten kann insbesondere dort lohnend sein, wo große Kräfte übertragen werden müssen. Das gilt z.B. für eine Karosserie eines Autos, bei welcher es so zu verbessertem Unfallschutz führen kann oder für Brücken und den schweren Industrie- oder Kraftwerksbau. Hier können gerade auch öffentliche Auftraggeber die Entwicklung beschleunigen, indem sie etwa Kriterien wie Dauerhaftigkeit, Lebenszeitkosten, Minimierung der Unterhaltungskosten oder Ressourceneinsparung bei der Vergabe von Aufträgen berücksichtigen. Möglichkeiten zu solchen ganzheitlichen Betrachtungen sind auch nach heutigen Richtlinien möglich (Kuhlmann et al. 2007). Zudem müssen Branchen unabhängig vom Zugpferd Automobilbranche nach neuen Werkstoffen und Fügetechnologien forschen. Hier kann z.B. die Branche der Erneuerbaren Energien eine Vorreiterrolle übernehmen, wenn es darum geht, neue Potenziale im Bereich Offshore oder bei den Windkraftanlagen allgemein zu generieren.

Leichtkonstruktionen sind aufgrund geringer Materialdicke anfälliger für Korrosionsschäden. Daneben muss auch berücksichtigt werden, dass Reparaturen an Leichtkonstruktionen deutlich schwieriger durchzuführen sind, da es einerseits erforderlich ist, den Kraftfluss nicht zu beeinträchtigt, andererseits aber auch die eingesetzten Stahlsorten etwa nach thermischen Einwirkungen deutliche Festigkeitsverluste erleiden können. Beides kann zur Bauteilzerstörung und Schäden an Bauteilen führen. Leichtbau macht es daher notwendig, auch neue Strategien für die Nutzung und Reparatur von Gütern zu entwickeln.

Eine beschleunigte Diffusion und Verbreitung moderner Verfahren des Stahleinsatzes macht es daher auch nötig, die Qualifizierung von Anwendern zu berücksichtigen. Dies kann sowohl die akademische Ausbildung als auch die Weiterbildung betreffen und auch die Exportmärkte einschließen. Hier ist die universitäre, aber auch die duale Ausbildung angesprochen.

Die Verbreitung von Technologien kann deutlich beschleunigt werden, wenn an entscheidenden Stellen, bspw. in Pilotprojekten oder bei staatlichen Investitionsentscheidungen, gezielt der Einsatz dieser Technologien gefördert wird. Dies kann etwa bei der Erneuerung von Gebäuden und Infrastrukturen geschehen, aber etwa auch durch die Schaffung verbindlicher Kriterien bei der Förderung von Auslandsinvestitionen. Bis heute werden viele Investitionsentscheidungen noch ausschließlich unter dem Gesichtspunkt kurzfristiger ökonomi-

scher Optimierung betrieben. Langfristigeres Denken und die ergänzende Berücksichtigung ökologischer Kriterien könnte zu veränderten Entscheidungen führen und der Verbreitung neuer Technologien dienen.

Standardisierungen, Normen und technische Regeln sind weitere Aspekte, die berücksichtigt werden müssen, wenn moderne Verfahren und Werkstoffe eingesetzt werden sollen. So wird der Einsatz hochfester Stähle insbesondere im Baubereich auch aufgrund mangelnder Möglichkeiten zur Berücksichtigung seiner höheren Festigkeit eingeschränkt. So werden in Eurocode 3 (DIN EN 1993-1-1; DIN EN 1993-1-2) derzeit nur Stähle mit einer Streckgrenze bis 700 N/mm² berücksichtigt obwohl auch Stähle mit 1100 N/mm² verfügbar sind und neuere Forschungsergebnisse darauf hinweisen, dass die Bemessungsregeln nach Eurocode 3 auch auf Festigkeiten höher als 700 N/mm² anwendbar sind (Völling et al. 2006).

Die starke Durchdringung des Automobilsektors mit modernen Stahlanwendungen macht zudem ein generelles Problem deutlich: Viele moderne Verfahren sind erst bei hohen Stückzahlen lohnend. Eine wichtige Aufgabe muss daher sein, die Anwendbarkeit dieser Verfahren, auch bei geringeren Stückzahlen rentabel zu machen.

Die Entwicklung der Automobilindustrie zu einer Leitindustrie für den effizienten und innovativen Stahleinsatz wurde durch die Konkurrenz zum Werkstoff Aluminium massiv gefördert. In vielen anderen Anwendungsbereichen, etwa im Maschinenbau, gibt es keine vergleichbare Situation. Innovationen für mehr Ressourceneffizienz müssen daher stärker durch eine gezielte Förderung generiert werden.

Die Entwicklungen der letzten Jahre zeigen auch, dass die PKW-Karosserie immer mehr zu einem Konglomerat von verschiedenen Werkstoffen wird. Stahl muss sich hier auch der Konkurrenz aus den Bereichen Kunststoffe und z.B. Magnesium stellen. Dies wiederum wird die Entsorgung und das Recycling von PKWs vor neue Herausforderungen stellen.

Man kann aufgrund der Entwicklungen der letzten Jahre davon ausgehen, dass sich diese Gewichtsreduzierungen durch Leichtbauverfahren sukzessive in alle PKW-Segmente fortsetzen werden – u.a. auch aufgrund der auf der anderen Seite immer noch steigenden Gewichte durch neue Sicherheits- und Komfort-Leistungen.

5 Dialogprozess und Bewertung

Das gesamte Projekt verband ein **Dialog- und Kommunikationsprozess**, der alle Beteiligten vom Auftraggeber bis zum Workshopteilnehmer einbezog. Daraus sind einige Transferprodukte entstanden wie eine Internetplattform (www.ressourcenproduktivitaet.de), Hintergrund- und Maßnahmenpapiere für die drei Fokusbereiche, Präsentationen und drei fokusspezifische Broschüren. Die Organisation eines Dialogprozesses war in diesem F+E-Vorhaben als Querschnittsaufgabe konzipiert, die sich über die gesamte Projektlaufzeit erstreckte. Nach der ersten Analysephase, die zur Festlegung von drei Fokusbereichen führte, wurde ein Screening der Akteurspektren durchgeführt, die für die jeweiligen Bereiche Relevanz besaßen. Mit wichtigen Entscheidungsträgern erfolgte eine persönliche Kontaktaufnahme, um sie für eine Beteiligung am Dialogprozess zu gewinnen. Gleichzeitig wurden bereits bestehende Dialog- und Lernprozesse beachtet, um den Aufbau von Doppelstrukturen durch die Projektaktivitäten zu vermeiden. Die allgemeine Netzwerkarbeit (z.B. Adressdatenbanken, Austausch mit Schlüsselakteuren) diente der Kommunikation und dem Dialog zwischen allen Beteiligten und ermöglichte es, vielfältige Standpunkte konstruktiv zusammenzuführen und in innovative Ideen, sprich Maßnahmenvorschläge zu überführen.

Die öffentliche Präsenz führte dazu, dass sich der Kreis der Interessenten und Interessentinnen an den Inhalten des Projektes während der Projektlaufzeit erheblich erweitert hat. Die Kontakt-Datenbank umfasst etwa 400 interessierte Personen. Insgesamt verteilten sich die Akteurs- und Interessengruppen auf den Workshops und Veranstaltungen folgendermaßen: Vertreter aus Wirtschaft und Industrie waren insgesamt die stärkste Teilnehmergruppe (59%), gefolgt von Wissenschaft und Forschung (20%) und Politik (15%). Einen eher kleinen Kreis bildeten Umweltverbände und Gewerkschaften mit 5%. Insgesamt besuchten alle drei Veranstaltungen knapp 200 Personen, 10% davon besuchten alle 3 Veranstaltungen und beteiligten sich aktiv am Dialogprozess.

In allen Fokusbereichen ist eine Integration unterschiedlicher Wissensgebiete gelungen. Gleichzeitig konnte durch die strikte Maßnahmenorientierung und die Fokussierung auf einzelne Maßnahmenbereiche die Komplexität der Zielsetzung „Ressourcenproduktivität und Ressourcenschonung“ reduziert werden. Abstrakte politische Vorgaben wurden fachlich kontextualisiert und weiter konkretisiert. Eine Verbindung zwischen unterschiedlichen Wissensniveaus und Wissenstypen (Theorie-Praxis-Verhältnis) konnte durch die Einbeziehung von Experten und Expertinnen aus unterschiedlichen Bereichen hergestellt werden. Das Projekt hat damit einen Beitrag zur verbesserten Wissenstransformation zwischen Wissenschaft, Politik und der Praxis in verschiedenen Anwendungsfeldern geleistet.

Die Möglichkeiten im Rahmen des Projektes zur Organisation von konkreten Transferleistungen im Bereich Medienarbeit, Beratung und Bildung waren begrenzt (z.B. Kooperation mit Bildungs- und Beratungseinrichtungen). Um in diesen Fragen eine stärkere Kontinuität zu erreichen und auch Anschlussaktivitäten anzustoßen, kommt einer projektübergreifenden Netzwerkbildung eine besondere Bedeutung zu. Selbsttragende Strukturen brauchen einen mittelfristigen Rahmen, der deutlich über die gängigen Projektlaufzeiten von 2 Jahren hinausweist.

Eine Rückkopplung der Dialog-Erfahrungen aus diesem Projekt für andere Projekte und das Design von Forschungsprogrammen und Ausschreibungen ist wünschenswert. Ein solcher Prozess könnte durch den Auftraggeber im Anschluss an die Erfahrungen mit dem aktuellen Dialogprojekt angestoßen werden, in dem eine inhaltliche Plattform geschaffen wird, wo dialogorientierte Projekte ihre Erfahrungen mit konkreten Handlungsarenen austauschen können.

6 Ressourcenpolitik – Instrumente und internationale Anschlussfähigkeit

6.1 Ressourceneffizienz und Policy-Mix

Idealtypisch können die Zielbereiche des Projektes „Rohstoffproduktivität“ und „Ressourcenschonung“ unterschiedlichen Politikfeldern zugeordnet werden: Die Ressourcenschonung ist ein klassisches Ziel der Umweltpolitik, die Rohstoffproduktivität als Zielsetzung findet sich in der Wirtschaftspolitik bzw. der Ressourcenpolitik wieder. Mit dem Konzept einer ökologischen Industriepolitik und auch der Nachhaltigkeitspolitik wird eine Brücke zwischen beiden Bereichen geschlagen. Damit ist zwangsläufig die Notwendigkeit verbunden, Ziele und Instrumente in beiden Politikfeldern abzustimmen. Mit den angestoßenen Dialogprozessen wurde noch eine andere Sichtweise auf Instrumente und Maßnahmen deutlich. Ausgehend von konkreten Problemlagen wurden Maßnahmenvorschläge entwickelt, die in einem überschaubaren Zeitraum und Kontext zu Ergebnissen führen sollten. Hierbei rückten strategische Aspekte und Fragen der politischen Zuständigkeiten zunächst in den Hintergrund. Wichtig waren hier der Erkenntnis- und Prozessfortschritt in einem überschaubaren Zeitraum und die Erzielung konsensfähiger Maßnahmenkataloge. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, wie die Ergebnisse des Dialogprozesses an bestehende Instrumente und Politiken andockt werden können. Um diese Frage zu beantworten, wurden in einem ersten Schritt die ausgewählten Maßnahmen verschiedenen Instrumententypen zugeordnet. Daraus ergab sich insgesamt eine Art Policy-Mix aus ökonomischen und fiskalischen, regulatorisch-ordnungsrechtlichen, institutionellen und informatorischen Instrumenten.

Insgesamt betrachtet sind die vorgeschlagenen Maßnahmen in hohem Maße anschlussfähig an das grundsätzliche Konzept einer „Ökologischen Industriepolitik“. Allerdings ist zu erkennen, dass die strategische Komponente noch zu kurz kommt. Aus den einzelnen Maßnahmen geht noch nicht hervor, ob es sich um strategische Kernbereiche handelt, deren Anwendung und Verbreitung im Sinne einer Leitmarktstrategie lohnt. In allen Bereichen wurde deutlich, dass ein „intelligenter ökologisch-industrieller Regulierungsrahmen“ unverzichtbar ist. Er kann die Such-, Entdeckungs- und Entwicklungsprozesse einer Volkswirtschaft unterstützen (Bardt 2006), das Klima für Innovationen verbessern, Lobbyinteressen ausgleichen und Wettbewerbsprozesse zur Steigerung der Ressourcenproduktivität befördern. Nachfolgend die wichtigsten Instrumente aller drei Fokusbereiche in einer Übersichtstabelle (vgl. Tabelle 3).

Auch wenn die Preissignale der Rohstoffmärkte gegenwärtig die Ressourceneffizienzpolitik unterstützen, bleiben nach wie vor wichtige Bereiche der Ressourcenpolitik regulierungsbedürftig. Dies gilt insbesondere für die Stoffströme in der Sekundärrohstoffwirtschaft und die Technologiestandards zur Behandlung dieser Stoffströme. Das hochwertige und sortenreine Recycling von Stahl und Kupfer kann letztlich auch zur internationalen Vermarktung der entsprechenden Verfahren genutzt werden und somit zum Export der neuen Recyclingtechnologien führen. In diesem Bereich könnten vielleicht noch zusätzliche Anreize zur beschleunigten Markteinführung innovativer Technologien und auch innovativer organisatorischer Lösungen geschaffen werden.

Tabelle 3: Instrumente eines ökologisch-industriellen Regulierungsrahmens

Bauen & Wohnen	Kupfer	Stahl
Fiskalische und ökonomische Instrumente		
<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung von Markteinführungsprogrammen für innovative und Ressourcenschonende Baustoffe und Bauteile/ Gebäudekomponenten • Ausbau und Weiterentwicklung der KfW-Förderprogramme für energetische Sanierung 	<ul style="list-style-type: none"> • keine 	<ul style="list-style-type: none"> • keine
Regulatorisch- ordnungsrechtliche Instrumente		
<ul style="list-style-type: none"> • Mietrechts- und Steuerreform (Nutzer-Investor-Dilemma lösen) • Reform des Steuerrechts: kurzzeitigere Abschreibungen auch 3 Jahre nach der Anschaffung eines Gebäudes ermöglichen 	<ul style="list-style-type: none"> • WTO-Ebene: Abbau v. Handels-Hemmnissen und Wettbewerbsverzerrungen beim Handel mit Sekundärrohstoffen 	<ul style="list-style-type: none"> • Vereinfachung des Regelwerks für die Stahlanwendung • Anpassung der Schrottsortenliste
Informatorische Instrumente		
<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung ökologischer Mietspiegel • Marketing- und Informationskampagne zum Bauen im Bestand/ Ausarbeitung und Verbreitung eines integrierten Informationsangebotes für verschiedene Zielgruppen 	<ul style="list-style-type: none"> • IKT: Verbraucherkampagne: Kleingeräte als Wertstoffquelle nachhaltige Nutzung • Verbessertes Monitoring der Stoffströme unter Berücksichtigung der Probleme im Gebrauchtwagenmarkt 	<ul style="list-style-type: none"> • Verbesserte Erfassung der Stoffströme. Modellierung der Bestände und des Schrottfalles.
Innovatorische Instrumente		
<ul style="list-style-type: none"> • Materialforschung/ Entwicklung neuer, ökologischer Baustoffe • Weiterentwicklung des Gebäudeenergiepasses zum Ressourcenpass • Angebot gezielter Weiterbildungen zum Bauen und Wohnen im Bestand für verschiedene Zielgruppen (z.B. Architekten, Handwerker, etc.) • Schaffung von Netzwerken zum ressourceneffizienten Bauen 	<ul style="list-style-type: none"> • Fahrzeugbau: Materialreduzierungen und Miniaturisierungen durch neue Leitungs- und Kontaktteiltechnologien • IKT: Vereinfachung der Rückgabe von IKT -Kleinprodukten 	<ul style="list-style-type: none"> • Leichtbau: Einsatz hochfester Stähle und neuer Füge- und Formgebungsverfahren • Qualifikation von Akteuren insbesondere von KMU • Netzwerkbildung zur Verknüpfung von Kenntnissen.

Quelle: Wuppertal Institut

Leitmärkte und Ressourceneffizienz

Maßnahmen wie die Schaffung eines günstigen Rechts- und Regulierungsrahmens, die Festlegung von Standards, eine Verbesserung des Zugangs zu Risikokapital und die Unterstützung der anwendungsorientierten Forschung könnten dazu beitragen, dass Leitmärkte entstehen (Aho et al. 2006). „Die Fähigkeit auf diesen Leitmärkten mit innovativer Technologie präsent zu sein, entscheidet maßgeblich über die internationale Wettbewerbsfähigkeit eines

Landes. Leitmärkte sind Zukunftsmärkte, die nicht ausschließlich ökonomisch bestimmt werden, sondern auch gesellschaftspolitische Leitvorstellungen berücksichtigen.“ (BMU/Roland Berger Strategy Consultants 2007, S. 8) Die (ökonomischen) Leitmarktfaktoren können zu Preis- oder Kostenvorteilen, Nachfragevorteilen, Exportvorteilen oder Transfervorteilen führen.

Eine derartige Strategie entspricht auch den Zielen der Mitteilung über eine Leitmarkt-Initiative für Europa (KOM (2007) 860), die auch ausdrücklich die Bereiche Nachhaltiges Bauen und Wiederverwertung als aussichtsreiche Strategiefelder erwähnt. Im Umwelttechnologie-Atlas für Deutschland (BMU/Roland Berger Strategy Consultants 2007) werden sechs Leitmärkte für Umwelttechnologien ausgemacht, denen eine wesentliche Bedeutung für einen zukunftsfähigen Entwicklung zukommt:

- Rohstoff- und Materialeffizienz
- Umweltfreundliche Energieerzeugung und -speicherung
- Energieeffizienz
- Kreislaufwirtschaft
- Nachhaltige Mobilität
- Nachhaltige Wasserwirtschaft

Für den Leitmarkt Rohstoff- und Materialeffizienz (ADL/ISI/WI 2005; Kristof et al. 2007) werden hervorragende Wachstumschancen prognostiziert. Die sechs Leitmärkte hatten in Deutschland im Jahr 2005 ein Weltmarktvolumen von etwa 1.000 Mrd. Euro. Bis 2020 wird sich laut Umwelttechnologie-Atlas der Umsatz der Umweltindustrien auf 2.200 Mrd. Euro mehr als verdoppeln. Zurzeit hält Deutschland, je nach Marktsegment, zwischen 5% und 30% Anteile an den weltweiten Märkten. Durch Material- und Prozessinnovationen, eine effizienzorientierte Produktplanung von der Designphase (Abfallvermeidung, Recyclingfähigkeit, Entsorgungsanforderungen und Logistik, Benutzung nachhaltig erzeugter Rohstoffe) bis hin zur Entsorgung des Produktes, lassen sich laut einer Untersuchung der EU-Kommission bereits 80% aller produktbezogenen Umweltbelastungen beeinflussen. In Kombination mit politisch induzierten Anreizen für einen nachhaltigen Ressourcenverbrauch könnten laut ADL/ISI/WI 2005 im verarbeitenden Gewerbe allein bis zu 11 Mrd. Euro eingespart werden.

Für die weitere Entwicklung von Recyclingtechnologien sind Wettbewerbsverzerrungen ein wichtiges Investitionshemmnis, z.B. die staatlich gestützten Schrottaufkäufe aus den Schwellenländern im deutschen Markt. Auch illegale Exporte, Vollzugsdefizite und unterschiedliche Umweltstandards sind ein Problem, die zu einem vermehrten Abfluss von Sekundärmaterialien aus Deutschland und Europa führen. Insofern bestehen die Herausforderungen, im Rahmen internationaler Abkommen zu verbindlichen Regelungen hinsichtlich einer effizienten Verwertung spezifischer Stoffströme (z.B. Elektroschrott, Altautos) zu kommen.

6.2 Internationale Anschlussfähigkeit

Rohstoffproduktivität und Ressourcenschonung haben eine internationale Dimension: Der überwiegend im Ausland stattfindende Rohstoffabbau und Teile der -verarbeitung sowie die Exporte von Produkten und Sekundärrohstoffen machen dies deutlich. Trotz Rohstoffarmut und gleichzeitiger Exportorientierung können sich wirtschaftliche Chancen ergeben. So bieten beispielsweise Technologien zur Erhöhung der Ressourceneffizienz und nachwachsende Rohstoffe interessante Zukunftsmärkte.

Deutschland kann mit einer ehrgeizigen Strategie zur Erhöhung der Rohstoffproduktivität und zur Ressourcenschonung gut an die laufende EU Politik anknüpfen. Die EU spricht sich in

ihrer Ressourcenstrategie von 2005 für eine deutliche Erhöhung der Ressourcenproduktivität aus (3% pro Jahr). Neuere EU Initiativen zur Energiesicherheit, zur Klima- und Energiepolitik (vgl. EC 2008) und zu Leitmärkten für Öko-Innovationen, nachhaltiges Bauen und Recycling (vgl. EC 2007) sind ebenfalls in hohem Maße anschlussfähig. Angekündigt sind ferner das Aktionsprogramm zum nachhaltigem Konsumieren und Produzieren sowie eine Kommunikation zur nachhaltigen Industriepolitik.

Marketingkampagnen der Recyclingwirtschaft und der Automobilindustrie und im Bereich Bauen und Wohnen können über die europäischen Industrieverbände begleitet werden; zugleich kann die Initiative für eine entsprechende Kampagne auf EU-Ebene ergriffen werden. Grundsätzlich ist es zweckmäßig, Kampagnen in Mitgliedsländern auf der EU-Ebene zu begleiten. Maßnahmen zur Vereinheitlichung der Recyclingstandards auf hohem Niveau und zur Schaffung von Leitmärkten für Recycling entsprechen Bestrebungen der Europäischen Kommission.

Den Rahmen für diese Aktivitäten setzen die EU Strategien von Lissabon (Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit) und Göteborg (Verbesserung der Nachhaltigkeit), die beide für eine Entkopplung der wirtschaftlichen Leistungen von der Ressourcennutzung eintreten. Im weiteren Sinne relevant sind Art. 2 des Europäischen Gemeinschafts-Vertrags (EGV), der das Ziel eines nachhaltigen Wachstums festschreibt, Art. 6 EGV mit der Zielsetzung der Integration von Umweltschutz in alle Politikbereiche, Art. 95 EGV, der ein hohes Schutzniveau festschreibt und Art. 174 EGV der allgemeine Umweltschutzprinzipien enthält.

Insgesamt ergibt sich bei einer Vielzahl von Strategien, Instrumenten und Maßnahmen Anschlussfähigkeit, aber auch ein teils erheblicher Abstimmungsbedarf in der EU, der sich aus einschlägigen Bestimmungen zum europäischen Binnenmarkt ableitet (vgl. Pelkmans 2006).

Insgesamt wird die europäische Einbindung der ressourcenpolitischen Strategien, Instrumente und Maßnahmen von hoher Bedeutung sein. Über die EU hinaus zeigt sich die Notwendigkeit einer international ausgerichteten Strategie. Bei allen Vorteilen einer Materialeffizienz bleibt dabei zu beachten: wenn Unternehmen oder Regierungen international rücksichtslos Kosten durch Raubbau externalisieren und auf die Allgemeinheit abwälzen, muss die Politik Möglichkeiten haben, diese Folgekosten den Verursachern anzulasten. Die WTO-Regeln sollten deshalb mittelfristig überprüft und angepasst werden. Eine Internationalisierung der Produkt- und Materialverantwortung sowie eine internationale Schließung bislang offener Kreisläufe vor allem bei Konsumgütern wären wichtige Schritte zur Entschärfung potentieller Handelskonflikte.

6.3 Verbesserung der Ressourcenproduktivität in globalen Wertschöpfungsketten

Im Folgenden werden basierend auf einem im Projekt erarbeiteten Paper (vgl. Herrndorf/Kuhndt/Tessema 2007) die im Projekt aufgezeigte internationale Debatte über Maßnahmen und Instrumente, die sich mit den Möglichkeiten der Erhöhung der Ressourcenproduktivität in globalen Wertschöpfungsketten innerhalb des öffentlichen und privaten Sektors auseinandersetzt, kurz dargestellt. Das Paper gibt einige Einblicke in internationale Perspektiven und führt Praxisbeispiele an. Dabei stützt es sich auf Ergebnisse von Materialflussanalysen, die eindringlich zeigen, wie Materialflüsse zunehmend nationale Grenzen überqueren (Moll/Bringezu/Schütz 2005).

Das Dokument baut auf den im Dialogprojekt erzielten Ergebnissen auf und erweitert diese, indem es angelehnt an das Thema Möglichkeiten durch eine internationale Perspektive

aufzeigt, die dann anhand von Praxisbeispielen im öffentlichen und privaten Sektor erläutert werden.

Das Paper unterstützt ebenfalls jüngste internationale Aktivitäten in dem Themenbereich inklusive des Marrakesch Prozesses und dem Internationalen Forum für nachhaltiges Ressourcenmanagement. Ressourcenproduktivität ist ein neues Themenfeld auf der internationalen Agenda. In diesem Kontext dient das Dokument einer ersten Erkundung und bildet einen ersten Ansatzpunkt für zukünftige Untersuchungen und Diskussionen.

Ressourcenproduktivität in der globalen Wertschöpfungskette impliziert (im Rahmen des vorliegenden Papiers) folgende Themen:

- Bedingungen und Auswirkungen auf die Ressourcenproduktivität in ressourcenreichen, exportierenden Ländern;
- Ressourcenproduktivität im Herstellungsprozess der Produkte und Dienstleistungen;
- Ressourcenproduktivität während der Konsumphase innerhalb anderer Länder;
- Produkte die von deutschen Unternehmen für das Recycling oder die Endverarbeitung exportiert werden.

7 Literatur

- Acosta-Fernández, J. (2007): Identifikation prioritärer Handlungsfelder für die Erhöhung der gesamtwirtschaftlichen Ressourcenproduktivität in Deutschland; Projektergebnisse im Rahmen des Projekts „Steigerung der Ressourcenproduktivität als Kernstrategie einer nachhaltigen Entwicklung“. Wuppertal: Wuppertal Inst. für Klima, Umwelt, Energie.
- (ADL/WI/ISI); Arthur D. Little GmbH (ADL); Wuppertal Institut; Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI) (2005): Studie zur Konzeption eines Programms für die Steigerung der Materialeffizienz in Mittelständischen Unternehmen, Abschlussbericht. In: <http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Service/publikationen.html>?
- Aho, E.; Cornu, J.; Georghiou L.; Subirá A. (2006): Creating an Innovative Europe. Report of the Independent Expert Group on R&D and Innovation appointed following the Hampton Court Summit and chaired by Mr. Esko Aho. Luxembourg. In: <http://europa.eu.int/invest-in-research/>
- Ameling, D. (2005): Technisch-wissenschaftliche Gemeinschaftsarbeit, Stahl und Eisen 125 (2005) Nr. 12.
- Ameling, D. (2007): Globale Rohstoffmärkte und die Interessen der Industrie in Deutschland und Europa, Vortrag am Institut für Weltwirtschaft am 6. Februar 2007.
- Ameling, D. (2007a): Nachtrag: Energiemangel – Rohstoffknappheit: Welche mittelfristige Perspektive hat die deutsche Wirtschaft? Info Schnelldienst 6/2007.
- Ameling, D. (2007b): Ressourceneffizienz – Stahl ist die Lösung, Vortrag im Rahmen des Projekts Rohstoffproduktivität und Ressourcenschonung, Düsseldorf 18. April 2007.
- Anlaufstelle Basler Übereinkommen (2007): Anlaufstellen-Leitlinien Nr. 1 über die Verbringung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten.
- Arbeitsgemeinschaft Altauto (Arge-Altauto) (2000): Erster Monitoringbericht. www.arge-altauto.de, Frankfurt.
- Ayres, R.U. ; Ayres, L.W.; Råde, I. (2003): The Life Cycle of Copper, Its Co-Products and Byproducts, Series: Eco-Efficiency in Industry and Science, Vol. 13. Dordrecht: Kluwer.
- Bardt, H. (2006): Die gesamtwirtschaftliche Bedeutung von Sekundärrohstoffen. In: IW-Trends – Vierteljahresschrift zur empirischen Wirtschaftsforschung aus dem Institut der deutschen Wirtschaft Köln, Jg. 33, H. 3/2006.
- Baron, R.; Jochem, E.; Kristof, K.; Liedtke, C. (2005): Studie zur Konzeption eines Programms für die Steigerung der Materialeffizienz in mittelständischen Unternehmen: Abschlussbericht: Arthur D. Little GmbH [u.a.]. In: <http://www.materialeffizienz.de/download/Abschlussbericht.pdf>.
- Becker, M./ Knoll, P. (2007): Untersuchungen zu Energieeinsparpotenzialen durch Nutzung integrierter offener Gebäudeautomationssysteme auf Basis der Analyse DIN V 18599 und prEN 15232, Studie im Auftrag der LonMark Deutschland e.V., Aachen.
- Behrendt, S.; Henseling, C.; Fichter, K.; Bierter, W. (2004): Chancenpotenziale für nachhaltige Produktnutzungssysteme im Internet. IZT: Berlin.
- Behrensmeier, R., Bringezu, S, (1995): Zur Methodik der volkswirtschaftlichen Material-Intensitäts-Analyse: Der bundesdeutsche Umweltverbrauch nach Bedarfsfeldern. Wuppertal Paper 46.

Berkel, R. v. (2006): Eco-Efficiency in Australian minerals and metals production, Workshop on Material Flows and Environmental Impacts associated with Massive Consumption of Natural Resources and Products, November 17, 2006, Tsukuba, Japan.

Best, S. W.; Vandevelde, S. (2007): Die Herausforderung: Entwickeln einer optimalen E/E-Architektur.

Bleck, W. (2007): Ressourcenschonung mit neuen Stählen / Technologien / Methoden. Zukunftsdialog „Verbesserung von Rohstoffproduktivität und Ressourcenschonung“, 18.04.2007, Düsseldorf.

Bleck, W. (2005): Universitäre Forschung am Scheideweg, Stahl und Eisen 125 (2005) Nr. 6 S. 36-38.

Bleischwitz, R. (2005): Gemeinschaftsgüter durch Wissen generierende Institutionen. Ein evolutorischer Ansatz für die Wirtschaftspolitik, Marburg, 2005.

Bleischwitz, R.; Bringezu, S. (2007): Global resource management: conflict potential and characteristics of a global governance regime. - Bonn : Stiftung Entwicklung und Frieden.

Bringezu, S. (2000): Ressourcennutzung in Wirtschaftsräumen, Berlin u.a. (Springer Verlag).

Bringezu, S. (2004): Erdlandung. Navigation zu den Ressourcen der Zukunft. Stuttgart /Leipzig.

Bringezu, S.; Behrensmeier R., et al. (1998): Material Flow accounts indicating environmental pressure from economic sectors. Environmental Accounting in Theory and Practice. Uno, K.; Bartelmus, P.; Dodrecht, P. Kluwer Academic Publishers: Boston, London.

Büchner, H.-J.: IKB Branchenbericht Rohstoffmärkte, November 2006.

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (2007): Rohstoffwirtschaftliche Steckbriefe für Metall- und Nichtmetallrohstoffe, Hannover.

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (BGR/RWI/ISI) (2006): Trends der Angebots- und Nachfragesituation bei mineralischen Rohstoffen, Forschungsprojekt Nr. 09/05 des BMWi.

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2007): Forschung und Innovation in Deutschland 2006. Berlin.

Bundesministerium für Umwelt (BMU) (2007): GreenTech made in Germany. Umwelttechnologie-Atlas für Deutschland. Berlin.

Bundesministerium für Umwelt (BMU) (Hrsg.) (2006): Ökologische Industriepolitik. Memorandum für einen "New Deal" von Wirtschaft, Umwelt und Beschäftigung. Berlin. Abrufbar unter:

http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/memorandum_oekol_industriepolitik.pdf

Bundesministerium für Umwelt (BMU) (Hrsg.)/Roland Berger Strategy Consultants (2007): Green Tech made in Germany. Umwelttechnologieatlas für Deutschland. Verlag Franz Vahlen: München.

Bundesministerium für Umwelt (BMU) / IG Metall / Wuppertal Institut (2006): Tagungsdokumentation „Ressourceneffizienz –Innovation für Umwelt und Arbeit. Berlin / Frankfurt / Wuppertal.

Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e.V. (BVSE) (2006): Der Markt für Sekundärrohstoffe 2005/2006.

CO₂-Online GmbH/Fraunhofer IBP (2007): CO₂-Gebäudereport 2007. Kurzfassung im Auftrag des BMVBS.

DESICCA (2007): Wohnungsbestand, Wohngebäudestruktur, Gebäudezustand und Wohnungsleerstand in Deutschland. Statistik. In: http://www.desicca.de/Bauweisen/Gebaudestatistik/body_gebaudestatistik.html; 12.11.2007

DeStatis (2002): Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsfläche: 129ha/Tag. Pressemitteilung vom 29. April 2002. In: www.destatis.de, zugegriffen am 08.03.2007.

DeStatis (2003): Umweltökonomische Gesamtrechnungen. Bericht „Umweltproduktivität, Bodennutzung, Wasser, Abfall – Ausgewählte Ergebnisse der Umweltökonomische Gesamtrechnungen und der Umweltstatistik 2003“, Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.

Deutsche Bundesregierung (2007): Elemente einer Rohstoffstrategie der Bundesregierung. Berlin.

Deutsche Bundesregierung (Hg.) (2002): Perspektiven für Deutschland: Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung. Berlin. In: http://www.bundesregierung.de/Anlage587386/pdf_datei.pdf

Deutsche Industriebank AG (IKB) (2006): Branchenbericht November 2006 – Rohstoffmärkte, Düsseldorf: Deutsche Industriebank AG.

Deutsche Industriebank AG (IKB) (2007): Rohstoffmärkte. IKB Branchenbericht November 2007. Düsseldorf.

Deutscher Bundestag (Hrsg.) (1998): Abschlussbericht der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt – Ziele und Rahmenbedingungen einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung“ des 13. Deutschen Bundestages: Konzept Nachhaltigkeit. Vom Leitbild zur Umsetzung.

Deutsches Kupferinstitut (DKI) (2000): Kupfer in der Elektrotechnik, Kabel und Leitungen. Düsseldorf.

European Commission (2007): A lead market initiative for Europe, COM (2007) 860 final.

European Commission (2008): Europe's climate change opportunity, COM (2008) 30 final.

Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des 13. Deutschen Bundestages“ (1998): Konzept Nachhaltigkeit: Vom Leitbild zur Umsetzung. Abschlussbericht. BT-Drucksache 13/11200. Bonn.

Erdmann, L. et al (2004): Nachhaltige Bestandsbewirtschaftung nicht erneuerbarer knapper Ressourcen. Handlungsoptionen und Steuerungsinstrumente am Beispiel von Kupfer und Blei, IZT-Werkstattbericht Nr. 68. Berlin.

Erdmann, L.; Handke, V.; Klinski, S.; Behrendt, S.; Scharp, M. (2006): Nachhaltige Bestandsbewirtschaftung knapper Ressourcen am Beispiel von Kupfer und Blei. Berlin: Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung. IZT-Werkstattbericht Nr. 68, Berlin.

ESTEP (2005) - European Steel Technologie Platform: Strategic Research Agenda: A vision for the future of the steel sector, Belgien; Download unter: ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/estep/docs/sra_en.pdf

Fachinformationszentrum Karlsruhe (Hrsg.) (2002): Altbau. Fit für die Zukunft. Basis Energie 11. BINE Informationsdienst. In: www.kommen.nrw.de/cgi-bin/kommen04/lib/pub/object/downloadfile.cgi/altbau.pdf?lang=1&oid=1307&ticket=guest, (19.03.07).

Fuder, A. (2002): Die Umsetzung der Altautorichtlinie1 durch das Altfahrzeug-Gesetz. In: KGV-Rundbrief des Öko-Instituts Darmstadt, 1+2/2002, S. 11-19, Darmstadt. Internet: <http://www.oeko.de/kgvweben/content/rundbriefe/Rundbrief-2002-1-2.pdf>, Zugriff: 2007.

(GdW) Bundesverband deutscher Wohnungs- und Immobilienunternehmen e.V. (GdW) (Hrsg.) (2006): Bauen und Wohnen im Lebenszyklus. Dokumentation des Symposiums vom 17. Januar 2006 in Essen. GdW Information 116. In: www.vzbv.de/mediapics/bauen_wohnen_lebenszyklus_gdw_2006.pdf?PHPSESSID=2a5f3340497f8cf5e95472c7021580486, (08.07.2007).

Giurco, D. (2005): Towards sustainable metal cycles. The case of copper. Dissertation. University of Sydney.

Hanus, F. (2000): Thermomechanisch gewalzte Stähle für den Stahl- und Behälterbau, Vortrag zum Seminar „Schweißen der thermomechanisch gewalzten Feinkornbaustähle“ der SLV-Duisburg, Oktober 2000.

Herrndorf, M.; Kuhndt, M.; Tessema, V. (2007): Raising resource productivity in global value chains – spotlights on international perspectives and best practice. Paper des Projekts “Rohstoffproduktivität und Ressourcenschonung – Zukunftsdialog”; Wuppertal

Herzog, K., Liedtke, C., Ritthoff, M., Wallbaum, H., Merten, T. (2003): Der Werkstoff Stahl im Vergleich zu Konkurrenzwerkstoffen – Verfahren, Ressourceneffizienz, Recycling, Umwelt. Forschungsbericht P 559, Düsseldorf: Studiengesellschaft Stahlanwendung e.V.

ICSG (2005): Copper: Release of Yearbook 2005. Press Release of August 2, 2005. The International Copper Study Group (ICSG). www.icsg.org, 2005.

ICSG (2007), International Copper Study Group (ICSG) (2007): The World Copper Factbook. Lissabon, Portugal.

InWIS (2007), Institut für Wohnungswesen, Immobilienwirtschaft, Stadt- und Regionalentwicklung InWIS (2007): Haushaltsbefragung Schwerin. In: Eichener (2007): Die Renaissance urbanen Wohnens. KfW-Symposium 2007. „Die Wiederentdeckung der Stadt – Urbanes Wohnen in den Eigenen vier Wänden“. Berlin, 25.10.2007. Januar 2006 in Essen. GdW Information 116. Unter: www.vzbv.de/mediapics/bauen_wohnen_lebenszyklus_gdw_2006.pdf?PHPSESSID=2a5f3340497f8cf5e95472c7021580486; zugegriffen am: 08.07.2007

Karle, J.: Herausforderung der deutschen Stahlrecyclingwirtschaft durch die Rohstoffverknappung, Stahl und Eisen 125 (2005) Nr. 3, S. 93.

Killmann, D./ Pretz, Th. (2006): Status der sensorgestützten Sortierung im Recycling. V.z.F. Instituts für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik, Leoben.

Kommission der Europäischen Gemeinschaften KOM (2005) 670 endg.: Thematische Strategie für eine nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen. Brüssel.

Kormann, A. (2002): Aus der Arbeit der Wirtschaftsvereinigung Stahl und der wirtschaftlichen Fachverbände. In: stahl und eisen 122 (2002) Nr. 12, S. 57-69.

Kraftfahrt-Bundesamt (2007a): Jahresbericht 2006. Flensburg.

Kristof, K. / Bleischwitz, R. / Liedtke, C. / Türk, V. / Bringezu, S. / Ritthoff, M. / Schweinfurth, Arne (2006): Ressourceneffizienz - eine Herausforderung für Politik und Wirtschaft, Hintergrundpapier des Wuppertal Institutes zur Tagung des Bundesumweltministeriums und der IG Metall "Ressourceneffizienz - Innovationen für Umwelt und Arbeitsplätze", 31.08.2006, Berlin.

- Kristof, K. / Liedtke, C. / Baedeker, C. / Lemken, T. (2007): Erfolgsfaktoren für eine erfolgreiche Ressourcenpolitik: Kostensenkung, Rohstoffsicherheit, Arbeitsplätze und Umweltschutz. Hintergrundpapier für die Innovationskonferenz II „Ressourceneffizienz“. Wuppertal.
- Kuhlmann, U.; Dürr, A.; Günther, H. (2007); Erhöhung der Ermüdungsfestigkeit durch Anwendung von Ultrasonic Impact Treatment (UIT). Konferenz Tagungsband: Hochfester Stahl im Stahl- und Maschinenbau – Neues aus Forschung und Anwendung, Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V.
- Lucas R. et al (2007): Das Rohstoffsystem Kupfer – Status Quo, Perspektiven und Handlungsbedarf aus Sicht einer nachhaltigen Ressourcenpolitik. In: http://www.ressourcenproduktivitaet.de/download.php?datei=src/downloads/Kupfer_070705.pdf. (Stand: 06.02.08)
- Lüngen, H. B.; Schmöle, P. (2004): Hochofenbetrieb ohne Koks und Kohlenstoff? Stahl und Eisen 124 (2004), Nr. 11, S. 63-72
- Lüngen, H.B. (2005): Technische Entwicklung in der Stahlindustrie verringern CO₂-Emissionen, Vortrag anlässlich der Fachkonferenz „Rheinklima – die Zukunftsfähigkeit eines europäischen Wirtschaftsraums im Wandel des Klimas“ Bonn.
- Merten, T.; Liedtke, C.; Schmidt-Bleek, F. (1995): Materialintensitätsanalysen von Grund-, Werk- und Baustoffen (1) - Die Werkstoffe Beton und Stahl- Materialintensitäten von Freileitungsmasten, Wuppertal Paper Nr. 27, Wuppertal.
- Mining, Minerals, and Sustainable Development (MMSD) (2002): Breaking New Ground. The Report of the Mining, Minerals and Sustainable Development Project, London: Earthscan.
- Moll S.; Acosta J.; Schütz H. (2005): Iron & Steel – Materials System Analysis - Pilot study examining the material flows from the resource input to product and waste for the production and consumption of steel in the European Union, Wuppertal.
- Moll, S., Acosta, J., Villanueva, A. (2004): Environmental implications of resource use – insights from input-output analyses. Final Report - WP1m/2003. EEA (European Environment Agency), Copenhagen.
- Moll, S./ Bringezu, S./ Schütz, H. (2005): Resource use in European countries: An estimate of materials and waste streams in the Community, including imports and exports using the instrument of material flow analysis. Wuppertal.
- Monhaupt, M. (2006): IKB Branchenbericht Stahl- und Metallverarbeitung, April 2006
- Niedersächsisches Umweltministerium (2007): Abschlussbericht des Arbeitskreises.
- Nitschke-Pagel, T. (2007): Schweißnachbehandlung bei hochfesten Stählen. Konferenz Tagungsband: Hochfester Stahl- im Stahl- und Maschinenbau – Neues aus Forschung und Anwendung, Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V.
- Öko-Institut e. V. (2006): Fortentwicklung der Kreislaufwirtschaft zu einer nachhaltigen Stoffstrom- und Ressourcenpolitik, Teilvorhaben „Ermittlung von relevanten Stoffen bzw. Materialien für eine stoffstromorientierte Ressourcen schonende Abfallwirtschaft“, im Auftrag des Bundesumweltministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.
- Ökopoll/ iiiiee/ RPA (2007): The Producer Responsibility Principle of the WEEE Directive. Final Report, Hamburg.
- Ökopoll/ iiiiee/ RPA = Ökopoll GmbH (2001): The International Institute for Industrial Environmental Economics at Lund University.

- Pelkmans, J. (2006): European Integration, methods and economic analysis, 3rd revised edition, Pearson Education, Harlow.
- Pogge, T. (2002): World Poverty and Human Rights, Cambridge: Polity Press.
- Rat für Nachhaltige Entwicklung (Hrsg.) (2004): Effizienz und Energieforschung als Bausteine einer konsistenten Energiepolitik. Empfehlungen des Rates für Nachhaltige Entwicklung an die Bundesregierung.
- Recycling-Magazin (2007): Altauto-Monitoring: Vertrauen ist gut – Kontrolle ist besser. Gräfel-fing: Reed Elsevier Deutschland GmbH. S.22-25. (k.A. zum Autor).
- Regierung online (2007): CO₂-Ausstoß von Wohngebäuden deutlich gesunken. Pressemitteilung vom 27.11.2007. In:
http://www.bundesregierung.de/nn_66414/Content/DE/Artikel/2007/11/2007-11-27-co2-gebauedesanierung-report.html
- Reichel, H. (2003): Trends in der Technologieentwicklung. In: NIK (2003), S.41.
- Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (RWI/ISI/BGR) (2006): Trends der Angebots- und Nachfragesituation bei mineralischen Rohstoffen, Endbericht. Forschungsprojekt Nr. 09/05 des BMWi. Essen.
- Ritthoff, M. (2005): Berücksichtigung des Metallrecyclings bei Lebenszyklusanalysen. Ein Beitrag zur Diskussion im Arbeitskreis metallische Rohstoffe im deutschen Netzwerk Lebenszyklusdaten, Wuppertal Institut.
- Ritthoff, M. (2006): Relevance of region of origin and technology on material intensity; Workshop on Material Flows and Environmental Impacts associated with Massive Consumption of Natural Resources and Products, November 17, 2006, Tsukuba, Japan.
- RWTH Sonderforschungsbereich SFB 525 (2002): Ressourcenorientierte Gesamtbetrachtung von Stoffströmen metallischer Rohstoffe – Entwicklung von Methoden und ihre Anwendung - Arbeits- und Endbericht 2000/2001/2002, Aachen: RWTH Aachen.
- Schröter, F.; Martin, F. (2007): Neueste Entwicklungen von thermomechanisch gewalzten Feinkornbaustählen – Erfahrungen aus Offshore-Industrie und Stahlwasserbau. Konferenz Tagungsband: Hochfester Stahl- im Stahl- und Maschinenbau – Neues aus Forschung und Anwendung, Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V.
- Schüller M. (2006): Material Flow Analysis of selected primary Copper routes: Chile and Germany. Diplomarbeit an der Universität Stuttgart.
- sms-demag (2007): Zukunftsorientierte Blasstahlerzeugung. Düsseldorf.
- Steuff, W. (2006): Kupfersymposium 2006 – Quality connects – people, markets, services. LEONI.
- Still, G. (2007): Hoch- und höchstfeste Stähle, Formgebungs- u. Fügeverfahren und andere Technologien für ressourcen-effizienten Stahleinsatz. Vortrag 18.4.2007, Düsseldorf.
- Still, G.; Adam, H.; Alsleben, D.; Volkhausen, W. (2005): Produktintegrierter Umweltschutz – Chance oder Gefahr? Stahl und Eisen 125 (2005) Nr. 4, S. 57-64.
- Sullivan, D.E. (2006): Recycled Cell Phones – A Treasure Trove of Valuable Metals, Denver-USA: USGS.
- Telekom (2006): Geschäftsbericht 2006. Bonn: Telekom.

Tichelmann, K./ Ohl, R. (2005): Wärmebrücken Atlas: Trockenbau, Stahl-Leichtbau, Bauen im Bestand. Köln.

TNS Infratest Forschung GmbH (2006): Monitoring Informationswirtschaft. Infratest: München.

UBA (2004): Nachhaltiges Bauen und Wohnen in Deutschland. Texte Nr. 01/04, Berlin.

Umweltbundesamt (UBA); Bundesministerium für Umwelt (BMU) (2007): Wirtschaftsfaktor Umweltschutz. Vertiefende Analyse zu Umweltschutz und Innovation.

v. Wartenberg, L. (2005): Rohstoffversorgung und Rohstoffsicherung: Herausforderungen für die Industrie. STAHL 2005, 10. November 2005, Düsseldorf.

Voet, van E.; Oers, van, L.; Nikolic, I. (2003). Dematerialisation: not just a matter of weight. CML Report 160. Centre of Environmental Science (CML) Leiden University.

Völling, B. ; Sedlacek, G. ; Pak, D. ; Clarin, M. (2006): Zum Beulverhalten kaltgeformter und geschweißter Rechteckhohlprofile aus hochfestem Stahl; Stahlbau, Ausgabe: 11, Jahr: 2006 S. 889-896.

Wallbaum, H.; Herzog, C. (2001): Am Anfang war der Mensch, in: Politische Ökologie 19(71), 33-36.

Wallbaum, H.; Kummer, N. (2006): Entwicklung einer Hot Spot-Analyse zur Identifizierung der Ressourcenintensitäten in Produktketten und ihre exemplarische Anwendung. Studie im Rahmen des BMBF-Projektes „Steigerung der Ressourcenproduktivität als mögliche Kernstrategie einer nachhaltigen Entwicklung“. Triple innova GmbH, Wuppertal.

Wittmer, D. (2006): Kupfer im regionalen Ressourcenhaushalt – Ein methodischer Beitrag zur Exploration urbaner Lagerstätten. Dissertation. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich: Zürich.