

Holger Rohn

(Trifolium – Beratungsgesellschaft mbH)

Nico Pastewski

(Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO)

Michael Lettenmeier

(Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH)

Unter Mitarbeit von:

Eberhard Büttgen (LFA, RWTH Aachen)

Martin Grismajer (IWF, TU Berlin)

Benjamin Kuhrke (PTW, TU Darmstadt)

Robert Kupfer (ILK, TU Dresden)

Bastian Lang (upp, Universität Kassel)

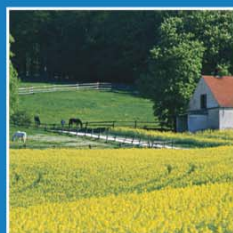
Katrin Bienge, Kora Kristof und Klaus Wiesen (Wuppertal Institut)

Chengizhan Aydin, Anna Cholewa, Almuth Eberhardt, Alain Heynen, Simon Kim, Mathias Leck, Peter Lucas, Melanie Lukas, Daniel Maga, Piotr Pacholak, Björn Reichardt, Silke Richter, Sebastian Rothenberg, Masi Sadeghi, Tobias Samus, Rüdiger Schmidt, Manuela Seitz, Lisa Marie Schimanski, Christoph Schniering, Verena Simon, Lene Stöwer, Jan Udes, Katrin Werner

Ressourceneffizienz von ausgewählten Technologien, Produkten und Strategien

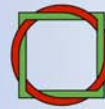
Zusammenfassung

Zusammenfassung der Ergebnisse des Arbeitspakets 1
des Projekts „Materialeffizienz und Ressourcenschonung“
(MaRess)



Wuppertal, September 2010

ISSN 1867-0237



Wuppertal Institut
für Klima, Umwelt, Energie
GmbH

Wuppertal Institut
in Kooperation mit

BASF
Borderstep
CSCP
Daimler
demea – VDI / VDE-IT
ECN
EFA NRW
FhG IAO
FhG UMSICHT
FU Berlin
GoYa!
GWS
Hochschule Pforzheim
IFEU
Institut für Verbraucherjournalismus
IÖW
IZT
MediaCompany
Ökopol
RWTH Aachen
SRH Hochschule Calw
Stiftung Warentest
ThyssenKrupp
Trifolium
TU Berlin
TU Darmstadt
TU Dresden
Universität Kassel
Universität Lüneburg
ZEW

Kontakt zu den Autor(inn)en:

Holger Rohn

Trifolium – Beratungsgesellschaft mbH
61169 Friedberg, Alte Bahnhofstr. 13

Tel.: +49 (0) 6031 68754 -64, Fax: -68

Mail: holger.rohn@trifolium.org

Nico Pastewski

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO
Nobelstr. 12, 70569 Stuttgart, Germany

Tel.: +49 (0) 711 970 -5132, Fax: -2287

Mail: nico.pastewski@iao.fraunhofer.de

**„Materialeffizienz und Ressourcenschonung“
(MaRes) – Projekt im Auftrag des BMU | UBA**

Projektlaufzeit: 07/2007 – 12/2010

Projektleitung:

Dr. Kora Kristof / Prof. Dr. Peter Hennicke

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH
42103 Wuppertal, Döppersberg 19

Tel.: +49 (0) 202 2492 -183 / -136, Fax: -198 / -145

Mail: kora.kristof@wupperinst.org
peter.hennicke@wupperinst.org

© Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH

Weitere Informationen zum Projekt

„Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRes)

finden Sie unter **www.ressourcen.wupperinst.org**

Gefördert wird das Vorhaben im Rahmen des UFOPLAN
durch das BMU und das UBA, Förderkennzeichen: 3707 93 300

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung
liegt bei den Autor(inn)en.



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit

**Umwelt
Bundes
Amt**
Für Mensch und Umwelt

Ressourceneffizienz von ausgewählten Technologien, Produkten und Strategien: Zusammenfassung

Inhaltsverzeichnis

Kurzzusammenfassung	3
Vorwort und Danksagung	4
1 Einleitung	5
2 Methodik der Potenzialanalysen	5
2.1 Themenauswahl	5
2.2 Bearbeitung und Auswertung der Potenzialanalysen	7
2.3 Lessons Learned	8
3 Ergebnisse und Handlungsempfehlungen	10
3.1 Ergebnisübersicht	10
3.2 Querschnitts- und „Enabling-Technologien“: Türöffner für ressourceneffiziente Anwendungen	11
3.3 Regenerative Energien ermöglichen erhebliche Ressourceneinsparungen	14
3.4 Der Wachstumsmarkt Informations- und Kommunikationstechnologie (IuK) benötigt ein sorgfältiges Ressourcenmanagement	16
3.5 Lebensmittel – Betrachtung von Produktion und Konsum notwendig	18
3.6 Verkehr – Infrastruktur birgt mehr Effizienzpotenzial als Antriebssysteme	19
3.7 Produktentwicklung an Ressourceneffizienz ausrichten	20
3.8 Geschäftsmodelle an Ressourceneffizienz orientieren: Produkt Service Systeme (PSS) erfordern Umdenken	21
4 Fazit und Ausblick	22
5 Literatur	24

Abbildungen

- Abb. 1: Kriteriengestützte Auswahl von Technologien, Produkten und Strategien mit hohem Ressourceneffizienzpotenzial _____ 6
- Abb. 2: Übersicht zur Vorgehensweise der Potenzialanalyse _____ 7

Tabellen

- Tab. 1: Zentrale Handlungsfelder mit Potenzialen zur Steigerung der Ressourceneffizienz _____ 3
- Tab. 2: Bewertungskriterien zur Beurteilung der Technologien, Produkte und Strategien _____ 7
- Tab. 3: Übersicht über die Handlungsfelder und die Potenzialanalysen _____ 11

Kurzzusammenfassung

Wenn Politik Unternehmen bei der Umsetzung von Ressourceneffizienz unterstützen will, muss sie wissen, an welchen Punkten sie am wirkungsvollsten ansetzen kann. Dazu ist es notwendig zu wissen, wo die größten Potenziale schlummern.

Anders als im Bereich Energieeffizienz gab es nur wenige fundierten Daten zu den Ressourceneffizienzpotenzialen als das MaRes-Projekt gestartet wurde. Daher sollte das MaRes-Projekt den ersten wichtigen Schritt gehen, diese Lücke zu schließen.

In einem breit angelegten mehrstufigen Expertenprozess wurden die für die Steigerung der Ressourceneffizienz interessantesten Technologien, Produkte und Strategien identifiziert. Anschließend wurden über Potenzialanalysen für diese Technologien, Produkte und Strategien die Potenziale konkretisiert. Die Potenzialanalysen wurden im Rahmen eines in ein Expertennetzwerk eingebundenen Diplomandenprogramms und eines expertengestützten Analyseprozesses erarbeitet. Insgesamt wurden zu rund 20 relevanten Themen („Top20-Themen“), für die ein hohes Ressourceneffizienzpotenzial zu erwarten ist, Potenzialanalysen durchgeführt. Die Ergebnisse der einzelnen Potenzialanalysen wurden nach ihrer Fertigstellung in einer Querauswertung in einem intensiven Diskursprozess analysiert und daraus themenspezifische sowie übergreifende Handlungsempfehlungen abgeleitet (s. Tab. 1).

Tab. 1: Zentrale Handlungsfelder mit Potenzialen zur Steigerung der Ressourceneffizienz

Zentrale Handlungsfelder mit Potenzialen zur Steigerung der Ressourceneffizienz
<p>Technologien Querschnittstechnologien und "Enabling-Technologien": Türöffner für ressourceneffiziente Anwendungen Regenerative Energien ermöglichen erhebliche Ressourceneinsparungen Der Wachstumsmarkt Informations- und Kommunikationstechnologie (IuK) benötigt ein sorgfältiges Ressourcenmanagement</p>
<p>Produktebene Lebensmittel – Betrachtung von Produktion und Konsum notwendig Verkehr – Infrastruktur birgt mehr Effizienzpotenzial als Antriebssysteme</p>
<p>Strategien Produktentwicklung an Ressourceneffizienz ausrichten Geschäftsmodelle an Ressourceneffizienz orientieren: Produkt Service Systeme (PSS) erfordern Umdenken</p>

Quelle: Eigene Darstellung

Vorwort und Danksagung

Die Inhalte des vorliegenden Papiers sind in einer intensiven Zusammenarbeit einer Vielzahl von unterschiedlichen Personen entstanden:

Wir zeichnen als Arbeitspaketleitung verantwortlich für die konzeptionelle und koordinierende Arbeit sowie die übergreifenden Auswertungen. Zusammen mit den anderen Partnern des Arbeitspakets 1 (AP1) im MaRess-Projekt haben wir ein breit angelegtes und expertengestütztes Diplomandenprogramm umgesetzt. Die Ergebnisse der Arbeiten im Rahmen der Potenzialanalysen sind in die Ergebnisse von AP1 eingeflossen. Bei der Betreuung der studentischen Arbeiten unterstützten bei einigen Themen auch weitere Hochschulen.

Unser Dank geht an alle Projektpartner, die weiteren Betreuenden und alle Studierenden, welche die Vielzahl der unterschiedlichen Themen mit großem Engagement bearbeitet und begleitet haben. An dieser Stelle seien insbesondere auch die vielen inhaltlichen Diskussionen und Gespräche im Rahmen der verschiedenen Analyse-, Bewertungs-, Auswertungs- und Diplomanden-Workshops genannt.

Beim ifu (Institut für Umweltinformatik Hamburg) und bei Prof. Mario Schmidt (Fachhochschule Pforzheim) bedanken wir uns ganz herzlich für die Kooperation mit der Stoffstromanalyse-Software Umberto. Entsprechende Lizenzen wurden den Studierenden für die Bearbeitung der Potenzialanalysen kostenfrei zur Verfügung gestellt und die Betreuenden wurden im Rahmen einer Qualifizierung eingewiesen.

Wir bedanken uns auch bei allen Personen und Institutionen, die an der Umfrage im Frühjahr / Sommer 2008 teilgenommen bzw. uns dabei unterstützt haben. Hierdurch konnten viele neue Ideen und Aspekte in der frühen Bearbeitungsphase der Analyse des Untersuchungsfeldes und im Auswahlprozess für die „Top20-Themen“ berücksichtigt werden.

Unser Dank gilt ganz besonders auch den Teilnehmenden an den beiden Experten-Workshops, die die Themenauswahl und erarbeiteten Inhalte im Vorfeld der Workshops umfangreich kommentiert und in den Workshops intensiv mit uns diskutiert haben. Sie gaben wichtige Anregungen und Impulse, die in die Projektergebnisse insgesamt und diese Veröffentlichung eingeflossen sind.

Zudem bedanken wir uns für die gemeinsame Bearbeitung und Co-Leitung des AP1 bei Dr. Claus Lang-Koetz bis zum Oktober 2009 und Dr. Daniel Heubach bis zum Juli 2010.

Nicht zuletzt möchten wir uns ganz herzlich für die wertvollen und hilfreichen Kommentare und Anregungen von Dr. Kora Kristof (Gesamtprojektleitung, Wuppertal Institut) sowie von Felix Müller und Kristine Koch (Fachbegleitung Umweltbundesamt) bedanken.

Holger Rohn und Nico Pastewski

1 Einleitung

Die Steigerung der Ressourceneffizienz wird in der nationalen und internationalen Politik zunehmend zum Top-Thema. Vor diesem Hintergrund beauftragten das Bundesumweltministerium und das Umweltbundesamt 31 Projektpartner unter Leitung des Wuppertal Instituts mit dem Forschungsprojekt „Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRes, vgl. <http://ressourcen.wupperinst.org>). Ziel des Projektes sind substantielle Wissensfortschritte zu wesentlichen Kernfragen der Ressourcenschonung, insbesondere zur Steigerung der Ressourceneffizienz, wobei eine materialbezogene Betrachtung im Mittelpunkt steht.

Das vorliegende Papier fasst die Ergebnisse des Arbeitspaketes 1 (AP1) zu den Potenzialanalysen identifizierter Technologien, Produkte und Strategien zusammen. Es baut im Wesentlichen auf dem Ressourceneffizienz Paper 1.2 (Rohn et al. 2009) und dem Ressourceneffizienz Paper 1.4 (Rohn et al. 2010a) auf. Die nachfolgend dargestellten Ergebnisse wurden im Rahmen des in ein Expertennetzwerk eingebundenen Diplomandenprogramms und eines expertengestützten Analyseprozesses erarbeitet. Insgesamt wurden zu rund 20 relevanten Themen („Top20-Themen“), für die ein hohes Ressourceneffizienzpotenzial zu erwarten ist, Potenzialanalysen durchgeführt. Die Ergebnisse der einzelnen Potenzialanalysen wurden nach ihrer Fertigstellung in einer Querauswertung in einem intensiven Diskursprozess analysiert und daraus themenspezifische sowie übergreifende Handlungsempfehlungen abgeleitet. In Ergänzung dazu beinhaltet das Ressourceneffizienz Paper 1.5 (Rohn et al. 2010b) die jeweils etwa 10-seitigen Ergebniszusammenfassungen der Potenzialanalysen.

Übergreifend werden die erarbeiteten Ergebnisse in einem Abschlussbericht dokumentiert, dessen zentrale Ergebnisse in einem Buch veröffentlicht werden sollen. Außerdem fließen die Ergebnisse des AP1 in weitere Arbeitspakete des MaRes-Projektes und das Netzwerk Ressourceneffizienz ein.

2 Methodik der Potenzialanalysen

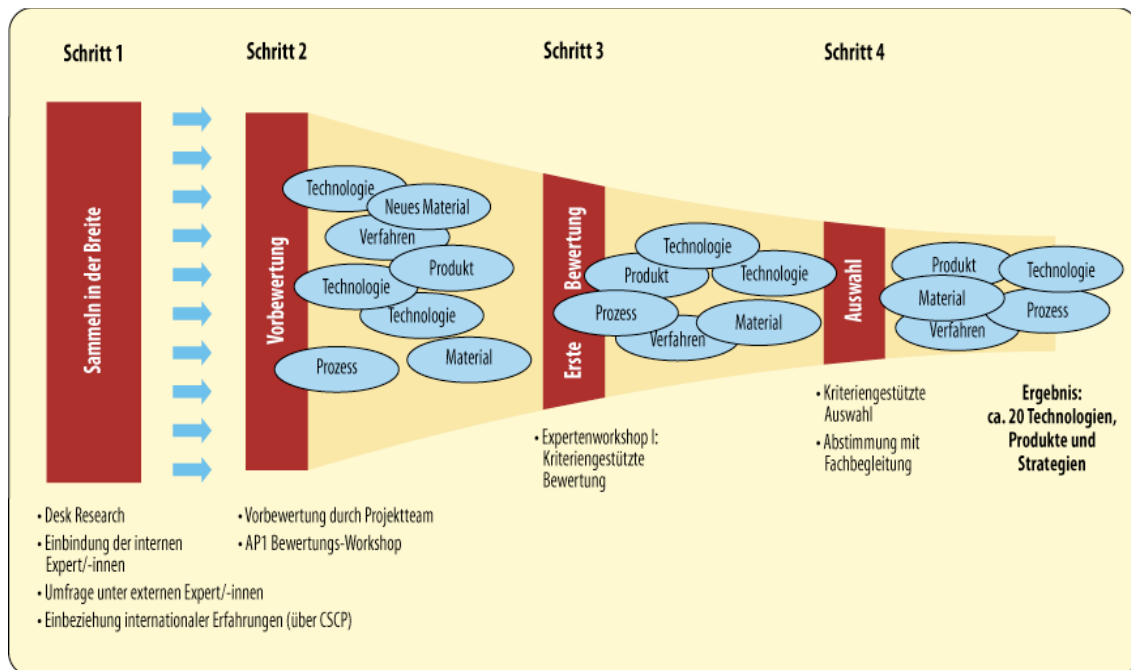
2.1 Themenauswahl

Ziel der Themenauswahl war es, Technologien, Produkte und Strategien zu identifizieren, die in Deutschland ein hohes Ressourceneffizienzpotenzial erwarten lassen. Hierzu wurde eine komplexe expertengestützte Bewertungs- und Auswahlmethodik entwickelt, welche vier Schritte umfasste (Abb. 1). Für eine Erläuterung der gesamten Vorgehensweise siehe Rohn et al. 2009.

Im ersten Schritt wurden die via Desk Research und in einer Umfrage identifizierten Themen strukturiert und in einer Themenliste mit ca. 1.000 Vorschlägen zusammengestellt. Die Umfrage wurde auf der Basis der Rechercheergebnisse mit dem Ziel durchgeführt, die Themenliste expertengestützt zu erweitern. Adressaten des Fragebogens waren v. a. Expert/-innen aus Forschungseinrichtungen, Verbänden, themenbezogene

Initiativen und Netzwerke (z.B. PIUS-Netzwerk, Umweltallianzen) und Unternehmen. Insgesamt wurden etwa auf diesen Wegen ca. 15.000 Personen angesprochen.

Abb. 1: Kriteriengestützte Auswahl von Technologien, Produkten und Strategien mit hohem Ressourceneffizienzpotenzial



Quelle: Rohn / Lang-Koetz / Pastewski / Lettenmeier 2009

Im zweiten Schritt wurde die Themenliste weiter aufbereitet und vorbewertet. Ziel war es, die ca. 1.000 Vorschläge nach den drei Kriterien Ressourceneinsatz, Ressourceneffizienzpotenzial und wirtschaftliche Bedeutung zu bewerten und die Themenliste darüber auf ca. 250 Nennungen („Top250-Themen“) zu fokussieren.

Im dritten Schritt erfolgte eine kriteriengestützte schriftliche Expertenbewertung mit dem Ziel einer priorisierten Themenliste. Die Bewertung erfolgte anhand der in Tab. 2 vorgestellten sieben Kriterien. Die Kriterien rund um die Ressourceneffizienz wurden ergänzt durch Kriterien, die für die Umsetzung wichtig sind. Im Rahmen des „Experten-Workshops I“ mit projektinternen und externen Experten konnte eine überarbeitete Themenliste mit ca. 50 Vorschlägen („Top50-Themen“) abgeleitet werden.

Auf dieser Basis wurde im vierten Schritt in Abstimmung mit der Fachbegleitung im Umweltbundesamt die abschließende Auswahl der „Top20-Themen“ getroffen, die im weiteren Verlauf in detaillierten Potenzialanalysen bearbeitet wurden. In die Auswahl der „Top20-Themen“ flossen damit alle Ergebnisse der bisherigen Arbeitsschritte (vgl. Abb. 1) mit ein. Details zu den „Top20-Themen“ finden sich in Rohn et al. 2009.

Tab. 2: Bewertungskriterien zur Beurteilung der Technologien, Produkte und Strategien

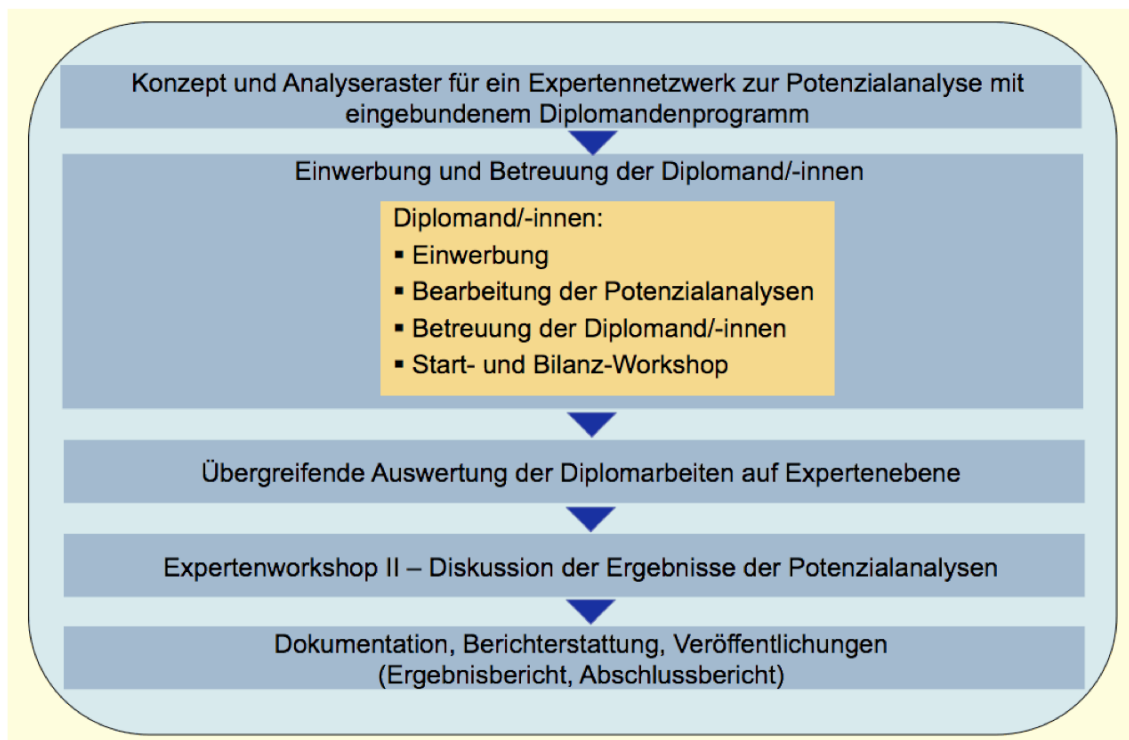
Kriterium zur Beurteilung der Technologien, Produkte, Strategien
Relevanz bzgl. Ressourceneinsatz insgesamt (Mengenrelevanz)
Ressourceneffizienzpotenzial der spezifischen Anwendung
Sonstige Umweltauswirkungen
Realisierbarkeit
Wirtschaftliche Bedeutung
Kommunizierbarkeit
Übertragbarkeit

Quelle: Eigene Darstellung (Details s. Rohn et al. 2009)

2.2 Bearbeitung und Auswertung der Potenzialanalysen

Die Durchführung der Potenzialanalysen erfolgte im Rahmen des in ein Expertennetzwerk eingebundenen Diplomandenprogramms und wurde nach definierten einheitlichen Vorgaben durchgeführt (vgl. Rohn et al. 2010a). Das grobe Vorgehen hierbei ist in Abb. 2 dargestellt. Von den „Top20-Themen“ wurden diejenigen bearbeitet, für die im vorgegebenen Zeitrahmen qualifizierte Interessanten gefunden werden könnten.

Abb. 2: Übersicht zur Vorgehensweise der Potenzialanalyse



Quelle: Eigene Darstellung

Zu Beginn der Bearbeitung wurde das zu untersuchende Themenfeld analysiert und relevante Anwendungsfelder identifiziert. Anhand mindestens eines konkreten Fallbeispiels erfolgte anschließend die Ermittlung des potenziellen Ressourcenverbrauchs für das Untersuchungsgebiet. Hierzu wurde für einen Ist-Zustand und eine möglicherweise ressourceneffizientere Variante jeweils der Ressourcenverbrauch in den relevanten Lebenszyklusphasen erfasst und verglichen.

Als Methodik für die Quantifizierung der Ressourceneffizienzpotenziale in den Potenzialanalysen wurde das Konzept „Material-Input Pro Serviceeinheit“ (MIPS, vgl. Schmidt-Bleek 1994 und Schmidt-Bleek et al. 1998) angewandt. Für die untersuchten Potenzialanalysen liegen somit überwiegend – je nach Datenverfügbarkeit – Ergebnisse als lebenszyklusweiter Ressourcenverbrauch in bis zu fünf Ressourcenkategorien (abiotisches und biotisches Material, Bodenbewegungen, Luft und Wasser, vgl. Ritthoff et al. 2002 und Lettenmeier et al. 2009) sowie jeweils konkrete Potenziale zur Ressourceneffizienzsteigerung vor.

Wenn möglich erfolgte in den Potenzialanalysen eine Hochskalierung auf eine volkswirtschaftliche Ebene, um abschließend das absolute Ressourceneinsparpotenzial für Deutschland berechnen zu können. Auch weitere Umweltauswirkungen wie etwa die Treibhausgasemissionen (CO₂-Äquivalente) wurden in einzelnen Arbeiten erfasst.

Neben der Bewertung anhand der quantitativen Ergebnisse wurde auch eine qualitative Bewertung durchgeführt, um unter anderem mögliche Rebound-Effekte und Hemmnisse einer Verbreitung der Anwendung zu erfassen. Um eine einheitliche und umfassende Bewertung zu gewährleisten, erfolgt die Ergebnisdarstellung nach den erwähnten Kriterien (vgl. Tab. 2). Es handelt sich dabei um qualitative Bewertungen, die – soweit benennbar – auf seriösen Veröffentlichungen, Statistiken bzw. Expertenmeinungen basieren.

Über die intensive individuelle Betreuung hinaus wurden im Rahmen der vier Diplomanden-Workshops die jeweiligen Zwischenstände nach einheitlichen Vorgaben dokumentiert, vorgestellt, kritisch diskutiert, zwischenbewertet sowie ggf. Verbesserungsmaßnahmen eingeleitet. Direkt nach der Fertigstellung der durch die Studierenden angefertigten Potenzialanalysen wurde die Arbeit durch die Betreuenden vorbewertet. Außerdem wurde ein interner Auswertungsworkshop durchgeführt, um die vorbewerteten Potenzialanalysen der AP1-Partner übergreifend entlang der sieben Kriterien (vgl. Tab. 2) und der Vorgaben zur Potenzialanalyse im Analyseraster auszuwerten. Für jede Arbeit erfolgte eine Ergebnisdiskussion, aus der spezifische und übergreifende Handlungsempfehlungen abgeleitet wurden. Zur weiteren Validierung der Ergebnisse der Potenzialanalysen und der übergreifenden Schlussfolgerungen wurde am 01.07.2010 der „Experten-Workshop II“ durchgeführt. Hierzu wurden neben den AP1-Beteiligten auch weitere externe Experten/-innen eingebunden.

2.3 Lessons Learned

Die Auswahl wesentlicher Themenfelder zur Steigerung der Ressourceneffizienz in Form von Technologien, Produkten und Strategien ist ein außerordentlich komplexes

Vorhaben. Dies zeigte sich in allen Arbeitsschritten von der detaillierten Entwicklung der Vorgehensweise bis hin zur Umsetzung in den einzelnen Arbeitsschritten. Ein wesentlicher Grund hierfür ist die Breite des Untersuchungsrahmens, der im Vorfeld nicht auf bestimmte Produkte, Branchen, Bedürfnisfelder o. ä. eingeschränkt wurde. Zudem sind in der Regel quantitative Abschätzungen zu Ressourceneinsätzen und Ressourceneffizienzpotenzialen nicht vorhanden bzw. schwer zu ermitteln, weshalb u.a. eine qualitative Expertenbewertung durchgeführt wurde.

Die entwickelte Vorgehensweise und die Methoden zur Identifikation der ausgewählten Themenfelder und „Top20-Themen“ haben sich jedoch insgesamt als zielführend und effizient erwiesen und konnten durch die gezielte Expertenbeteiligung in den jeweiligen Arbeitsschritten validiert werden.

Durch die umfangreiche Recherchearbeit konnten wesentliche Themenbereiche und Einzelthemen identifiziert werden. In dem beschriebenen, breit angelegten mehrstufigen Expertenprozess konnten die für die Steigerung der Ressourceneffizienz interessantesten Technologien, Produkte und Strategien identifiziert werden. Daraus wurden rund 20 relevante Themen („Top20-Themen“), für die ein hohes Ressourceneffizienzpotenzial zu erwarten ist, ausgewählt. Aufgrund der Rücklaufquote der ergänzend durchgeführten Umfrage und der naturgemäß begrenzten Teilnehmerzahl der Expertenworkshops ist bei der Auswahl relevanter Themen eine gewisse Über- bzw. Unterrepräsentation einzelner Themenbereiche möglich. Dieser Herausforderung wurde mit der Einbindung von Experten/-innen unterschiedlichen bzw. breiten Fachhintergrunds begegnet. In den „Top250-Themen“ finden sich noch weitere relevante Themenstellungen, die in Zukunft analysiert und bewertet werden sollten. Die „Top20-Themen“ stellen somit eine unter den zeitlichen, finanziellen und organisatorischen Rahmenbedingungen des Arbeitspaketes gemeinsam mit der Fachbegleitung des Umweltbundesamtes getroffene Auswahl dar.

Die Herausforderung bei der Bearbeitung der Potenzialanalysen lag unter anderem darin, die Vielfalt unterschiedlicher Themenstellungen einer einheitlichen Bewertung zu unterziehen. Hierbei erwies sich das beschriebene Vorgehen mit dem intensiven Austausch zwischen den Beteiligten insgesamt als geeignet. Gleichzeitig erhöhte allerdings die Anzahl an Beteiligten den Koordinierungsaufwand und führte streckenweise zu Zeitverzögerungen. Auch der Prozess des Anwerbens qualifizierter Interessenten für die Potenzialanalysen im Diplomandenprogramm gestaltete sich in manchen Fällen schwierig, da bspw. die ausgeschriebenen Themen nicht immer nah an den Lehrplänen der Fachgebiete in den beteiligten Hochschulen lagen. Daher konnten nicht alle Themen besetzt werden (z.B. Mikroreaktortechnik, Textilien). Außerdem konnten wie im Vorfeld erwartet einige der ausgewählten Themen aufgrund der nicht ausreichenden Qualität bzw. Abbruch der Arbeit durch die beteiligten Diplomanden nicht in die abschließende Ergebnisdarstellung einfließen (Nanotechnologie, Algen, Querschnittstechnologie). Hilfreich zeigte sich die Erarbeitung und der Einsatz von einzelnen vereinheitlichenden Vorgaben, wie dem Analyseraster und speziellen Templates für die Ausarbeitung der Potenzialanalysen.

Mittels der MIPS-Methode gelang es, für den überwiegenden Teil der untersuchten Themen nachvollziehbare Ergebnisse als lebenszyklusweiten Ressourcenverbrauch zu ermitteln und damit eine quantitative Datenbasis zu schaffen, die wiederum in vielen Fällen die Benennung möglicher zielführender Handlungsoptionen erlaubte. Ein grundlegendes Problem quantitativer Analysen stellt die Verfügbarkeit und Validität der Datenbasis und der Indikatoren dar. Mit MIPS wurde ein Indikator gewählt, mit dem Lebenszyklusbetrachtungen unter vertretbarem Aufwand durchgeführt werden können. Wie auch bei anderen Indikatoren bzw. Methoden gab es in Bezug auf die Datenbasis in vielen Analysen die bekannte Problematik einer Reihe nicht vorhandener oder auch nicht mit vertretbarem Aufwand analysierbarer Vorketten von einzelnen Materialien und Vorprodukten. Diese Problematik kann und muss auf übergeordneter Ebene (z.B. in internationalen Gremien zur Ökobilanzierung und bei der Software-Entwicklung) geklärt werden, z. B. durch die verbesserte Integration des lebenszyklusweiten Ressourcenverbrauchs in die Weiterentwicklung und Aktualisierung von Datenbanken. Über die quantitative Analyse und Bewertung hinaus konnten durch die Anwendung von qualitativen Kriterien (vgl. Tab. 2) die Ergebnisse in einen erweiterten Betrachtungsrahmen gesetzt werden und weitere kritische Aspekte aufgezeigt werden. Es zeigte sich in bestimmten Fällen eine gute Übereinstimmung verschiedener Indikatoren. Beispielsweise korrelierten bei der Potenzialanalyse zum Server-based Computing die externen Kosten mit den MIPS-Werten.

Entlang dieses Bewertungsprozesses stellte die zu jeder Zeit enge Betreuung durch die Universitäten, die AP1-Leitung sowie externe Experten/-innen die Qualität der erarbeiteten Ergebnisse sicher. Das Vorgehen erwies sich über den Gesamtprozess der Untersuchung als zielführend. Auf Basis der erworbenen Erfahrungen gilt es die Methodik weiter auszubauen und vor dem Hintergrund neuer Erkenntnisse zu reflektieren.

3 Ergebnisse und Handlungsempfehlungen

Im Folgenden sind die Kernergebnisse der durchgeführten Potenzialanalysen in einer Ergebnisübersicht und darauf aufbauend in sieben Handlungsfelder zusammengefasst dargestellt. Eine vertiefende Darstellung der Ergebnisse befindet sich in den Ressourceneffizienz Papern 1.4 und 1.5 (Rohn et al. 2010a und 2010b).

3.1 Ergebnisübersicht

Aus der Liste der „Top20-Themen“ wurden im Zuge der kriteriengestützten Querauswertung sieben Handlungsfelder herausgearbeitet, in denen die zentralen Ergebnisse und Handlungsempfehlungen der einzelnen Potenzialanalysen zusammenfließen. Diese Handlungsfelder fassen jeweils mehrere miteinander in engerem Zusammenhang stehende Themen aus den Potenzialanalysen zusammen. Die Zuordnung der Themen zu den Handlungsfeldern ist nicht an jeder Stelle trennscharf möglich und es bestehen vielschichtige Wechselwirkungen zwischen den Handlungsfeldern. Tab. 3 gibt einen Überblick über die Handlungsfelder und Potenzialanalysen.

Tab. 3: Übersicht über die Handlungsfelder und die Potenzialanalysen

Handlungsfelder und zugeordnete Potenzialanalysen
<p>Querschnittstechnologien und "Enabling-Technologien": Türöffner für ressourceneffiziente Anwendungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ermittlung von Ressourceneffizienzpotenzialen im Bereich der Abwasserfiltration durch Membrantechnologie • Ressourceneffiziente Energiespeicherung: Vergleich von direkter und indirekter Speicherung für elektrifizierte PKWs • Ressourceneffizienzpotenziale bei der Energiespeicherung - ressourceneffiziente Wärmespeicher • Ressourceneffizienzpotenziale von Dämmstoffsystemen
<p>Regenerative Energien ermöglichen erhebliche Ressourceneinsparungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ressourceneffizienzpotenziale durch Windenergie und Biomasse • Ressourceneffiziente großtechnische Energieerzeugung: Potenziale von Desertec-Strom • Ressourceneffiziente Energieerzeugung durch Photovoltaik
<p>Der Wachstumsmarkt Informations- und Kommunikationstechnologie (IuK) benötigt ein sorgfältiges Ressourcenmanagement</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ressourceneffizienzkriterien im Design • Green IT: Ressourceneffizienzpotenziale von Server Based Computing • Green IT: Ressourceneffizienzsteigerung bei IKT – Displayarten im Vergleich • Ressourceneffizienzpotenziale beim Recycling von kleinen Elektro- und Elektronikgeräten durch Rückgewinnung aus dem Hausmüll mit Hilfe einer RFID-Kennzeichnung der Primärprodukte
<p>Lebensmittel – Betrachtung von Produktion und Konsum notwendig</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ressourceneffizienzpotenziale in der Lebensmittelproduktion - Beispiel Fisch • Ressourceneffizienzpotenziale in der Lebensmittelproduktion - Beispiel Obst • Ressourceneffizienzpotenziale in der Lebensmittelproduktion - Beispiel Gemüse • Ressourceneffizienzpotenziale der intelligenten Landtechnik am Beispiel des Einsatzes von Stickstoffsensoren in der Düngung
<p>Verkehr – Infrastruktur birgt mehr Effizienzpotenzial als Antriebssysteme</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ermittlung von Ressourceneinsparpotenzialen im Güterverkehr • Ressourceneffizienz durch Elektrofahrzeuge
<p>Produktentwicklung an Ressourceneffizienz ausrichten</p> <ul style="list-style-type: none"> • Beachtung von Ressourceneffizienzkriterien im Produktentwicklungsprozess • Ressourceneffizienzpotenziale durch Umsetzung des Leichtbaus unter Nutzung neuartiger Werkstoffe • Ressourceneffizienzpotenziale höher- und höchstfester Stähle
<p>Geschäftsmodelle an Ressourceneffizienz orientieren: Produkt Service Systeme (PSS) erfordern Umdenken</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ressourceneffizienzpotenziale durch „Nutzen statt Besitzen“ bei Montageanlagen • Ressourceneffizienzpotenziale durch Production on demand

Quelle: Eigene Darstellung

3.2 Querschnitts- und „Enabling-Technologien“: Türöffner für ressourceneffiziente Anwendungen

Querschnittstechnologien bieten durch die Vielfalt ihrer Anwendungsmöglichkeiten in unterschiedlichen Branchen teilweise sehr hohe Ressourceneffizienzpotenziale. Zudem können in vielen Systemen Ressourceneffizienzpotenziale insbesondere oder nur mit Unterstützung von einzelnen Hilfstechologien ausgeschöpft werden, die als „Enabling-Technologien“ bezeichnet werden können. So sind etwa bei regenerativen Energien (s. Kapitel 3.3) geeignete Speichermedien häufig Voraussetzung, um eine

bedarfsgerechte Energiebereitstellung zu sichern. Auch wenn die einzelne Anwendung der Technologie selbst z. T. nur geringe Einsparpotenziale birgt, so sind die Möglichkeiten zur Ressourcenschonung durch die Vielzahl möglicher Anwendungen besonders groß.

Ergebnisse: Der Einsatz der Membrantechnologie wurde hier für kommunale Kläranlagen mit einer bestimmten Anlagengröße hinsichtlich des Ressourceneffizienzpotenzials analysiert. Für die knapp 1.000 Anlagen diesen Typs in Deutschland wurde das Potenzial insbesondere für Neuanlagen, aber auch für Nachrüstungen als beachtlich eingeschätzt, zumal es in Deutschland ca. 9.000 weitere Anlagen anderer Typs, bei denen zusätzliche Ressourceneffizienzpotenziale zu erwarten sind. Zusätzlich lassen sich noch eine Reihe anderer relevanter Anwendungsfelder finden, etwa im Bereich der Trinkwasseraufbereitung (z. B. Entsalzung und Enthärtung), Lebensmitteltechnik oder Prozesswasseraufbereitung im Sinne des produktionsintegrierten Umweltschutzes. Die Membrantechnik bietet auch für den Export große Chancen, da moderne Technologien zur Wasser-/Abwasseraufbereitung gerade in den Ländern mit hohem Wirtschaftswachstum wie China oder Indien sowie in Regionen mit stark begrenzten Trinkwasservorräten (z. B. Afrika) von großem Interesse sind.

Damit zentrale Entwicklungen wie regenerative Energien besser großflächig eingesetzt und Ressourceneffizienzpotenziale besser umgesetzt werden können, ist die breite Verfügbarkeit von ressourceneffizienzsteigernden „Enabling-Technologien“ wesentlich. Dieses lässt sich aber erst bei einer Betrachtung des gesamten Lebenszyklus darstellen, wie anhand der Gegenüberstellung von Elektroautos und Brennstoffzellentechnologie deutlich wurde. Hier ist zwar das „Energiespeichersystem“ im Brennstoffzellenauto in der Herstellung deutlich ressourceneffizienter als das im „klassischen“ Elektroauto, doch wird dies in der Nutzungsphase mehr als kompensiert (bedingt durch die äußerst energieintensive Herstellung von Wasserstoff durch Elektrolyse). Im Vergleich zu herkömmlichen Antriebssystemen (z. B. Dieselaautos) sind die Effizienzpotenziale des Elektroautos jedoch erst durch eine veränderte Zusammensetzung des Strommixes (hoher Anteil regenerativer Energien) realisierbar.

Oft können auch kleine Unterschiede zwischen möglichen Alternativen eine große Wirkung erzielen. Bei den untersuchten Dämmstoffen aus EPS-Hartschaum beispielsweise konnte durch eine kleine Veränderung bei der Zusammensetzung des Dämmstoffes (durch das Additiv Graphit) eine Ressourceneinsparung von ca. einem Drittel erzielt werden. Auch zwischen verschiedenen Wärmespeichertypen konnten deutliche Unterschiede im Ressourcenverbrauch festgestellt werden.

Handlungsempfehlungen: Bei der Untersuchung der Membrantechnologie zeigt sich, dass die ermittelten Ressourceneffizienzpotenziale im Bereich der Abwasseraufbereitung gut übertragbar sind. Hier und auch in anderen Branchen könnte die Technologie prinzipiell eine breitere Anwendung erfahren. Hierfür müssen Hemmnisse wie die Scheu vor neuen Lösungen abgebaut werden, da die passende Technologie für viele Anwendungen bereits vorhanden ist.

Die derzeit ressourceneffizienteste temporäre Stromspeicherung erfolgt durch Aufladen von Akkus. Lithium-Ionen-Zellen als marktfähiges Produkt zeichnen sich zwar durch eine im Vergleich zu anderen Akku-Typen höhere Energiedichte und geringe Verluste aus, weisen aber Nachteile wie lange Ladezeiten, Überhitzung und kontinuierlichen Kapazitätsverlust auf. Zudem ist das geologische Potenzial von Lithium nach derzeitigem Stand begrenzt, auf wenige Förderländer mit Schwerpunkt Südamerika beschränkt und einer konkurrierenden Nutzung (Medizin, Pharmazie u. a.) unterworfen. Das hochwertige Recycling von Li-Ionen-Akkus muss daher zukünftig neben der Effizienzsteigerung der Akkus eine wesentliche Rolle bei der Ressourcennutzung einnehmen. Um dies zu erreichen, müssen Forschung und Entwicklung in diesen Bereichen gefördert und die recyclinggerechte Produktverantwortung der Hersteller und Vertrieber von Li-Ionen-Akkus rechtlich bindend werden. Um Fahrzeuge rein elektrisch auf langen Strecken anzutreiben, sind bis dato unverhältnismäßig große und schwere Akkus notwendig. Neben der Förderung von Forschung und Entwicklung für Stromspeichertechnologien, die diese Nachteile überwinden, müssen alternative Konzepte der direkten Stromspeicherung wie z. B. die NaNiCl₂-(Zebra)-Akkus, Redux-Flow-Batterien und alternative Netzlösungen wie Smart Grids weiter erforscht und zur Marktreife entwickelt werden. Hier gilt es generell neben dem Klimaschutz auch die Perspektive der Ressourceneffizienz stärker in das Bewusstsein zu bringen.

Wasserstoff, der als indirektes Stromspeichermedium in Elektrofahrzeugen mit Brennstoffzellenantrieb genutzt wird, kann derzeit nur mit hohen energetischen Verlusten in der Elektrolyse produziert werden. Dennoch bietet Wasserstoff als mobiler Energieträger gegenüber dem temporären Speicher hinsichtlich der Reichweite und der Einsatzgebiete im Verkehrssektor (öffentlicher Nahverkehr, Gütertransport, u. a.) deutliche Vorteile. Die Optimierung der Brennstoffzellentechnologie und der Wasserstoffproduktion ist auch auf Basis dieser Untersuchung weiter zu verfolgen und Forschung, Entwicklung sowie Markteinführung der Technologien in den für die Wasserstoffnutzung relevanten, effizienten Einsatzbereichen zu fördern.

Da alle betrachteten Wärmespeicher-Alternativen potenziell ressourcensparend sind, ist eine weitergehende Verbreitung und damit einhergehende Förderung sinnvoll. Bei Paraffin-Latentwärmespeichern ist vertiefend zu analysieren, inwiefern das Paraffin in großen Mengen synthetisch herstellbar ist, da es bisher nur als Nebenprodukt der Rohölbearbeitung anfällt. Zusätzlich zu den betrachteten Varianten sollten die weiteren Arten von Latentwärmespeichern und Sorptionsspeichern mit ihren verschiedenen Speichermedien und Anwendungsmöglichkeiten betrachtet und weiter entwickelt werden. Generell sollte die Übertragbarkeit der Technologie stärker geprüft werden. Wärmespeicher sind schließlich nicht nur für den Gebäudebereich relevant, sondern auch etwa für den Transport von Wärme und Kälte oder die Abwärmenutzung in industriellen Prozessen.

Durch die im Bestand erzielbaren Energieeinsparungen durch Wärmedämmmaßnahmen ergibt sich für die nächsten Jahrzehnte ein hoher Sanierungsbedarf und damit verbunden ein nicht unerheblicher Einsatz von Ressourcen, der je nach verwendetem Dämmstoffmaterial und Verbundsystem mit Einsparpotenzialen einhergehen kann. Um

den Ressourcenbedarf weiterer Dämmstoffvarianten bzw. -systeme (z. B. auch basierend auf nachwachsenden Rohstoffen) vergleichen zu können, sollten entsprechende weitere Untersuchungen durchgeführt werden.

In seiner Gesamtheit ist das Ressourcenschonungspotenzial bei Querschnittstechnologien schwer auf Basis der untersuchten Fallbeispiele abschätzbar, weil die Vielzahl unterschiedlicher Anwendungsbereiche spezifisch berechnet werden muss.

Da mittels „Enabling-Technologien“ ressourceneffiziente Gesamtlösungen in ressourcenintensiven Bedarfsfeldern unterstützt werden können, sollten deren Potenziale umfassend genutzt werden. Hierbei sind noch viel mehr Einsatzgebiete in ihrer Breite sowie ihren Beschränkungen zu analysieren. Da – wie bei der Analyse der Dämmstoffe festgestellt – auch kleine Veränderungen von „Enabling-Technologien“ eine große Wirkung erzielen können, sind weitere Forschungsvorhaben sinnvoll, die derartige Potenziale systematisch aufzeigen können.

3.3 Regenerative Energien ermöglichen erhebliche Ressourceneinsparungen

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der durchgeführten Potenzialanalysen im Bereich „regenerative Energien“ dargestellt.

Ergebnisse: Auf der Basis des Strommix 2008 bieten alle untersuchten regenerativen Energien zur Stromerzeugung wie Windenergie (offshore & onshore), Biomasse, Photovoltaik und Solarthermie (Desertec-Konzept) Ansätze für eine Steigerung der Ressourceneffizienz. Der spezifische Ressourceneinsatz ist bei allen untersuchten Varianten vergleichsweise gering und liegt in Hinblick auf die abiotischen Materialien und Wasser bei einem Bruchteil der Aufwendungen für Kohlekraft bzw. des Strommix 2008. Beim Verbrauch biotischer Materialien und Luft schneidet nur die Biomasse in Form von nachwachsenden Rohstoffen im Vergleich zum Strommix 2008 schlechter ab.

Der spezifische Ressourceneinsatz wird mitbestimmt durch den Aufbau einer geeigneten Infrastruktur. Dies sind bei Offshore-Windanlagen in allen untersuchten Ressourcenkategorien überwiegend die Netzanbindung an das Festland sowie der Ressourcenverbrauch für die Herstellung der Anlagen (Kopfmasse, Turm und Fundament). Bei anderen Formen regenerativer Energien (Onshore-Windpark und Biomasse) ist die Kapazität durch einen Mangel an Fläche begrenzt bzw. teilweise ausgeschöpft oder steht in hoher Konkurrenz zu anderen Nutzungen wie z. B. der landwirtschaftlichen Nutzung oder im Konflikt mit dem Naturschutz. Hier ist das Repowering bestehender Anlagen die zentrale Option.

Bei der untersuchten Biogasanlage zeigte sich, dass insbesondere die Art der verwendeten Substrate, der Düngereinsatz sowie die Transportdistanz der Substrate einen relevanten Einfluss auf den gesamten Ressourcenverbrauch der Anlage haben. Auch die Größe der Anlage und vor allem die Möglichkeiten zur Nutzung der Abwärme der Stromproduktion (z. B. durch Nahwärmenetze) sind von Bedeutung.

Das Desertec-Konzept stellt ein herausgehobenes Projekt für die Entwicklung einer global anwendbaren Lösung zum großflächigen Einsatz von solarthermischen Kraftwerken dar. Nach den vorliegenden Ergebnissen besitzt die Technologieoption Solarturm im Vergleich zu Parabolrinnen und Fresnelkollektoren innerhalb der solarthermischen Kraftwerke die höchste Ressourceneffizienz.

Durch den Aufbau neuer Windparks und Solarthermischer Kraftwerke lassen sich hohe Ressourceneffizienzpotenziale realisieren.

Die Photovoltaik bietet ein hohes Potenzial durch dezentrale Lösungen (vgl. auch die Ergebnisse aus AP9 des MaRes-Projekts, z. B. in Fichter et al. 2010). Die Analyseergebnisse zeigen ein deutliches Ressourceneinsparpotenzial bei Verwendung der Dünnschichttechnologie gegenüber multikristallinen Silizium-Dickschichtmodulen. Durch die Auswahl von geeigneten Standorten und die Auslegung der Anlagen kann das Ressourceneffizienzpotenzial in hohem Maße gesteigert werden. Die Frage der optimalen Auslegung einer Photovoltaik-Anlage entscheidet sich u. a. über die zur Verfügung stehende Fläche (Dachfläche, Fassaden, Freiland) und deren Südausrichtung.

Handlungsempfehlungen: Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse, dass ein regenerativer Energiemix ein hohes Ressourceneffizienzpotenzial besitzt. Über alle untersuchten Varianten hinweg kann ein forciertes Ausbauen der erneuerbaren Energien für die aufgezeigten Optionen prinzipiell empfohlen werden, wobei noch weitere ganzheitliche Untersuchungen zu Ressourcenaspekten notwendig sind. Eine Steigerung des Anteils der Windenergie an der Strombereitstellung in Deutschland ist allein aus Sicht des Rohstoffverbrauchs pro kWh uneingeschränkt zu empfehlen. Auch Biogasanlagen können helfen, die Ressourceneffizienz der Strombereitstellung zu steigern, dies gilt jedoch nicht pauschal für alle Biogasanlagen. Der Ressourcenverbrauch muss hier abhängig von der Art der verwendeten Substrate, dem Düngerverbrauch und dem damit zusammenhängenden Anbauverfahren, der Transportdistanz und der Art und Größe der Anlage individuell bewertet werden. Das Desertec-Konzept sollte als ressourceneffizienter Lieferant von Regelleistung unter Berücksichtigung von kritischen Faktoren wie Dezentralität, Wettbewerb, Entwicklungspolitik, Importabhängigkeit oder auch Flächenverbrauch vorangetrieben werden, wobei die technischen Optionen aufgrund der vielen technologischen Unklarheiten in Bezug auf die Umweltauswirkungen und Ressourceneffizienz begleitend zu evaluieren sind. Dadurch können auch mögliche Probleme bei einem intensiven Ausbau von besonders ressourceneffizienten Varianten einzelner Technologien berücksichtigt werden. Bei Desertec müssten etwa die Umweltfolgen der Salzgewinnung als Wärmeträger- bzw. Speichermedium bei einem flächendeckenden Einsatz zuvor untersucht werden. Bei Photovoltaikanlagen sollte die Steigerung der Ressourceneffizienz von Solarlaminaten vor allem durch eine Verlängerung der Lebensdauer sowie durch höhere Wirkungsgrade, besonders im Bereich der Dünnschichttechnologien, erreicht werden.

Der politisch und gesellschaftlich geforderte Ausbau der erneuerbaren Energien insbesondere im Bereich der Stromversorgung bedingt eine grundlegende Veränderung unserer derzeitiger Versorgungsstrukturen, die sich zunehmend von der

dominanten Zentralisierung hin zu kleinräumigeren und dezentraleren Einheiten in Kombination mit großtechnischer erneuerbarer Stromerzeugung (z. B. Offshore-Windanlagen) entwickeln wird. Durch die Unstetigkeit der Verfügbarkeit regenerativer Energien aus Sonne und Wind und den förderpolitischen Fokus auf eine lokale respektive Eigennutzung der erzeugten Energie werden direkte sowie indirekte Strom- und Wärmespeicher unabdingbar und damit einen deutlichen Einfluss nehmen auf die Ressourceneffizienz des Gesamtsystems (vgl. Kapitel 3.2). Um Ressourceneinsparungen durch den verstärkten Einsatz von regenerativen Energien zu realisieren, sind noch Forschungs- und Entwicklungsaufwendungen notwendig. Dies betrifft u. a.:

- Steigerungen des Wirkungsgrades der Anlagen und Module,
- Verbesserung der Übertragungsnetze, z. B. weniger materialintensive Leitungen und verbesserte Übertragungsraten bei der Windenergie, Smart-Grids und Smart-Metering als intelligente Schnittstelle zwischen Stromnetz und Verbrauchern,
- effiziente Speichersysteme für Strom und Wärme,
- Recycling-Möglichkeiten, z. B. für Dickschicht-Module in der Photovoltaik oder für die Aufbereitung des Wassers zur Spiegelreinigung bei Desertec-Strom,
- die Auslegung der Anlagen für eine optimale Nutzung dieser Infrastruktur.

3.4 Der Wachstumsmarkt Informations- und Kommunikationstechnologie (IuK) benötigt ein sorgfältiges Ressourcenmanagement

Dieser Abschnitt beschreibt die Ergebnisse der durchgeführten Potenzialanalysen für das Themenfeld „Informations- und Kommunikationstechnologie“.

Ergebnisse: Durch das schnelle Wachstum und die kurze Lebensdauer von Produkten auf dem Informations- und Kommunikationsmarkt, aber auch im Elektro- und Elektronikmarkt insgesamt steigt der jährliche Ressourcenverbrauch in diesem Bereich stetig. Bei serverbasierten Computern werden im Vergleich zu PCs reduzierte Endgeräte (sog. „Thin Clients“) genutzt, die durch Anbindung an zentrale Server aber über eine genauso große Leistungsfähigkeit verfügen. Ein Vergleich beider Systeme zeigt, dass die serverbasierte Variante in allen Ressourcenkategorien deutlich effizienter ist. Dies ist auch konform mit den Ergebnissen aus AP9 des MaRes-Projekts (s. Fichter et al. 2010). In der Potenzialanalyse konnte ferner aufgezeigt werden, dass die ressourceneffizienteren Varianten nach MIPS sich häufig auch im Hinblick auf den Verbrauch von strategisch interessanten Metallen wie Silber, Gold, Palladium, Tantal, Kupfer, Nickel, Chrom und Eisen als sparsamere Variante erweisen.

Das Ressourceneffizienzpotenzial von Liquid Crystal Displays (LCD) ist durch den Umstieg von Bildröhren auf LC-Displays nunmehr weitgehend ausgeschöpft. Großes Effizienzpotenzial zeigte in der Analyse eine stärkere Verbreitung von OLED-Bildschirmen (Organic Light Emitting Diode). In der Nutzungsphase kann die Ressourceneffizienz im Vergleich zu LC- und Plasma-Displays um das drei- bis sechsfache in den unterschiedlichen Materialkategorien gesteigert werden.

Bei Mobiltelefonen lassen sich Ressourcen durch entsprechendes Design einsparen. Ressourceneffizienzpotenziale lassen sich sowohl durch eine längere Nutzungsdauer als auch durch reduzierte Varianten von Mobiltelefonen realisieren. Ansätze für ein Null-Energie-Handy durch den Einsatz von Human-Energy-Harvesting-Methoden (diese nutzen den menschlichen Körper als primäre Energiequelle) sind noch im Entwicklungsstadium. Ein großes Einsparpotenzial liegt in einer Nutzung als Smartphone, sofern dieses andere Geräte bzw. deren Anschaffung / Herstellung komplett ersetzt. Ob dieses Potenzial erschlossen werden kann, hängt vom Kauf- und Nutzungsverhalten ab.

Die Entsorgung von IuK-Geräten erweist sich im Hinblick auf die Ressourceneffizienz bislang aus mehreren Gründen als problematischster Teil des Lebenszyklus. Zum einen lassen sich LC- und Plasma-Displays wirtschaftlich bislang kaum recyceln. Außerdem werden viele kleinere Elektro- und Elektronik-Altgeräte aus Bequemlichkeitsgründen über den Hausmüll entsorgt und damit häufig einer energetischen Verwertung zugeführt anstatt stofflich verwertet bzw. weiter- oder wiederverwendet zu werden. Eine Kennzeichnung mit passiven RFID-Etiketten könnte Elektro- und Elektronik-Altgeräte leichter identifizierbar und damit für die Kreislaufwirtschaft besser nutzbar gemacht werden. Dadurch könnten Ressourcen eingespart werden.

Handlungsempfehlungen: Um die Ressourceneffizienzpotenziale zu heben und den Marktinstabilitäten bei seltenen Metalle entgegen wirken zu können, ist ein gezieltes Ressourcenmanagement notwendig – vom Design der IuK-Produkte, das die Weiter- und Wiedernutzungsoption am Ende des Lebenszyklus mit bedenkt, bis zu völlig neuen Nutzungskonzepten. Dabei sind auch IT-typische Fragestellungen wie Datensicherheit zu berücksichtigen, da diese für die Akzeptanz wesentlich sind.

Gerade im IuK-Markt ist die Akzeptanz durch den Käufer ein sehr sensibles Kriterium, das sich beispielsweise bei der Marktdurchdringung mit ressourcenschonenden Handys als großes Hemmnis erweisen könnte. Die Analyse der unterschiedlichen Weiterentwicklungsmöglichkeiten beim Handy zeigt, dass ein Umdenken in den Köpfen von Anbietern und Nutzern dringend erforderlich ist und durch die Politik initialisiert werden sollte. Derzeit sinkt die Nutzungsdauer von Handys. Produkt-Service-Systeme könnten hier entgegen wirken, aber auch deren Markteinführung erfordert ein verändertes Bewusstsein in Produktion, Vertrieb und Konsum. Generell sollte die Tatsache der hohen Relevanz der Nutzungsphase stärker adressiert werden.

Das Thema Recycling ist von grundsätzlicher Bedeutung für die Umsetzung von Ressourceneffizienz und hat design-, verfahrens- und nutzerbezogene Dimensionen. Im Hinblick auf das Recycling könnten Elektro- und Elektronik-Altgeräte durch eine Kennzeichnung mit passiven Etiketten leichter identifizierbar und damit für die Kreislaufwirtschaft besser nutzbar gemacht werden. Eventuell müssten hier zusätzliche Anreize zur bestehenden Gesetzgebung im Bereich der Elektro- und Elektronik-Altgeräte geschaffen werden. Darüber hinaus sollten die Verwertungsmöglichkeiten von ressourcenintensiven seltenen Metallen in IT-Komponenten verbessert werden.

Das Maßnahmenbündel sollte Kommunikations-, Förder- und gesetzlichen Maßnahmen umfassen. Diese können die Marktdurchdringung, Wirtschaftlichkeit und technische Ausgereiftheit sowie die Integration von Ressourceneffizienz in Produktdesign und das Denken in Produktlebenszyklen und aus der Sicht der Produktnutzung fördern. Gleichzeitig sind Rebound-Effekte für alle Maßnahmen gerade im kurzlebigen IuK-Markt gesondert zu analysieren und anzugehen.

3.5 Lebensmittel – Betrachtung von Produktion und Konsum notwendig

In diesem Handlungsfeld wurden Ressourceneffizienzpotenziale in der Lebensmittelproduktion an den Beispielen Fisch, Obst und Gemüse sowie in der Landtechnik am Beispiel Stickstoffsensoren bei der Düngung analysiert.

Ergebnisse: Auf Anbieterseite konnten Ressourceneffizienzpotenziale durch nachhaltigere Anbau- und Fangmethoden sowie effizientere Bewässerung und schonenderen Einsatz von Pestiziden identifiziert werden. Dies umfasst z. B. die Verringerung des Beifangs beim Fischfang ebenso wie die Senkung des Energieverbrauchs in Gewächshäusern oder die Nutzung von Abwärme aus Gewächshäusern. Interessant ist weiterhin ein Ansatz zum Einsatz von Sensoren bei der Stickstoffdüngung zur Düngereinsparung und Ertragssteigerung.

Die Potenzialanalysen zeigen, dass sich mit verschiedenen eher kleinteiligen Maßnahmen Ressourceneffizienzpotenziale realisieren lassen, die in der Summe große Beiträge leisten können. Sie zeigen aber auch, dass zwar in der Produktion von Lebensmitteln Ressourceneffizienzpotenziale zu heben sind, allerdings auf Konsumentenseite höchstwahrscheinlich noch größere Potenziale schlummern. Der Konsument kann beispielsweise allein durch die Wahl seines Verkehrsmittels bei der Einkaufsfahrt deutliche Einsparungen erzielen. Bereits aus anderen Studien ist bekannt, dass im Bereich Ausschuss- und Abfallvermeidung Potenziale sowohl in der Produktion als auch im Konsum zu heben sind. Außerdem kann beim Konsum – also der Zubereitung von Mahlzeiten und bei der Kaufentscheidung bzw. Auswahl der Lebensmittel – der Ressourcenverbrauch maßgeblich beeinflusst werden. Der bereits häufig festgestellte starke Einfluss saisonaler Aspekte bei der Auswahl von Gemüse und Obst konnte in den vorliegenden Ergebnissen bestätigt werden.

Handlungsempfehlungen: Der Ernährungssektor ist einer der ressourcenintensivsten Sektoren. Aus den Ergebnissen der durchgeführten Analysen heraus sollte die Ausrichtung der Politik insbesondere auf folgende Bereiche erfolgen: Im Bereich ressourceneffizienter Fischfang sind nachhaltigere Fangmethoden, die weniger Bodenbewegung verursachen und den Beifang verringern, ein zentraler Ansatzpunkt. Beim Obst- und Gemüseanbau sind der Wasserverbrauch und alternative Anbautechniken die zentralen Ansatzpunkte. Beim Gemüseanbau ist neben dem Wasserverbrauch auch die Senkung des Energie- und sonstigen Ressourcenverbrauchs rund um die Gewächshäuser zentral. Intelligente Landtechnik und integrierte Anbausysteme können wie am Fallbeispiel aufgezeigt den ressourcenintensiven Dünger- und Pestizideinsatz deutlich vermindern.

Die Konsumentenseite sollte systematisch hinsichtlich der Ressourceneffizienzpotenziale in ihrer gesamten Breite analysiert werden. Dies gilt z. B. für die Auswahl der Lebensmittel, die Zubereitung von Mahlzeiten und die Abfälle. Auf den gesamten Konsum bezogen stellt sich die Frage, wie eine langfristige Veränderung der Gewohnheiten hin zu einer ressourcensparenden und nachhaltigeren Ernährungsweise ermöglicht werden kann und welche Anreize dies erfordert. Zur Beeinflussung des Konsumverhaltens könnte bspw. die Debatte der „gesunden Ernährung“ mit einer zur „ressourceneffizienzorientierten und umweltverträglichen Ernährung“ gekoppelt werden. Dabei kann auch die öffentliche Beschaffung eine wichtige Rolle spielen.

3.6 Verkehr – Infrastruktur birgt mehr Effizienzpotenzial als Antriebssysteme

Dieser Abschnitt beschreibt die Ergebnisse der durchgeführten Potenzialanalysen im Themenfeld „Verkehr“.

Ergebnisse: Der Bereich Verkehrsmittel und Transport mit seinem hohen Ressourcenverbrauch und der hohen Bedeutung für alle gesellschaftlichen und ökonomischen Bereiche ist ein Fokusbereich der Bestrebungen zur Ressourceneffizienzsteigerung und Emissionsverringerung. Die wissenschaftliche Diskussion beschränkt sich hierbei nicht nur auf alternative Antriebssysteme, sondern berücksichtigt auch die Entwicklung der Infrastrukturen (vgl. auch die Ergebnisse des AP2 des MaRes-Projekts, z. B. in Steger et al. 2010).

Der Vergleich von elektro- und dieselmotorischem Antrieb auf Basis eines kommunalen Nutzfahrzeugs zeigt, dass durch Elektrofahrzeuge einerseits der Ausstoß klimarelevanter Verbrennungsgase reduziert und andererseits die Unabhängigkeit vom Erdöl gesteigert werden kann, wobei einige Randbedingungen zu beachten sind. So ist die Höhe der Ressourceneffizienzpotenziale auch hier in erster Linie vom Strommix abhängig. Dieser Zusammenhang kann ebenfalls auf den Schienenverkehr übertragen werden. Weitere verbrauchsmindernde Maßnahmen an Fahrzeugen wie Leichtbau und ein intelligent gesteuerter Fahrzeugeinsatz, wie ihn innovative Verkehrstelematiksysteme ermöglichen, haben ebenfalls das Potenzial die Ressourceneffizienz zu steigern. Durch den Einsatz moderner Verkehrstelematik könnten zudem der Bedarf an Infrastruktur gesenkt und wiederum weitere Potenziale erschlossen werden.

Den größten Anteil am Ressourcenverbrauch im Güterverkehr weisen der Bau und die Instandhaltung der Infrastruktur für die einzelnen Verkehrsträger auf. Dieser Bereich wird in Betrachtungen zur Ressourceneffizienz bzw. Nachhaltigkeit bislang vernachlässigt. Hier liegen jedoch deutliche Potenziale, auch wenn der Aufbau der Verkehrsinfrastruktur in Deutschland u. a. aus demografischen Gründen weitgehend abgeschlossen ist. Erste Ansätze zur Steigerung der Ressourceneffizienz bietet etwa eine Verringerung der Straßenbreite.

Handlungsempfehlungen: Da der Ressourcenverbrauch im Verkehrssektor maßgeblich durch die Infrastruktur mitbestimmt wird, sollten Lösungen zur Ressourceneffizienzsteigerung nicht nur den Energieverbrauch (bzw. die klimarelevanten Emissio-

nen), sondern den gesamten Ressourcenverbrauch adressieren. Weil die Vermeidung des Neu- und Ausbaus von Infrastruktur ein großes Ressourceneffizienzpotenzial birgt, sollten Maßnahmen zur Verbesserung der Auslastung der Fahrzeuge und der Infrastruktur sowie ressourcenverbrauchsoptimierte Instandhaltungslösungen besondere Priorität erhalten. Der globale Bedarf an ressourceneffizienter Infrastruktur und Infrastrukturnutzung birgt außerdem Exportpotenzial.

Die Entwicklung innovativer Antriebssysteme muss mit der Entwicklung einer effizienteren Nutzung von Fahrzeugen und Infrastruktur einhergehen, um der bisher stetig steigenden Verkehrsleistung zu begegnen. Hierbei können Logistik, Verkehrstelematik und Produkt-Service-Systeme (z. B. Carsharing) von Nutzen sein. Um die Nachfrage dieser Systeme zu erhöhen, sind jedoch besser auf die Zielgruppen abgestimmte Angebote und ein Wandel in den Nachfragestrukturen der Nutzer erforderlich. Zudem gilt es für langfristige Infrastrukturprojekte auch verstärkt evtl. wandelnde zukünftige Bedürfnisse von Nutzern in der Planung zu berücksichtigen.

3.7 Produktentwicklung an Ressourceneffizienz ausrichten

In diesem Handlungsfeld wurden Ressourceneffizienzkriterien im Produktentwicklungsprozess sowie Potenziale verschiedener Werkstoffe untersucht.

Ergebnisse: Aus einer Reihe früherer Studien ist bekannt, dass der Produktentwicklungsprozess das Potenzial bietet, die lebenszyklusweiten Umweltauswirkungen eines Produktes deutlich zu reduzieren, da hier noch viele Parameter zu beeinflussen sind. Mit Fortschreiten des Entwicklungsprozesses steigt die Bestimmtheit eines Produktes und seiner Produktionsprozesse an, wodurch die späteren Umweltauswirkungen immer stärker manifestiert werden. Ansätze zur Steigerung der lebenswegweiten Ressourceneffizienz sollten daher möglichst frühzeitig im Produktentwicklungsprozess betrachtet werden. Durch die Integration des MIPS-Konzepts und der Formulierung allgemeingültiger Ressourceneffizienzkriterien konnte eine entwicklungsbegleitende Konstruktionsmethodik geschaffen werden, welche den Entwickler in die Lage versetzt, den Ressourcenverbrauch von Produkten über ihren Lebensweg hinweg zu bewerten und zu verringern.

Die Bedeutung des integrativen lebenszyklusorientierten Produktentwicklungsprozesses konnte im Rahmen der Betrachtung einer Leichtbausitzschale bestätigt werden. Durch den Einsatz eines textilverstärkten Thermoplastmaterials in Verbindung mit einem konsequenten werkstoffgerechten Leichtbaudesign und angepasster hochproduktiver Verarbeitungsprozesse konnte der lebenszyklusweite Ressourcenverbrauch der Automobil-Sitzschale deutlich verringert werden. Zurückzuführen ist dies auf die geringere Masse der neu entwickelten Leichtbausitzschale und der somit verbundenen Reduktion des Kraftstoffverbrauches während der Nutzungsphase. Da Leichtbauwerkstoffe und -strategien insbesondere im Kraftfahrzeugbau ein breites Anwendungsspektrum besitzen, wird hier ein hohes Ressourceneffizienzpotenzial gesehen.

Durch eine weitere Potenzialstudie konnte gezeigt werden, dass zudem die Werkstoffweiterentwicklung einen geeigneten Ansatz zur Reduktion der Ressourcenverbräuche

darstellt. Die Analyse des Einsatzes von höher- und höchstfesten Stählen (HHS) für Leichtbaukonstruktionen in Automobilen zeigt, dass hierdurch Verbrauchsreduktionen von 0,7 l / 100 km im Vergleich zu herkömmlichen Stahlbauweisen erreicht werden können. Eine weitere nennenswerte Verringerung des Ressourcenverbrauchs lässt sich allerdings erst in Verbindung von HHS mit innovativen Gussverfahren erzielen.

Handlungsempfehlungen: Die stärkere Ausrichtung der Produktentwicklung im Sinne der Ressourceneffizienz setzt vor allem die Akzeptanz des Themas auf verschiedenen Ebenen voraus. Neben den relevanten Entscheidungsträgern, etwa im Bereich des Managements und der Konstruktion, müssen sowohl Kunden als auch Lieferanten für ressourcenkritische Belange sensibilisiert und motiviert werden. Hierfür ist entsprechendes Fachwissen, hierarchisches Potential und das personelle Netzwerk notwendig, um die Umsetzung der neuartigen Designrichtlinien zu fördern.

Die praktische Integration des Ressourceneffizienzgedankens in die Produktentwicklung kann in einem mehrstufigen Vorgehen erfolgen. In einem ersten Schritt wird durch gezielte Kommunikation das Bewusstsein für die Einbeziehung des Ressourceneffizienzgedankens geschärft. Dies kann bspw. durch Artikel in Management- und Konstruktionsfachzeitschriften, Fortbildungsveranstaltungen für Entwickler/-innen sowie über die Vermittlung der gewonnenen Erkenntnisse während des Ingenieurstudiums erfolgen. Zudem könnten die üblicherweise während der Produktentwicklung eingesetzten Mittel, wie z. B. CAE-Programme, entsprechend den Erfordernissen des ressourceneffizienten Designs angepasst werden. Die Berücksichtigung der Ressourceneffizienz kann in weiteren Schritten zu neuen Denkweisen wie Produkt-Service-Systemen führen, die im folgenden Handlungsfeld erläutert werden.

3.8 Geschäftsmodelle an Ressourceneffizienz orientieren: Produkt Service Systeme (PSS) erfordern Umdenken

Dieser Abschnitt beschreibt die Ergebnisse der durchgeführten Potenzialanalysen im Themenfeld „Produkt-Service-Systeme“.

Ergebnisse: Ein Ansatz zur Steigerung der Ressourceneffizienz ist es, „Ressourcenorientierung“ als integralen Bestandteil der Geschäftsstrategie zu begreifen und in entsprechende Geschäftsmodelle zu implementieren.

Bei dem Konzept „Nutzen statt Besitzen“ müssen die Anbieter ihre gewöhnlich absatzorientierte Unternehmensstrategie auf ein serviceorientiertes Denken umstellen. Dies zielt auf die Begleitung der Kunden während der Nutzungsphase des Produktes sowie das Re-Design des Produktes nach einer Nutzungsphase.

„Production on demand“ ist die am weitesten gehende Ausdifferenzierung auftragsgetriebener Produktion und bedeutet im Idealfall eine komplette Vermeidung von Überproduktion. Quantitative Ressourceneffizienzpotenziale wurden am Beispiel der Verringerung von Remissionen bei Zeitschriften bestimmt. Das Konzept „Production on demand“ setzt auf der Kundenseite an: Die bestellenden Kunden/-innen müssen frühzeitig ihren Bedarf anmelden, da nur das produziert wird, was bestellt wird. Die Kunden/-innen haben also längere Vorlaufzeiten als bei einer bestandsorientierten Lager-

haltung. Dieses Umdenken wird zugleich als Chance für die Realisierung der Ressourceneffizienzpotenziale, aber auch als Hemmnis bei deren konkreter Umsetzung erkannt.

Die Potenzialanalyse zur Nutzung eines Roboters nach dem Prinzip „Nutzen statt Besitzen“ zeigte, dass durch die Wiederverwendung des Roboters etwa die Hälfte des Ressourcenverbrauchs bei der Herstellung eingespart werden konnte. Der höchste Verbrauch fällt jedoch durch die Betriebsenergie an, so dass die Steigerung der Energieeffizienz ebenfalls Einsparpotenziale aufweist.

Handlungsempfehlungen: Im Bereich „Business-to-Business“ (B2B) ließ sich anhand des Beispiels der Montageanlagen aufzeigen, dass es möglich ist, auch außerhalb der bereits bekannten Bereiche wie Chemical-Leasing oder Berufsbekleidungs- und Wäscheverleih Einsparpotenziale durch „Nutzen statt Besitzen“ zu realisieren. Vor diesem Hintergrund wäre eine vertiefende Untersuchung empfehlenswert, die in der Breite weitere potenzielle B2B Anwendungsfelder herausarbeitet und hier die möglichen Potenziale abschätzt. Um Ressourcen einzusparen, sollten auf Produkt-Service-Systemen basierende Geschäftsmodelle zu einer breiteren Anwendung kommen. Diese können jedoch nur realisiert werden, wenn die handelnden Personen umdenken und neue Akteurskonstellationen entstehen – neben dem eigentlichen Anwender kann bspw. auch der Anlagenhersteller oder der Betriebsmittellieferant eine Anlage betreiben. Ziel muss es sein, ein Verständnis für diese Geschäftsmodelle und ein Bewusstsein für ihren Nutzen zu entwickeln. Beispielsweise könnten strengere Richtlinien zur umweltgerechten Entsorgung von Produktionsanlagen eine Weiter- bzw. Wiederverwendung von Anlagen für die beteiligten Unternehmen attraktiver machen.

Im Bereich der kleinen und mittleren Unternehmen sollten Konzepte zur gemeinsamen Nutzung entwickelt und gefördert werden, da diese Unternehmen dadurch Anlagen effizienter nutzen könnten. Innovation und Innovationsförderung sollten daher nicht nur im produktions- und produkttechnischen Sinne verstanden werden, sondern auch die Nutzung und Nutzungsmodelle von Produkten einschließen.

4 Fazit und Ausblick

Im Rahmen des MaRes Projektes war es möglich, für 20 ausgewählte Themen („Top20“), aus den Bereichen Technologie, Produkt bzw. Strategie konkrete Ressourceneffizienzpotenziale zu analysieren und mögliche Handlungsempfehlungen zu formulieren. In den Analysen konnte gezeigt werden, dass diese – wie in der Vorauswahl angenommen – interessante und ressourcenrelevante Ansatzpunkte bieten. Die vorliegenden Potenzialanalysen haben zum Teil deutliche Potenziale zur Ressourceneinsparung identifiziert, die teilweise mit weiteren Nachhaltigkeitsaspekten Hand in Hand gehen und mitunter neue Blickwinkel eröffnen. Dadurch konnten in der Nachhaltigkeitsdebatte bisher – nach eigener Auffassung – unterrepräsentierte Handlungsempfehlungen benannt werden (z. B. bzgl. der Relevanz von Infrastruktur, vgl. 3.3 und 3.6, oder bzgl. des Ressourcenverbrauchs von Elektroantrieben, vgl. 3.2 und 3.6). Diese können zur Fokussierung der Ressourcenpolitik genutzt werden.

Um zu einer deutlichen Dematerialisierung bzw. Steigerung der Ressourceneffizienz unserer Wirtschaft und Gesellschaft zu gelangen (Stichwort Faktor 10), gilt es, den identifizierten Potenzialen mit verschiedenen Maßnahmen unter Beteiligung von Schlüsselakteuren zur Umsetzung zu verhelfen sowie weitere Potenziale aufzudecken. Dabei ist über die Betrachtung von Technologien, ressourcenintensiven Bedarfsfeldern und organisatorischen und institutionellen Innovationen hinaus die Integration der kompletten Wertschöpfungskette einschließlich der Nutzungs- und Verwertungsphase erforderlich, um auch tatsächlich Entlastungseffekte im Lebenszyklus zu erzielen. Vor diesem Hintergrund wird die Notwendigkeit weiterführender, über das Arbeitspaket 1 und MaRess insgesamt hinausgehender Aktivitäten deutlich.

Die bearbeiteten Themen („Top20“) sollten als Beginn einer systematischen und umfassenden Analyse der Ressourceneffizienzpotenziale unserer gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Aktivitäten verstanden werden. Auch wenn die hier betrachteten Themen zentrale und ressourcenintensiven Bereiche widerspiegeln, stellen sie insgesamt natürlich nur eine kleine Auswahl aus der Gesamtheit der identifizierten und auch von den Experten/-innen im Rahmen des Experten-Workshop I bewerteten Themen dar. Zudem sind auch bei den betrachteten Themen noch offene Fragen geblieben bzw. neu zu untersuchende Fragen aufgeworfen worden. Außerdem versprechen sowohl die hier nicht analysierten, dem Experten-Workshop I vorgelegten Themen („Top250“, vgl. Kapitel 2.1) sowie die dort ausgewählten Themen („Top50“) noch interessante Potenziale, die in Zukunft untersucht werden sollten.

Dabei besteht auch der Bedarf, Schwerpunktbereiche (z. B. zentrale Bedarfsfelder wie Bauen, Wohnen oder Ernährung) an Hand von weiteren Fallbeispielen zu betrachten.

Die Untersuchungen verdeutlichten darüber hinaus auch die Notwendigkeit geeignete Möglichkeiten (z. B. Netzwerke) stärker zu nutzen bzw. aufzubauen, um Industriepartner frühzeitig zu involvieren. Hier gilt es einerseits, das bestehende Netzwerk des MaRess-Projekts zu verfestigen und zudem weitere Formen und Konsortien (z. B. stärker themenfokussiert) zu etablieren. Damit soll der stete direkte Bezug zur Umsetzung und Machbarkeit von zu analysierenden Potenzialen gewährleistet werden.

Aufgrund der Themenbreite bzw. der Möglichkeiten, die sich zur Steigerung der Ressourceneffizienz in den verschiedenen Bereichen eröffnen, sollte das Netzwerk der Hochschulen, die das Paradigma der Ressourceneffizienz in Forschung und Lehre integrieren, deutlich erweitert werden. Es wäre wünschenswert, den Kreis der beteiligten Hochschulen (z. B. alle im Verbund der TU9 repräsentierten Technischen Universitäten und darüber hinaus, ebenso Design- und Fachhochschulen) für die weitere Analyse der im AP1 des MaRess-Projekts identifizierten Themen zu erweitern.

Bisher gibt es im Bereich der Hochschulausbildung nur in wenigen Fachbereichen und Fachgebieten universitäre Angebote (z. B. Vorlesung, Übungen, Projektarbeiten) im Bereich Ressourceneffizienz. Daher ist eine deutliche Erweiterung des Umfangs an Angeboten vorstellbar, die in die bestehenden Curricula zu integrieren sind. Um der breiten Integration von Ressourceneffizienz in die universitäre Forschung und Lehre einen deutlichen Schub zu geben, sollten deshalb Aktivitäten zur Etablierung einer „Vir-

tuellen Ressourcenuniversität“ (von der Innovations- bis zur Umsetzungsforschung) angestoßen werden (vgl. auch die Ergebnisse aus AP13 des MaRes-Projekts, z. B. in Kristof et al. 2010).

5 Literatur

- Fichter, Klaus / Behrendt, Siegfried / Clausen, Jens / Erdmann, Lorenz / Hintemann, Ralph / Marwede, Max / Caporal, Sophie (2010): Kooperatives Roadmapping als Instrument innovationsorientierter Umweltpolitik. Früherkennung und Erschließung von Ressourceneffizienzpotenzialen am Beispiel von Roadmapping-Initiativen im Bereich Photovoltaik und Green IT. Kurzbericht des MaRes-Arbeitspakets 9. Borderstep Institut, Berlin
- Kristof, Kora / Liedtke, Christa (2009): Erfolgreiche Kommunikation der Ressourceneffizienz-idee: Bildungsstrategie. Auszug aus der Präsentation der Ergebnisse zu AS13.2 am 20.04.2009. Ressourceneffizienz Paper 13.2, Wuppertal
- Lettenmeier, Michael / Rohn, Holger / Liedtke, Christa / Schmidt-Bleek, Friedrich (2009): Resource productivity in 7 steps. Wuppertal Spezial 41, Wuppertal
- Ritthoff, Michael / Rohn, Holger / Liedtke, Christa (2002): MIPS berechnen. Ressourcenproduktivität von Produkten und Dienstleistungen. Wuppertal Spezial 27; Wuppertal: Wuppertal Institut für Umwelt, Klima, Energie.
- Rohn, Holger / Lang-Koetz, Claus / Pastewski, Nico / Lettenmeier, Michael (2009). Ressourceneffizienzpotenziale durch Technologien, Produkte und Strategien - Ergebnisse eines kooperativen Auswahlprozesses, Ressourceneffizienz Paper 1.2, Wuppertal
- Rohn, Holger / Pastewski, Nico / Lettenmeier, Michael (2010a): Ressourceneffizienz von ausgewählten Technologien, Produkten und Strategien – Ergebniszusammenfassungen der Potenzialanalysen, Ressourceneffizienz Paper 1.4, Wuppertal
- Rohn, Holger / Pastewski, Nico / Lettenmeier, Michael (2010b): Technologien, Produkte und Strategien – Ergebnisse der Potenzialanalysen, Ressourceneffizienz Paper 1.5, Wuppertal
- Schmidt-Bleek (1998): MAIA, Einführung in die Material-Intensitäts-Analyse nach dem MIPS-Konzept. Birkhäuser Verlag, Berlin
- Schmidt-Bleek, Friedrich (1994): Wie viel Umwelt braucht der Mensch? Das Maß für ökologisches Wirtschaften. Birkhäuser Verlag, Berlin, Basel, Boston
- Steger, Sören (2010): Unveröffentlichte Ergebnisse des AP2 im Projekt „Materialeffizienz und Ressourcenschonung, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, Wuppertal
- <http://ressourcen.wupperinst.org/> Homepage des Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt, Energie. (Stand 01.08.2010)