

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)

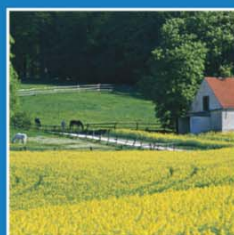
Bastian Lang (upp, Universität Kassel)

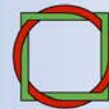
Katrin Bienge, Kora Kristof und Klaus Wiesen (Wuppertal Institut)

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 – Ergebniszusammenfassung der Potenzialanalysen

Meilensteinbericht aus dem Arbeitspaket 1 des MaRes-Projekts





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

**„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 – Ergebniszusammenfassung der Potenzialanalysen

Inhaltsverzeichnis

Kurzzusammenfassung	5
Vorwort und Danksagung	6
1 Einleitung	7
2 Methodik der Potenzialanalysen	8
2.1 Themenauswahl	8
2.2 Bearbeitung und Auswertung der Potenzialanalysen	12
2.3 Lessons Learned	13
3 Ergebnisse der durchgeführten Potenzialanalysen	16
3.1 Ergebnisübersicht	16
3.2 Querschnittstechnologien und "Enabling-Technologien": Türöffner für ressourceneffiziente Anwendungen	18
3.2.1 Ermittlung von Ressourceneffizienzpotenzialen im Bereich der Abwasserfiltration durch Membrantechnologie	21
3.2.2 Ressourceneffiziente Energiespeicherung: Vergleich von direkter und indirekter Speicherung für elektrifizierte PKWs	22
3.2.3 Ressourceneffizienzpotenziale bei der Energiespeicherung - ressourceneffiziente Wärmespeicher	23
3.2.4 Ressourceneffizienzpotenziale von Dämmstoffsystemen	24
3.3 Regenerative Energien ermöglichen erhebliche Ressourceneinsparungen	26
3.3.1 Ressourceneffizienzpotenziale durch Windenergie und Biomasse	28
3.3.2 Ressourceneffiziente großtechnische Energieerzeugung: Potenziale von Desertec-Strom	29
3.3.3 Ressourceneffiziente Energieerzeugung durch Photovoltaik	30

3.4	Der Wachstumsmarkt Informations- und Kommunikationstechnologie (IuK) benötigt ein sorgfältiges Ressourcenmanagement _____	32
3.4.1	Ressourceneffizienzkriterien im Design _____	34
3.4.2	Green IT: Ressourceneffizienzpotenziale von Server Based Computing _____	35
3.4.3	Green IT: Ressourceneffizienzsteigerung bei IKT – Displayarten im Vergleich _____	36
3.4.4	Ressourceneffizienzpotenziale beim Recycling von kleinen Elektro- und Elektronikaltgeräten durch Rückgewinnung aus dem Hausmüll mit Hilfe einer RFID-Kennzeichnung der Primärprodukte _____	37
3.5	Lebensmittel – Betrachtung von Produktion und Konsum notwendig _____	39
3.5.1	Ressourceneffizienzpotenziale in der Lebensmittelproduktion – Beispiel Fisch _____	40
3.5.2	Ressourceneffizienzpotenziale in der Lebensmittelproduktion – Beispiel Obst _____	41
3.5.3	Ressourceneffizienzpotenziale in der Lebensmittelproduktion – Beispiel Gemüse _____	42
3.5.4	Ressourceneffizienzpotenziale der intelligenten Landtechnik am Beispiel des Einsatzes von Stickstoffsensoren in der Düngung _____	43
3.6	Verkehr – Infrastruktur birgt mehr Effizienzpotenzial als Antriebssysteme _____	45
3.6.1	Ermittlung von Ressourceneinsparpotenzialen im Güterverkehr _____	46
3.6.2	Ressourceneffizienz durch Elektrofahrzeuge _____	47
3.7	Produktentwicklung an Ressourceneffizienz ausrichten _____	49
3.7.1	Beachtung von Ressourceneffizienzkriterien im Produktentwicklungsprozess _____	50
3.7.2	Ressourceneffizienzpotenziale durch Umsetzung des Leichtbaus unter Nutzung neuartiger Werkstoffe _____	51
3.7.3	Ressourceneffizienzpotenziale höher- und höchstfester Stähle _____	52
3.8	Geschäftsmodelle an Ressourceneffizienz orientieren: Produkt Service Systeme (PSS) erfordern Umdenken _____	54
3.8.1	Ressourceneffizienzpotenziale durch „Nutzen statt Besitzen“ bei Montageanlagen _____	55
3.8.2	Ressourceneffizienz durch Production on demand _____	56
4	Fazit und Ausblick _____	58
	Literatur _____	60
	Anhang _____	64

Abbildungen

Abb. 1:	Kriteriengestützte Auswahl von Technologien, Produkten und Strategien mit hohem Ressourceneffizienzpotenzial	8
Abb. 2:	Übersicht zur Vorgehensweise der Potenzialanalyse	12
Abb. 3:	Potenzialanalyse für die betrachtete Anlagengröße 3 (913 Anlagen) in Deutschland	21
Abb. 4:	Ressourcenverbrauch der untersuchten Fahrzeug-Energiekonzepte (Laufzeit jeweils 200.000 km)	23
Abb. 5:	Ressourcenverbrauch von drei verschiedenen Wärmespeichern im Vergleich zu einem konventionellen Warmwasserspeicher (Standard) pro kWh _{th}	24
Abb. 6:	Ressourcenverbrauch der untersuchten Dämmstoffe pro m ² -Fassadenfläche	25
Abb. 7:	Ressourcenverbrauch der untersuchten Stromerzeugungsarten im Vergleich zum deutschen Strommix (Bezugsjahr 2008) pro MWh ab Netz	29
Abb. 8:	Vergleich des Ressourcenverbrauchs des deutschen Strommixes in den Jahren 2008, 2010 und 2050 unter Berücksichtigung dreier Desertec-Konzepte mit unterschiedlichen Kraftwerksarten	30
Abb. 9:	Ressourcenverbrauch von Dünn- und Dickschicht-PV-Laminaten in kg/MWh	31
Abb. 10:	Vergleich der Ressourcenverbräuche der Handy-Konzepte	34
Abb. 11:	Ressourcenverbrauch von PC und Thin-Client inkl. Serveranteil bei einer Nutzungsdauer von 5 Jahren über den gesamten Lebenszyklus	35
Abb. 12:	Das Verhältnis des Ressourceneinsatzes zwischen den drei Technologien LCD, Plasma und OLED in Abhängigkeit vom deutschen Strommix (2008), bei Vernachlässigung der Herstellungsphase.	37
Abb. 13:	Ressourcenverbrauch pro kg Recyclat mit Einsatz von RFID-Kennzeichnung (Fallstudie) bezogen auf die für das Jahr 2006 gemeldeten Verwertungsquoten (Ist-Zustand)	38
Abb. 14:	Ressourcenverbrauch am Beispiel „Fang und Verarbeitung von Kabeljau zu Filet“	41
Abb. 15:	Ressourcenverbrauch am Beispiel „Orangen aus integrierter Produktion in Spanien“	42
Abb. 16:	Ressourcenverbrauch am Beispiel „Frische Tomaten aus den Niederlanden“	43

Abb. 17:	Ressourcenverbrauch für die Düngung eines Weizenfeldes von 400 ha Weizenanbaufläche bei variabler Düngung (Fallstudie) bezogen auf die konstante Düngung (Ist-Zustand))	44
Abb. 18:	Ressourceneffizienzpotenziale im Güterverkehr in Deutschland (auf Basis 2008)	47
Abb. 19:	Ressourcenverbrauch eines dieselmotorischen und elektrischen Antriebes des Multicar	48
Abb. 20:	Angestrebte Vorgehensweise der ressourceneffizienten Produktentwicklung	51
Abb. 21:	Einfluss des Leichtbaugrades der Sitzschale auf die Ressourceneffizienz	52
Abb. 22:	Ressourcenverbrauch von Herstellungsverfahren zur Warmbänderzeugung bezogen auf die Jahresproduktion in Deutschland 2003	53
Abb. 23:	Ressourcenverbrauch für die 8-jährige Bereitstellung eines Industrieroboters bei einem PSS im Vergleich zum traditionellen Geschäftsmodell, mit Betrachtung der Stromerzeugung	56
Abb. 24:	Ressourcenverbrauch bei 1 Mio. Zeitschriften mit / ohne Remissionen	57

Tabellen

Tab. 1:	Zentrale Handlungsfelder mit Potenzialen zur Steigerung der Ressourceneffizienz	5
Tab. 2:	Bewertungskriterien zur Beurteilung der Technologien, Produkte und Strategien	10
Tab. 3:	Auswahl der „Top20 Themen“ zur Abschätzung der Ressourceneffizienzpotenziale	11
Tab. 4:	Übersicht über die Handlungsfelder und die Potenzialanalysen	17
Tab. 5:	Übersicht der Themen des Handlungsfeldes „Querschnittstechnologien“	18
Tab. 6:	Übersicht der Themen des Handlungsfeldes „Regenerative Energien“	26
Tab. 7:	Übersicht der Themen des Handlungsfeldes „Informations- und Kommunikationstechnologie“	32
Tab. 8:	Übersicht der Themen des Handlungsfeldes „Lebensmittel“	39
Tab. 9:	Übersicht der Themen des Handlungsfeldes „Verkehr“	45
Tab. 10:	Übersicht der Themen des Handlungsfeldes „Produktentwicklung“	49
Tab. 11:	Übersicht der Themen des Handlungsfeldes „Produkt Service Systeme“	54

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 für diese konkrete Potenziale bestimmt. Die Potenzialanalysen wurden im Rahmen eines in ein Expertennetzwerk eingebundenen Diplomanandenprogramms 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</p> <p>Querschnittstechnologien und "Enabling-Technologien": Türöffner für ressourceneffiziente Anwendungen</p> <p>Regenerative Energien ermöglichen erhebliche Ressourceneinsparungen</p> <p>Der Wachstumsmarkt Informations- und Kommunikationstechnologie (IuK) benötigt ein sorgfältiges Ressourcenmanagement</p>
<p>Produktebene</p> <p>Lebensmittel – Betrachtung von Produktion und Konsum notwendig</p> <p>Verkehr – Infrastruktur birgt mehr Effizienzpotenzial als Antriebssysteme</p>
<p>Strategien</p> <p>Produktentwicklung an Ressourceneffizienz ausrichten</p> <p>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 MaRes-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 für die Steigerung der Ressourceneffizienz und für die Ressourcenschonung, wobei die materialbezogene Betrachtung im Mittelpunkt steht.

Das vorliegende Papier dokumentiert die Ergebnisse des Arbeitspaketes 1 (AP1) zu den Potenzialanalysen identifizierter Technologien, Produkten und Strategien. Es schließt damit an dem Ressourceneffizienz Paper 1.2 (Rohn et al. 2009) an. 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 Ressourceneffizienzpotenziale zu erwarten ist, Potenzialanalysen durchgeführt. Die Ergebnisse der einzelnen Potenzialanalysen wurde 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.

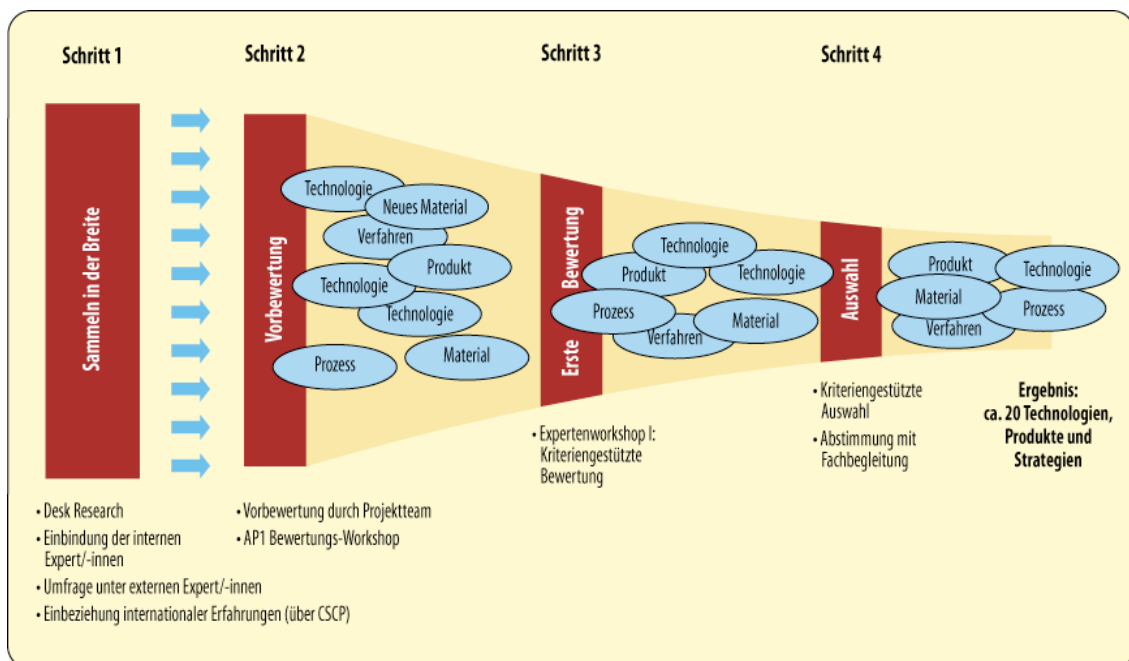
Übergreifend werden die erarbeiteten Ergebnisse in einem Abschlussbericht dokumentiert, dessen zentrale Ergebnisse in einem Buch veröffentlicht werden sollen. Außerdem fließen die Ergebnisse des AP1 in weitere Arbeitspakete des MaRes-Projektes und das Netzwerk Ressourceneffizienz ein.

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.

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



Quelle: Rohn / Lang-Koetz / Pastewski / Lettenmeier 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 durchgeführt mit dem Ziel, die Themenliste expertengestützt zu erweitern. Adressaten des Fragebogens waren v. a. Expert/-innen aus Forschungseinrichtungen, Verbänden, Initiativen und Unternehmen. Insgesamt wurden etwa 15.000 Personen angesprochen.

Im zweiten Schritt wurde die Themenliste weiter aufbereitet und vorbereitend. 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 („Top 250“-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 wie die „Wirtschaftliche Bedeutung“, 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 („Top 50“-Themen) abgeleitet werden.

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

Nr.	Kriterium zur Beurteilung der Technologien, Produkte, Strategien
1	Ressourceneinsatz/Mengenrelevanz , z. B.: <ul style="list-style-type: none"> • Produktionseinheit/Infrastruktur mit hohem Einsatz von Ressourcen (absolut große Einsatzmengen, z. B. Stahlwerk) • Massenanzwendung (z. B. Pumpen) • Mögliche / zu erwartende Reboundeffekte
2	Ressourceneffizienzpotenzial in Bezug auf, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> • Abiotische Ressourcen • Biotische Ressourcen • Wasser • Energie • Sonstige
3	Sonstige Umweltauswirkungen , z. B.: <ul style="list-style-type: none"> • Risiko für Gesundheit • Treibhauspotenzial • Emissionen in Wasser, Boden, Luft • Versauerung • Eutrophierung • Flächenverbrauch • Bodenbewegung / Erosion • Biodiversität
4	Realisierbarkeit , z. B.: <ul style="list-style-type: none"> • Technische Realisierbarkeit • Wirtschaftlichkeit • Technologische Kompetenz in Deutschland vorhanden • Akzeptanz (Markt, Gesellschaft)
5	Wirtschaftliche Bedeutung , z. B.: <ul style="list-style-type: none"> • Marktpotenzial • Innovationsgrad • Exportrelevanz • Internationale Bedeutung • Gesellschaftliche Trends berücksichtigend (z. B. Demografie) • Abhängigkeit von endlichen natürlichen Ressourcen
6	Kommunizierbarkeit , z. B.: <ul style="list-style-type: none"> • Öffentlichkeitswirksamkeit • schnelle Erfolge versprechend • leicht verständlich
7	Übertragbarkeit , z. B.: <ul style="list-style-type: none"> • Übertragbarkeit auf andere Handlungsfelder • Internationale Übertragbarkeit

Quelle: Eigene Darstellung

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. Die Liste der ausgewählten „Top20“-Themen, die im Zuge der Projektbearbeitung in einigen wenigen Bereichen aktualisiert wurde, zeigt Tab. 3.

Tab. 3: Auswahl der „Top20 Themen“ zur Abschätzung der Ressourceneffizienzpotenziale

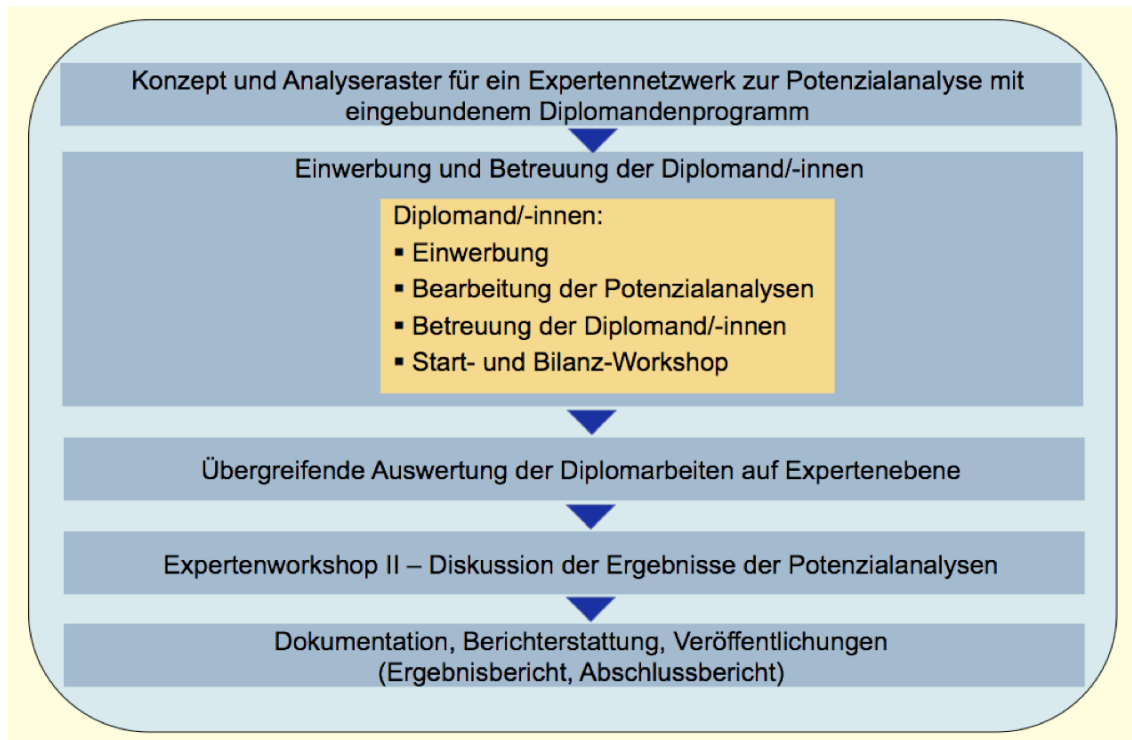
Nr.	Thema	
1	Ressourceneffizienzpotenziale durch Umsetzung des Leichtbaus unter Nutzung der Vielfalt neuartiger Werkstoffe	
2	Ressourceneffizienzpotenziale durch Nutzung der Mikroreakorteknik zur Herstellung von Chemikalien	
3	Ressourceneffizienzpotenziale durch neuartige Umformtechnologien für höher- und höchstfeste Stähle	
4	Ressourceneffizienzpotenziale durch Oberflächenfunktionalisierung mit Nanotechnologien	
5	Ressourceneffizienzpotenziale durch schaltbare Klebstoffe zur besseren Lösbarkeit von Bauteilverbindungen	
6	Ressourceneffizienzpotenziale in der Produktionstechnik	
7	Green IT – Ressourceneffizienzpotenziale in ausgewählten Feldern	
8		• Ressourceneffizienzpotenziale von Servern
9		• Ressourceneffizienzpotenziale von IuK-Endgeräten
10	• Ressourceneffizienzpotenziale von Telefon- und Datennetzen	
10	Ressourceneffizienzpotenziale in der Textilproduktion durch Fasersubstitution	
11	Beachtung von Ressourceneffizienzkriterien beim Design	
12	Ressourceneffizienzpotenziale durch neuartige Formen von „Nutzen statt Besitzen“ im gewerblichen Bereich	
13	Ressourceneffizienzpotenziale durch Production on demand	
14	Ressourceneffizienzpotenziale der nichtenergetischen Nutzung von Algen	
15	Ressourceneffizienzpotenziale durch neuartige Anwendungen der Membrantechnologie für Spezialanwendungen	
16	Ressourceneffiziente Energieerzeugung	
17	Ressourceneffiziente Energiespeicherung	
18	Ressourceneffizienzpotenziale von Wertschöpfungsketten bei Nahrungsmitteln	
19	Ressourceneffizienzpotenziale der intelligenten Landtechnik	
20	Ressourceneffizienzpotenziale von Dämmstoffsystemen	
21	Ressourceneffizienzpotenziale im Bereich Verkehrssysteme	
22	Ressourceneffizienzpotenziale im Individualverkehr durch Elektrofahrzeuge	
23	Ressourceneffizienzpotenziale durch Einsparung primärer mineralischer Baustoffe im Erdbau	
24	Ressourceneffizienzpotenziale durch Trennverfahren und Design-Möglichkeiten für Stoffverbände	

Quelle: Eigene Darstellung

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 Interessenten gefunden werden konnten.

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 nationale 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 interes-

santesten 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 qualita-

tiven 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 der durchgeführten Potenzialanalysen

Im Folgenden sind die Kernergebnisse der einzelnen Potenzialanalysen in einer Ergebnisübersicht und darauf aufbauend in sieben Handlungsfeldern zusammengefasst dargestellt. Die Handlungsempfehlungen orientieren sich an den Kernstrategien für eine Ressourceneffizienzpolitik (Kristof / Hennische 2010):

- Starke Institutionen – Schlüssel für eine erfolgreiche Diffusion
- Nachhaltige Zukunftsmärkte für Ressourceneffizienzlösungen – Innovationen eine Richtung geben
- Ressourceneffiziente Produkte und Dienstleistungen
- Anreize für Ressourceneffizienzlösungen über die Finanzwirtschaft
- Staat als Nachfrager und Bereitsteller von Infrastrukturen
- Veränderung in den Köpfen

Die jeweiligen Themen bzw. Handlungsfelder lassen sich den einzelnen Kernstrategien zuordnen, wobei die Kernstrategien der „Starken Institutionen“ und die „Finanzwirtschaft“ nur am Rande adressiert werden.

Im Anschluss an die Übersicht der Handlungsfelder werden nach einem einheitlichen Ergebnisraster bestehend aus „Einleitung“, „Methodik“, „Ergebnisse“ und „Handlungsempfehlung“ die Ergebnisse der jeweiligen Potenzialanalysen auf einer Seite zusammengefasst. Eine vertiefende Darstellung der Ergebnisse befindet sich im Ressourceneffizienz Paper 1.5 (Rohn et al. 2010).

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. Verdeutlichen lässt sich dies z. B. am Handlungsfeld der regenerativen Energien: Ein deutlich ressourceneffizienterer Energiemix ist auch von Relevanz in den übrigen Handlungsfeldern und für die Ergebnisse in den einzelnen Themen bzw. Fallbeispielen. Gleiches gilt in unterschiedlichem Maße für die weiteren Handlungsfelder, insbesondere auch die Handlungsfelder mit Querschnittscharakter (z. B. Querschnittstechnologien und "Enabling-Technologien"), deren Erkenntnisse in nahezu allen Themen von Bedeutung sind.

Die Tab. 4 zeigt die Übersicht der Potenzialanalysen in den jeweiligen Handlungsfeldern.

Tab. 4: Übersicht über die Handlungsfelder und die Potenzialanalysen

Nr.	Thema / Handlungsfeld
3.2	Querschnittstechnologien und "Enabling-Technologien": Türöffner für ressourceneffiziente Anwendungen
3.2.1	Ermittlung von Ressourceneffizienzpotenzialen im Bereich der Abwasserfiltration durch Membrantechnologie
3.2.2	Ressourceneffiziente Energiespeicherung: Vergleich von direkter und indirekter Speicherung für elektrifizierte PKWs
3.2.3	Ressourceneffizienzpotenzialen bei der Energiespeicherung - ressourceneffiziente Wärmespeicher
3.2.4	Ressourceneffizienzpotenziale von Dämmstoffsystemen
3.3	Regenerative Energien ermöglichen erhebliche Ressourceneinsparungen
3.3.1	Ressourceneffizienzpotenziale durch Windenergie und Biomasse
3.3.2	Ressourceneffiziente großtechnische Energieerzeugung: Potenziale von Desertec-Strom
3.3.3	Ressourceneffiziente Energieerzeugung durch Photovoltaik
3.4	Der Wachstumsmarkt Informations- und Kommunikationstechnologie (IuK) benötigt ein sorgfältiges Ressourcenmanagement
3.4.1	Ressourceneffizienzkriterien im Design
3.4.2	Green IT: Ressourceneffizienzpotenziale von Server Based Computing
3.4.3	Green IT: Ressourceneffizienzsteigerung bei IKT – Displayarten im Vergleich
3.4.4	Ressourceneffizienzpotenziale beim Recycling von kleinen Elektro- und Elektronikaltgeräten durch Rückgewinnung aus dem Hausmüll mit Hilfe einer RFID-Kennzeichnung der Primärprodukte
3.5	Lebensmittel – Betrachtung von Produktion und Konsum notwendig
3.5.1	Ressourceneffizienzpotenziale in der Lebensmittelproduktion - Beispiel Fisch
3.5.2	Ressourceneffizienzpotenziale in der Lebensmittelproduktion - Beispiel Obst
3.5.3	Ressourceneffizienzpotenziale in der Lebensmittelproduktion - Beispiel Gemüse
3.5.4	Ressourceneffizienzpotenziale der intelligenten Landtechnik am Beispiel des Einsatzes von Stickstoffsensoren in der Düngung
3.6	Verkehr – Infrastruktur birgt mehr Effizienzpotenzial als Antriebssysteme
3.6.1	Ermittlung von Ressourceneinsparpotenzialen im Güterverkehr
3.6.2	Ressourceneffizienz durch Elektrofahrzeuge
3.7	Produktentwicklung an Ressourceneffizienz ausrichten
3.7.1	Beachtung von Ressourceneffizienzkriterien im Produktentwicklungsprozess
3.7.2	Ressourceneffizienzpotenziale durch Umsetzung des Leichtbaus unter Nutzung neuartiger Werkstoffe
3.7.3	Ressourceneffizienzpotenziale höher- und höchstfester Stähle
3.8	Geschäftsmodelle an Ressourceneffizienz orientieren: Produkt Service Systeme (PSS) erfordern Umdenken
3.8.1	Ressourceneffizienzpotenziale durch neuartige Formen von „Nutzen statt Besitzen“ bei Montageanlagen
3.8.2	Ressourceneffizienzpotenziale durch Production on demand

Quelle: Eigene Darstellung

3.2 Querschnittstechnologien und "Enabling-Technologien": Türöffner für ressourceneffiziente Anwendungen

Im Rahmen der Studie erfolgten Analysen zu Membrantechnologie, Energiespeicherung und Dämmstoffsystemen. Tab. 5 zeigt die thematische Übersicht zu den Themen des Handlungsfeldes „Querschnittstechnologien“:

Tab. 5: Übersicht der Themen des Handlungsfeldes „Querschnittstechnologien“

Nr.	Thema / Handlungsfeld
3.2	Querschnittstechnologien: große Potenziale durch Übertragbarkeit und neue Anwendungsfelder
3.2.1	Ermittlung von Ressourceneffizienzpotenzialen im Bereich der Abwasserfiltration durch Membrantechnologie
3.2.2	Ressourceneffiziente Energiespeicherung: Vergleich von direkter und indirekter Speicherung für elektrifizierte PKWs
3.2.3	Ressourceneffizienzpotenzialen bei der Energiespeicherung - ressourceneffiziente Wärmespeicher
3.2.2	Ressourceneffizienzpotenziale von Dämmstoffsystemen

Quelle: Eigene Darstellung

Ergebnisse: 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 Hilfstechnologien 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.

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 (Abb. 3), zumal es in Deutschland ca. 9.000 weitere Anlagen andern 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 NaNiCl_2 - (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.

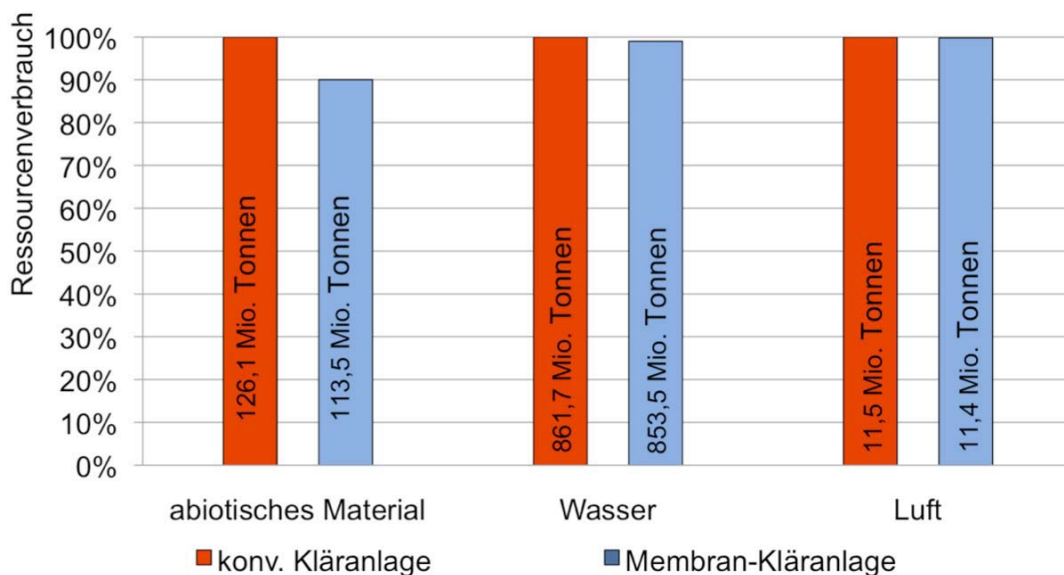
3.2.1 Ermittlung von Ressourceneffizienzpotenzialen im Bereich der Abwasserfiltration durch Membrantechnologie

Einleitung: Angesichts des wachsenden Bedarfs an sauberem Wasser, nicht nur als Trinkwasser, sondern auch zur Erzeugung von Nahrungsmitteln infolge der steigenden Weltbevölkerung, ist eine nachhaltige und effiziente Reinigung von Siedlungsabwasser erforderlich. Das so gewonnene Brauchwasser kann auch für landwirtschaftliche Zwecke weiterverwendet werden und so den Verbrauch von Trinkwasser verringern.

Methodik: Vor diesem Hintergrund erfolgt in der Arbeit ein Vergleich zwischen einer konventionellen kommunalen Kläranlage (K-KA) mit 5.800 angeschlossenen Einwohnern und einer mit einem Membranbioreaktor (MBR-KA) ausgestatteten Kläranlage gleicher Größenordnung. Deutschlandweit sind derzeit insgesamt ca. 10.000 kommunale Kläranlagen in Betrieb, welche sich auf fünf Größenklassen verteilen (s. Leck 2010).

Ergebnisse: Die Ergebnisse belegen ein deutliches Einsparpotenzial durch Anwendung der MBR-Technologie (s. Abb. 3). Es wird eine Einsparung von 14 % bei der Masse der Anlagenkomponenten, v.a. durch den Wegfall der Nachklärung, erzielt. Weiterhin können 10 % an abiotischem Material infolge des geringeren Bedarfs an Beton und Stahl und 1 % am Wasserbedarf eingespart werden. Der Luftbedarf bleibt bei K-KA und MBR-KA, infolge des durch die MBR-Technik verursachten Energiemehrbedarfs während des Betriebs über 30 Jahre, nahezu konstant. Für die in Deutschland betriebenen 913 kommunalen Kläranlagen der betrachteten Größenordnung (Anlagengröße 3) bedeutet dies ein Ressourcenpotenzial von 29,6 Mio. Tonnen.

Abb. 3: Potenzialanalyse für die betrachtete Anlagengröße 3 (913 Anlagen) in Deutschland



Quelle: Leck et al. 2010

Handlungsempfehlung: Aufgrund des guten Ressourceneffizienzpotenzials und der damit verbundenen Einsparung trotz energetischen Mehrbedarfs sollte der Einsatz der Membranbioreaktortechnologie im kommunalen Bereich weiter gefördert werden. Des Weiteren sind Projekte und Untersuchungen im Bereich der Faulgasgewinnung und dessen energetischer Nutzen in Blockheizkraftwerken zur Eigenverstromung und damit zur Senkung des Fremdstrombedarfs der Anlagen weiter zu verfolgen. Die Übertragbarkeit der Membranbioreaktortechnik auf kommunale Kläranlagen aller Größenordnungen ist prinzipiell ohne Einschränkung möglich. Zu berücksichtigen ist, dass mit steigender Anlagen- und Membranbioreaktorgröße der Bedarf am Reinigungsmittel Wasserstoffperoxid weiter ansteigt.

3.2.2 Ressourceneffiziente Energiespeicherung: Vergleich von direkter und indirekter Speicherung für elektrifizierte PKWs

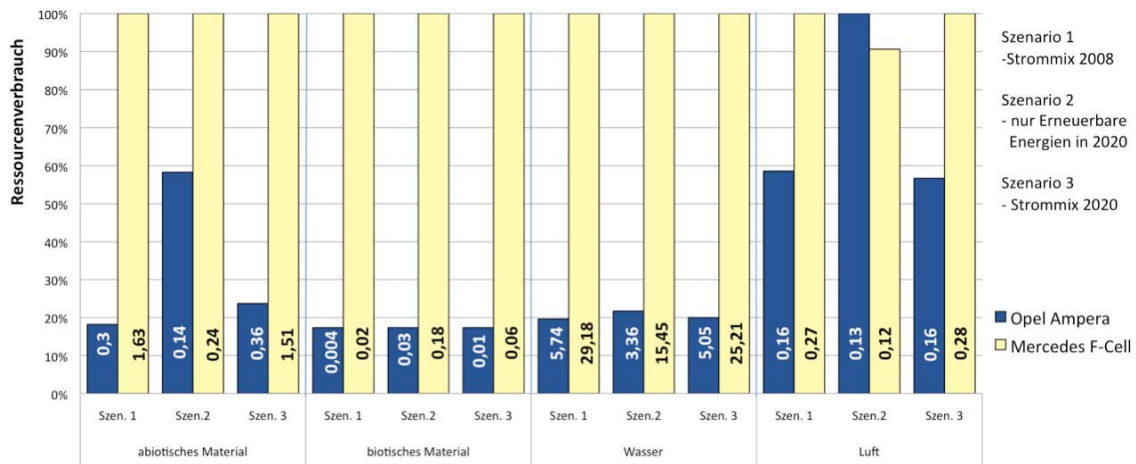
Einleitung: Den elektrifizierten Fahrzeugen wird ein hoher Stellenwert als direkter und indirekter Stromspeicher resp. Stromlieferant zugewiesen. Li-Ionen-Akkus und Brennstoffzellen sind Energielieferanten für den Antrieb, können aber durch intelligente Anbindung („smart grid“) auch Strom ins Netz einspeisen.

Methodik: Zur Quantifizierung der Ressourceneinsätze der unterschiedlichen Energiekonzepte „Li-Ionen-Akku + Benzingenerator“ (Opel Ampera) und „Brennstoffzelle“ (Mercedes Benz A-Klasse „F-Cell“) für den Bereich der rein elektrisch angetriebenen Fahrzeuge wurden die Materialverbräuche bei der Herstellung der Aggregate und die jeweiligen Energieverbräuche während der Nutzungsphase analysiert. Bei der Potenzialabschätzung wurden unterschiedliche Energieszenarien der Stromproduktion zu Grunde gelegt: Strommix Deutschland 2008, Erneuerbare Energien Deutschland 2020, Strommix Deutschland 2020 (Aktualisierungen nach Wiesen 2010).

Ergebnisse: Die Ergebnisse zeigen ein deutliches Ressourceneffizienzpotenzial bei der Akku-Speichertechnologie mit unterstützter Verbrennungsmotorleistung im Opel Ampera trotz hohem Ressourceneinsatz bei der Herstellung der Akkus. Die Wasserstoffproduktion hat einen großen Einfluss auf den Ressourcenverbrauch, selbst bei ausschließlicher Nutzung regenerativen Stroms (Energie-Szenario 2, s. Abb. 4).

Handlungsempfehlung: Elektroautos könnten in den kommenden Jahrzehnten eine wichtige Rolle in der Kurzstrecken-Mobilität einnehmen, wenn neue Fahrzeugkonzepte und optimierte Speichertechnologien den derzeitigen Nachteil gegenüber konventionellen Fahrzeugen aufheben werden. Damit sie auch ressourceneffizient gefahren werden können, müssen die unterschiedlichen Antriebskonzepte weiter optimiert und den Bedürfnissen der Verbraucher angepasst werden. Wegen des noch geringen gesamt-energetischen Wirkungsgrades der Wasserstoffnutzung in Brennstoffzellenantrieben ist die Ressourceneffizienz dieser Technologie trotz hohem Innovationscharakter noch deutlich schlechter als bei den Elektrofahrzeugen mit konventioneller Motorunterstützung.

Abb. 4: Ressourcenverbrauch der untersuchten Fahrzeug-Energiekonzepte (Laufzeit jeweils 200.000 km)



Quelle: Heynen / Büttgen 2010

3.2.3 Ressourceneffizienzpotenziale bei der Energiespeicherung - ressourceneffiziente Wärmespeicher

Einleitung: In dieser Arbeit wurde die ressourceneffiziente Speicherung von Energie in Form von Wärme untersucht. Wärme aus erneuerbaren Energien ist häufig an ihrem Entstehungsort nicht direkt oder effizient nutzbar. Drei alternative Wärmespeicher wurden mit einem konventionellen Wärmespeicher (Edelstahl mit Emaillebeschichtung) verglichen und ihre Ressourceneffizienzpotenziale analysiert.

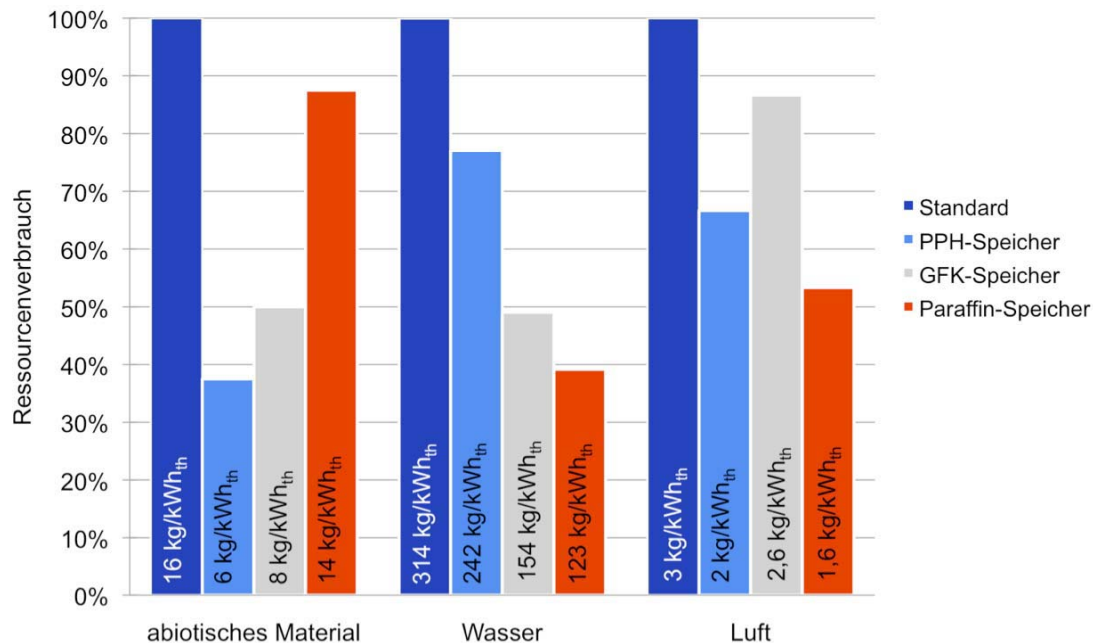
Methodik: Um die Ressourceneffizienzpotenziale quantitativ zu beurteilen, wurden die Materialintensitäten der vier Wärmespeicher nach dem MIPS-Konzept ermittelt, die Serviceeinheit beträgt $\text{kg/kWh}_{\text{th}}$ (s. Seitz 2010), d. h. der Materialeinsatz, pro kWh an gespeicherter thermischer Energie. Wärmeverluste und der Trade-Off zwischen Isolierung und Wärmedurchgang wurden nicht berücksichtigt.

Ergebnisse: Die Berechnung der Materialintensitäten hat ergeben, dass die alternativen Wärmespeicher in den Kategorien abiotisches Material, Wasser und Luft ungleich große Ressourceneinsparpotenziale gegenüber dem konventionellen Wärmespeicher haben (s. Abb. 5) Es zeigt sich, dass die Vergleichsspeicher jeweils in einem Bereich besonders ressourcenschonend sind und in einem anderen verbesserungswürdig sind. Beispielsweise besitzt ein Warmwasserspeicher mit PPH-Dämmung den geringsten abiotischen Ressourcenverbrauch mit $6 \text{ kg/kWh}_{\text{th}}$, allerdings den höchsten im Bereich Wasser, Grund hierfür sind Stahl und Polyurethan. Sämtliche analysierten Alternativspeicher sind jedoch in allen Kategorien ressourceneffizienter als der konventionelle Wärmespeicher.

Handlungsempfehlung: Es zeigt sich, dass alle drei alternativen Wärmespeicher Ressourceneffizienzpotenziale haben. Anzumerken ist, dass sie jeweils andere Vor- und Nachteile besitzen, sodass sich unterschiedliche Einsatzgebiete ergeben. Ein Latentwärmespeicher (Paraffin-Speicher) ist z.B. durch die Verwendung von Paraffin an-

statt Wasser als Speichermedium in der Lage, die vierfache Wärmemenge pro Kilogramm Masse zu speichern. Daher ist er besonders platzsparend.

Abb. 5: Ressourcenverbrauch von drei verschiedenen Wärmespeichern im Vergleich zu einem konventionellen Warmwasserspeicher (Standard) pro kWh_{th}



Quelle: Seitz / Lang 2010

3.2.4 Ressourceneffizienzpotenziale von Dämmstoffsystemen

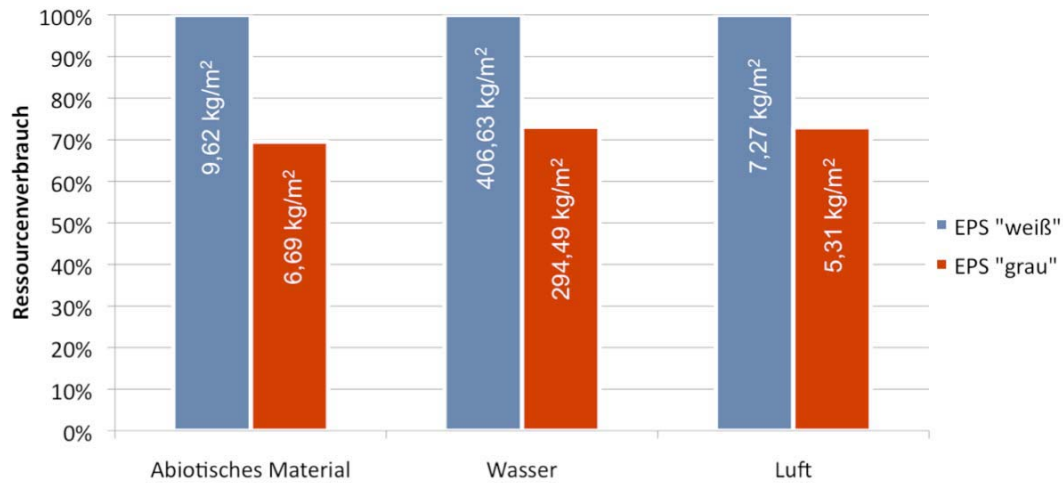
Einleitung: Ca. 40% des Endenergieverbrauchs in Deutschland entfällt auf die Beheizung der derzeit 17,6 Mio. Wohngebäude, von denen ca. 75% vor 1979 gebaut wurden und damit einen niedrigen Wärmedämmstatus aufweisen. Durch die im Bestand erzielbaren Energieeinsparungen durch Wärmedämmmaßnahmen ergibt sich für die nächsten Jahrzehnte ein hoher Sanierungsbedarf und damit verbunden ein nicht unerheblicher Einsatz von Ressourcen, der je nach verwendetem Dämmstoffmaterial und Verbundsystem unterschiedlich ausfallen kann und somit hinsichtlich des Ressourcenaufwands ein Einsparpotenzial ergeben kann.

Methodik: Die Analyse wurde auf zwei expandierte Polystyrol (EPS) - Hartschäume („grau“ und „weiß“) bezogen, die sich durch die Variation der Zusammensetzung (Additive) nur kaum, aber in ihrer Wärmedämmleistung merklich unterscheiden: Das Additiv Graphit wird bei beiden PS-Granulaten verwendet, beim Grundstoff für den EPS-Hartschaum „grau“ jedoch in die PS-Matrix eindiffundiert, was beim Aufschäumen zu einer höheren wärmeabsorbierenden Eigenschaft führt. Dieser Materialgruppe wird ein hohes Marktpotenzial zugesprochen (s. Schniering 2010).

Ergebnisse: Die Untersuchungsergebnisse belegen für den EPS-Hartschaum „grau“ eine geringere Materialintensität als für den EPS-Hartschaum „weiß“. Der abiotische Bedarf liegt bei 69,47%, der Wasserbedarf bei 73,14% und die Luftinanspruchnahme

bei 73,07% des Wertes für den „weißen“ EPS-Hartschaum (s. Abb. 6). Bei einer noch sanierungsfähigen Fassadenfläche von ca. 1,3 – 2,0 Mrd. m² ergibt sich somit ein Einsparpotenzial von bis zu 5,8 Mio. Tonnen abiotischem Material und 215 Mio. Tonnen Wasser, unter Annahme einer vollständigen Sanierung dieser Flächen mit EPS „grau“.

Abb. 6: Ressourcenverbrauch der untersuchten Dämmstoffe pro m²-Fassadenfläche



Quelle: Schniering / Büttgen 2010

Handlungsempfehlung: Ein Zertifizierungssystem sowie Anpassung der Förderbedingungen nach EnEV für ressourceneffiziente Dämmstoffe ist anzustreben. Die Verringerung oder Substitution des Treibgases Pentan sollte trotz geringer Klimarelevanz (Abbau in der Atmosphäre) mittelfristig durch Rechtsverordnung oder freiwillige Leistung der Industrie erreicht werden.

3.3 Regenerative Energien ermöglichen erhebliche Ressourceneinsparungen

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der durchgeführten Potenzialanalysen im Bereich „Regenerative Energien“ (s. Tab. 6) dargestellt.

Tab. 6: Übersicht der Themen des Handlungsfeldes „Regenerative Energien“

Nr.	Thema / Handlungsfeld
3.3	Regenerative Energien ermöglichen erhebliche Ressourceneinsparungen
3.3.1	Ressourceneffizienzpotenziale durch Windenergie und Biomasse
3.3.2	Ressourceneffiziente großtechnische Energieerzeugung: Potenziale von Desertec-Strom
3.3.3	Ressourceneffiziente Energieerzeugung durch Photovoltaik

Quelle: Eigene Darstellung

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 MaRess-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 forcierter Ausbau 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 Transpordistanz 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.

3.3.1 Ressourceneffizienzpotenziale durch Windenergie und Biomasse

Einleitung: Angesichts des wachsenden Energiebedarfs, den damit verbundenen Umweltproblemen, endlichen fossilen Energieträgern und volatilen Rohstoffpreisen ist eine Effizienzsteigerung bei der Energiebereitstellung zwingend notwendig. Um dies zu erreichen, plant die Bundesregierung den Ausbau erneuerbarer Energien. Derzeit liegt der Anteil der erneuerbaren Energien an der Strombereitstellung bei 15 % (Endenergie in 2008), bis 2020 soll er auf 30 % steigen.

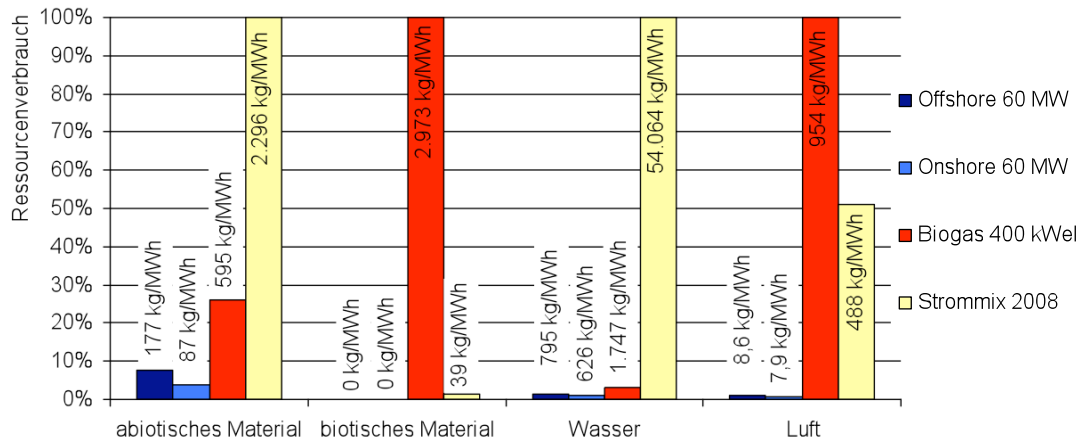
Methodik: In der Arbeit wurde der Ressourcenverbrauch des ersten deutschen Offshore-Windparks (OFFWP) „Alpha Ventus“ mit dem eines Onshore-Windparks (ONWP), der als fiktiver Park mit gleicher installierter Leistung (60 MW) ausgelegt wurde, verglichen. Des Weiteren wurde eine typische Biogasanlage (BGA) mittlerer Leistungsklasse (400 KW_{el}) untersucht (s. Wiesen 2010).

Ergebnisse: Die Untersuchungsergebnisse belegen für den OFFWP einen etwa doppelt so hohen abiotischen Materialbedarf wie für den ONWP (s. Abb. 7). Der Mehrverbrauch des OFFWP ist überwiegend durch das 80 km langen Tiefseekabel begründet, das die elektrische Energie zum Festland leitet und einen Anteil von 64 % am abiotischen Material-Input des OFFWP hat. Beim Wasser- und Luftbedarf ist der Unterschied zum ONWP weniger gravierend. Einen vielfach höheren Ressourcenverbrauch als die Windparks hat die BGA. Großen Anteil am Ressourcenverbrauch haben dabei Beton und Stahl für die Gärbehälter sowie Dünger und Treibstoffbedarf für die Bereitstellung der Substrate.

Handlungsempfehlung: Mit Blick auf den Ressourcenverbrauch des aktuellen Strommixes (Jahr 2008) zeigt sich, dass insbesondere die untersuchten Windparks eine hocheffiziente Variante darstellen, um elektrischen Strom bereitzustellen. Im Vergleich zu Kohlekraftwerken ist auch die BGA um ein Vielfaches effizienter. Daher sollten für eine ressourceneffizientere Strombereitstellung Windenergieanlagen weiter

ausgebaut werden. Mit Einschränkungen empfiehlt sich auch eine Steigerung des Anteils der Biogas-Verstromung.

Abb. 7: Ressourcenverbrauch der untersuchten Stromerzeugungsarten im Vergleich zum deutschen Strommix (Bezugsjahr 2008) pro MWh ab Netz



Quelle: Wiesen et al. 2010

3.3.2 Ressourceneffiziente großtechnische Energieerzeugung: Potenziale von Desertec-Strom

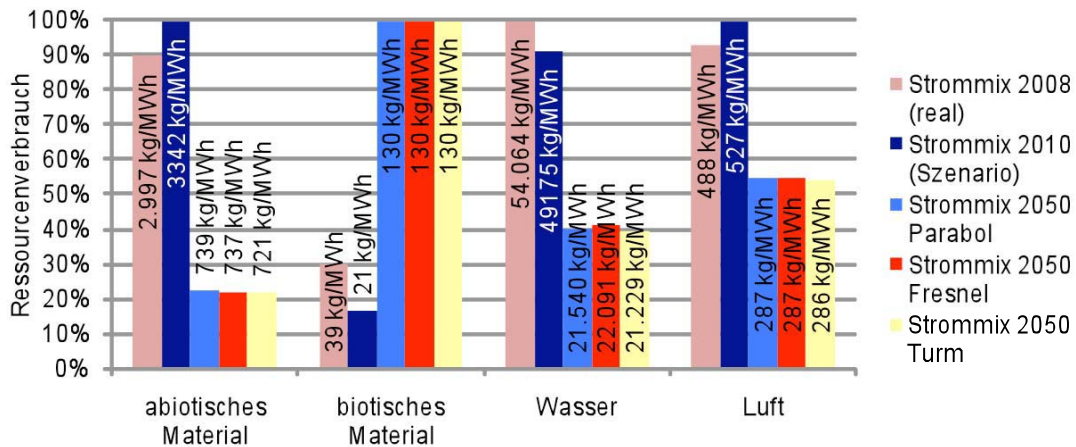
Einleitung: Die Verknappung fossiler Brennstoffe sowie der aus ihrer Verbrennung resultierende Treibhausgasausstoß macht einen Umbau der Energieversorgung hin zu erneuerbaren Energieträgern unumgänglich. Da jedoch die meisten der regenerativen Energieträger nur fluktuierend verfügbar sind, ist Regelleistung – wie z. B. von Desertec geliefert – notwendig. Das Desertec-Konzept sieht vor, in Gebieten mit hoher Solarstrahlung in Nordafrika und dem Nahen Osten mittels solarthermischer Kraftwerke elektrische Energie zu gewinnen und diese nach Europa zu transportieren.

Methodik: In dieser Arbeit wurde der Strommix in der BRD in den Jahren 2008 (real), 2010 und 2050 (Solarstromimport-Anteil von 20%) verglichen. Betrachtet wurden drei Standorte (Marokko, Tunesien, Ägypten) mit drei verschiedenen Kraftwerkskonzepten (Parabolrinne, Fresnelkollektor, Solarturm) zu je zwei Zeitpunkten (2030, 2050) inkl. Hochspannungsgleichstromübertragung in das europäische Verbundnetz. Diese Ausbaustufen wurden anschließend auf ein Desertec-Ausbauszenario hochgerechnet.

Ergebnisse: Der überwiegend regenerativ geprägte Strommix 2050 weist mit Ausnahme der biotischen Ressourcen auf Grund des höheren Biomasseanteils einen deutlich geringeren Ressourcenverbrauch gegenüber dem Strommix 2010 auf (s. Abb. 8). Im Vergleich zeigt sich, dass Solarturmkraftwerke die ressourceneffizienteste Variante der drei betrachteten Kraftwerkskonzepte sind. Großen Anteil am Ressourcenverbrauch haben vor allem Salz (KNO_3 ; als Wärmeträger- bzw. Speichermedium), Wasser (zur Spiegelreinigung und als Kühlwasser), Beton und Erdaushub (für die Spiegelfundamente) sowie Kollektormaterialien (Stahl, Glas) (s. Samus 2010).

Handlungsempfehlung: Das aufgezeigte Ressourceneinsparpotenzial spricht eindeutig für einen regenerativen Strommix. Standort-Variationen zeigen, dass bei der Umsetzung von Desertec vor allem auf Küstennähe zu achten ist, um die Wasserversorgung durch Meerwasser-Desalination sichern zu können, Transportstrecken zu minimieren sowie Erschließungsinfrastruktur einzusparen.

Abb. 8: Vergleich des Ressourcenverbrauchs des deutschen Strommixes in den Jahren 2008, 2010 und 2050 unter Berücksichtigung dreier Desertec-Konzepte mit unterschiedlichen Kraftwerksarten



Quelle: Samus et al. 2010

3.3.3 Ressourceneffiziente Energieerzeugung durch Photovoltaik

Einleitung: Mit dem stetigen Wachstum des globalen Energiebedarfs wird die Notwendigkeit einer langfristig gesicherten und nachhaltigen Energieerzeugung immer deutlicher. Hierbei profiliert sich vor allem die Sonne als Energielieferant mit dem größten technisch nutzbaren Potenzial aller erneuerbaren Energien. Durch das starke Wachstum der Solarbranche sollen 2030 etwa 9 % der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland durch Photovoltaik (PV) gedeckt werden (BMU 2009). Dies führt aber zu einem zunehmenden Rohstoffverbrauch und so wird die Frage nach Umweltverträglichkeit und Ressourcenschonung immer dringender.

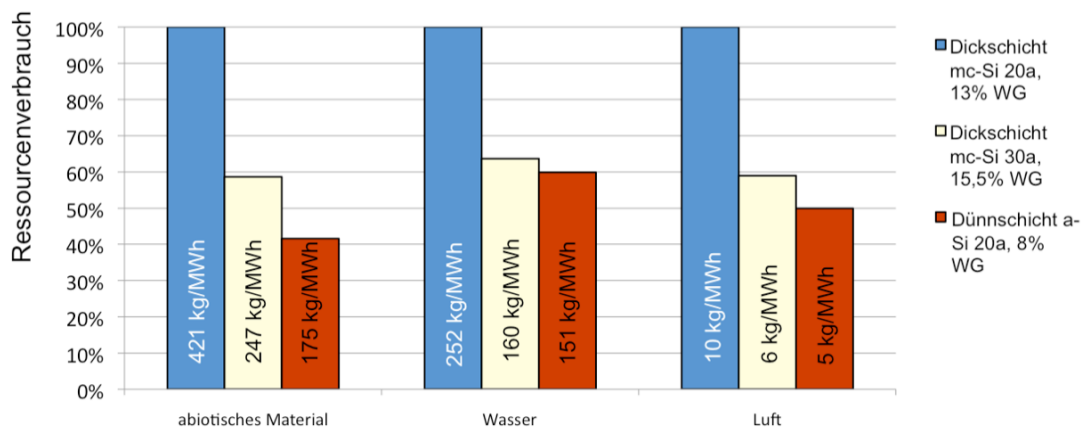
Methodik: Hierzu erfolgte eine Analyse des derzeitigen Status und der Perspektiven des Photovoltaikmarktes mit Fokussierung auf zwei besonders relevante Technologien - Dickschichtmodule aus multikristallinem Silicium (mc-Si) und Dünnschichtmodule aus amorphem Silicium (a-Si) – die hinsichtlich ihres Ressourcenverbrauchs bewertet wurden (s. Cholewa 2010).

Ergebnisse: Die Untersuchungsergebnisse belegen für die multikristallinen Silizium-(mc-Si) Dickschichtmodule trotz des höheren Wirkungsgrads (WG=13 %) einen mehr als doppelt so hohen abiotischen Ressourcenverbrauch im Vergleich zu den amorphen (a-Si) Dünnschichtmodulen, was sich weitestgehend auf Grund des dickeren Modulaufbaus erklären lässt (s. Abb. 9). Die Bereitstellung von Installationsflächen für PV-Anlagen ist für die Dickschichtsysteme dagegen um 40 % geringer als für die Dünnschichtsysteme. Durch höhere Lebensdauer (30 a) und Wirkungsgradsteigerung (auf

15,5 %) lässt sich der Ressourcenverbrauch jedoch deutlich reduzieren. Auf Deutschland hochgerechnet kann unter Annahme eines PV-Anteils am regenerativ erzeugten Strom von 9 % das Ressourceneinsparpotenzial bei Verwendung der Dünnschicht-technologie bis zu 91 Mio. Tonnen abiotischer Materialien betragen.

Handlungsempfehlung: Der Ausbau der PV-Stromerzeugung und die Steigerung der Effizienz der Module, gerade im Bereich der Dünnschichttechnik, die ein vielfältiges Anwendungsfeld, z.B. Fassadenelemente und Lärmschutzwände, eröffnet, sollte weiter gefördert werden. Die Entwicklung geeigneter und wirtschaftlicher Stromspeichertechnologien ist dabei ein ebenso wichtiger Baustein und unverzichtbar für den Aufbau einer ressourceneffizienten Energieversorgung.

Abb. 9: Ressourcenverbrauch von Dünn- und Dickschicht-PV-Laminaten in kg/MWh



Quelle: Cholewa / Büttgen 2010

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“ (s. Tab. 7).

Tab. 7: Übersicht der Themen des Handlungsfeldes „Informations- und Kommunikationstechnologie“

Nr.	Thema / Handlungsfeld
3.4	Der Wachstumsmarkt Informations- und Kommunikationstechnologie (IuK) benötigt ein sorgfältiges Ressourcenmanagement
3.4.1	Ressourceneffizienzkriterien im Design
3.4.2	Green IT: Ressourceneffizienzpotenziale von Server Based Computing
3.4.3	Green IT: Ressourceneffizienzsteigerung bei IKT – Displayarten im Vergleich
3.4.4	Ressourceneffizienzpotenziale beim Recycling von kleinen Elektro- und Elektronikgeräten durch Rückgewinnung aus dem Hausmüll mit Hilfe einer RFID-Kennzeichnung der Primärprodukte

Quelle: Eigene Darstellung

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.

3.4.1 Ressourceneffizienzkriterien im Design

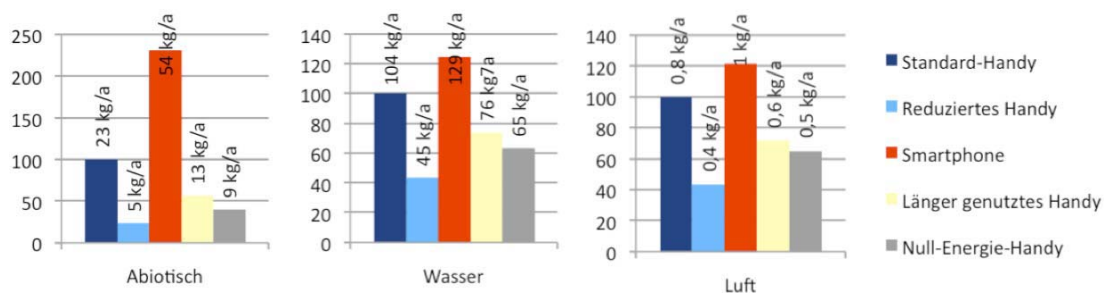
Einleitung: In der Arbeit wurden die Ressourceneffizienzkriterien im Design am Beispiel Mobiltelefon untersucht und in der Gestaltung eines Handys exemplarisch umgesetzt. Ziel war, die Nutzungsintensität der enthaltenen Ressourcen zu erhöhen.

Methodik: Anhand von Ressourceneffizienzkriterien wurde eine Reihe von Konzepten zur Dematerialisierung der Handynutzung ausgearbeitet. Dazu zählen ein gewichts- und funktionsreduziertes Handy, ein Smartphone mit erweiterten Funktionen, ein Handy, das einer doppelten Nutzungsdauer unterliegt sowie ein Null-Energie-Handy, das sämtliche benötigte Energie aus der Umgebung bezieht. Im Rahmen der Diplomarbeit wurde eine reduzierte Variante des Mobiltelefons gestaltet. In der Potenzialanalyse wurden die verschiedenen erarbeiteten Handy-Konzepte mit einem „Durchschnittshandy“ verglichen. Aufgrund der komplexen Materialzusammensetzung und der nicht vollständigen Datenlage wurden die Potenziale auf einer relativ groben Basis errechnet.

Ergebnisse: Die Berechnungen beziehen sich auf die einjährige Nutzung eines 100 Gramm schweren Handys inklusive Verpackung, Ladegerät und Stromverbrauch während der Nutzung. Beim Durchschnittshandy ergibt sich so ein abiotischer Ressourcenverbrauch von ca. 23,2 kg pro Handy pro Jahr, der Wasserverbrauch liegt bei 103,5 kg/a, der von Luft bei 0,8 kg/a und der von biotischem Material bei 0,3 kg/a, wobei letzterer durch die Verpackung anfällt. Beim reduzierten Handy sinkt der jährliche Ressourcenverbrauch durch den verminderten Materialeinsatz bei Verlängerung der Nutzungsdauer deutlich. Ebenso verbraucht das Null-Energie-Handy deutlich weniger Ressourcen, u. a. durch den Wegfall von Ladegerät und Stromverbrauch. Beim Smartphone steigt der Ressourcenverbrauch (s. Abb. 10). Wird dadurch allerdings die Anschaffung bzw. Herstellung anderer Geräte vollständig vermieden, kann es eine spürbare Ressourceneinsparung ermöglichen (s. Simon 2010).

Handlungsempfehlung: Die Möglichkeiten der Materialeinsparung bei Mobiltelefonen lassen verbunden mit dem Massenkonsum der Geräte große Einsparmöglichkeiten im Bereich der Konsumprodukte erahnen. Daher sollte die Anwendung von Ressourceneffizienzkriterien im Design forciert werden.

Abb. 10: Vergleich der Ressourcenverbräuche der Handy-Konzepte



Quelle: Simon et al. 2010

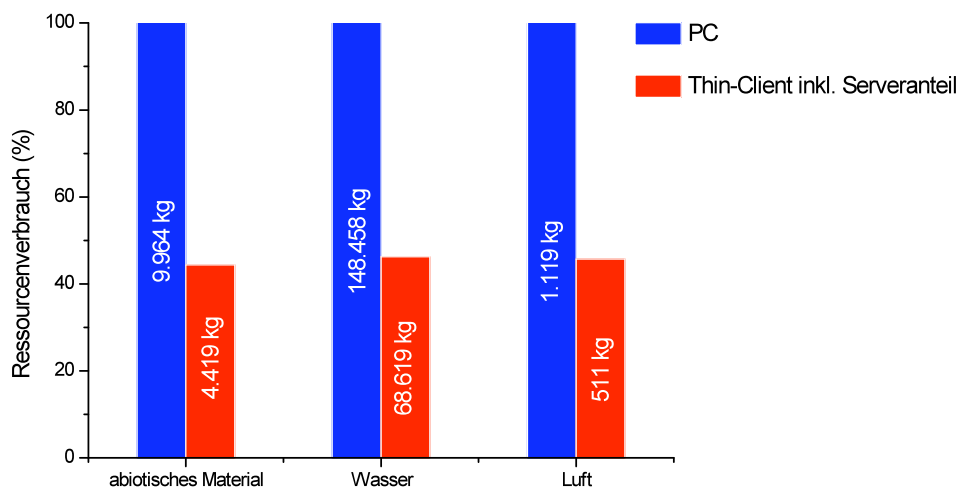
3.4.2 Green IT: Ressourceneffizienzpotenziale von Server Based Computing

Einleitung: Thin-Clients können am Arbeitsplatz ebenso eingesetzt werden wie PCs. Sie sind deutlich kleiner als PCs, da sowohl die Datenverarbeitung als auch die Rechenleistung auf einem externen Server stattfindet. Die Nutzung von Thin-Clients lässt im Vergleich zur Nutzung von PCs ein Ressourceneinsparpotenzial erwarten.

Methodik: In der Arbeit wurde die Hypothese geprüft, dass Thin-Clients aus ressourcenökonomischer Sicht PCs vorzuziehen sind. Dazu wird die Material-Intensitäts-Analyse zur Bewertung der beiden IT-Varianten herangezogen (s. Maga 2010).

Ergebnisse: In den drei Kategorien – abiotisches Material, Wasser und Luft – ist der PC mit einem größeren Ressourcenverbrauch verbunden als der Thin-Client inkl. Serveranteil und dessen Kühlung. Der durch einen PC verursachte abiotische Materialverbrauch ist ca. doppelt so groß wie bei einem Thin-Client einschließlich Serveranteil (10 t zu 4,5 t). Auch die im gesamten Lebenszyklus verursachten Wasser- und Luftverbräuche liegen bei einem PC ungefähr doppelt so hoch wie bei dem alternativen Thin-Client (148,5 t/1,1 t zu 69 t/0,5 t) (s. Abb. 11). In allen Kategorien entstehen die größten Ressourcenverbräuche (zwischen 80 und 98 %) in der Nutzungsphase. Das bedeutet, dass der Stromverbrauch der Hauptverursacher für den Ressourcenverbrauch ist. Neben der Nutzungsphase hat der Einsatz von Werkstoffen in den IT-Geräten einen nennenswerten Einfluss auf den Verbrauch des abiotischen Materials (ca. 17 % für den PC und ca. 13 % im Falle des Thin-Clients).

Abb. 11: Ressourcenverbrauch von PC und Thin-Client inkl. Serveranteil bei einer Nutzungsdauer von 5 Jahren über den gesamten Lebenszyklus



Quelle: Maga et al. 2010

Handlungsempfehlung: Da die Nutzungsphase (der Stromverbrauch) Hauptverursacher für den Ressourcenverbrauch ist, sollte die Entwicklung und der Einsatz von IT-

Geräten mit geringem Stromverbrauch gefördert werden. Sinnvoll ist auch eine weitere Reduzierung von Edelmetallen in IT-Geräten. Kampagnen zur Verwendung von Thin-Clients könnten zu einer verstärkten Verbreitung beitragen.

3.4.3 Green IT: Ressourceneffizienzsteigerung bei IKT – Displayarten im Vergleich

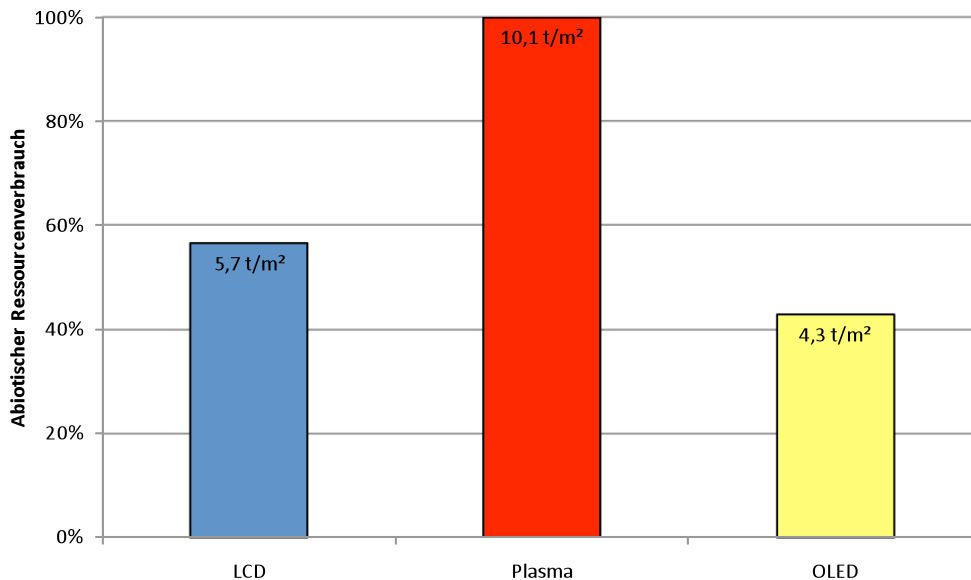
Einleitung: Bedingt durch die stetig wachsende Nachfrage und die Integration von Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) in immer mehr Aktivitäten des alltäglichen Lebens ist eine Steigerung der Ressourcen- und Energieeffizienz notwendig. In fast allen Geräten der IKT sind Bildschirme enthalten. Diese bestehen zum Teil aus seltenen Metallen, welche schwer zu beschaffen sind und einen hohen Ressourcenverbrauch verursachen.

Methodik: In der Arbeit wurden Flüssigkristallbildschirme, Plasma Display Panels und organische Leuchtdioden (OLED) untersucht und miteinander verglichen um die ressourcenschonendste Displayvariante zu ermitteln (s. Werner 2010). Zur Vergleichbarkeit erfolgt eine Normierung auf eine einheitliche Displaygröße. Die Ergebnisse sind auf Basis des Energieverbrauchs der Displays in der Einheit kg/m^2 Bildschirmfläche bei einer durchschnittlichen Nutzungszeit von fünf Jahren und 3,5 Stunden Nutzung täglich dargestellt, um über die Materialintensität des verwendeten Stroms Rückschlüsse auf den Ressourcenverbrauch zu ziehen. Die Ressourcenaufwendungen zur Herstellung der Displays konnten nicht adäquat berücksichtigt werden. In einer groben Abschätzung der Materialzusammensetzung unter Vernachlässigung der Mikroelektronik zeigt sich, dass die im Displays verarbeiteten Materialien nur einen geringen Einfluss auf die lebenszyklusweiten Ressourcenverbräuche haben (bspw. bei LCDs sind diese $<10\%$ des MIPS).

Ergebnisse: Die Ergebnisse aus Abb. 12 deuten darauf hin, dass OLEDs während ihrer Nutzungsphase die geringste Materialintensität aufweisen, da ihr Strombedarf 14% unter LCDs und sogar 57% unter PDPs liegt. Grundlage hierfür bildet die Ablösung der vorherrschenden Displayart LCD und Plasma Panel durch die organischen Leuchtdioden (OLED), wodurch als Reboundeffekt große Mengen Elektronikschrott anfallen können. Diese verursachen u.a. beim Recycling gesundheitsschädliche Quecksilberemissionen.

Handlungsempfehlung: OLEDs sind im Hinblick auf den Ressourcenverbrauch und ihre Anwendbarkeit als aussichtsreich zu betrachten. Allerdings sind diese derzeit nur in wenigen Segmenten wettbewerbsfähig. Eine wesentlicher Treiber für den Ressourcenverbrauch liegt in der Leistungsaufnahme der Geräte, wobei zukünftig präzise Untersuchungen der hier nicht ausreichend berücksichtigten Herstellungs- und Verwertungsphase erfolgen sollten.

Abb. 12: Das Verhältnis des Ressourceneinsatzes zwischen den drei Technologien LCD, Plasma und OLED in Abhängigkeit vom deutschen Strommix (2008), bei Vernachlässigung der Herstellungsphase.



Quelle: Werner et al. 2010

3.4.4 Ressourceneffizienzpotenziale beim Recycling von kleinen Elektro- und Elektronikaltgeräten durch Rückgewinnung aus dem Hausmüll mit Hilfe einer RFID-Kennzeichnung der Primärprodukte

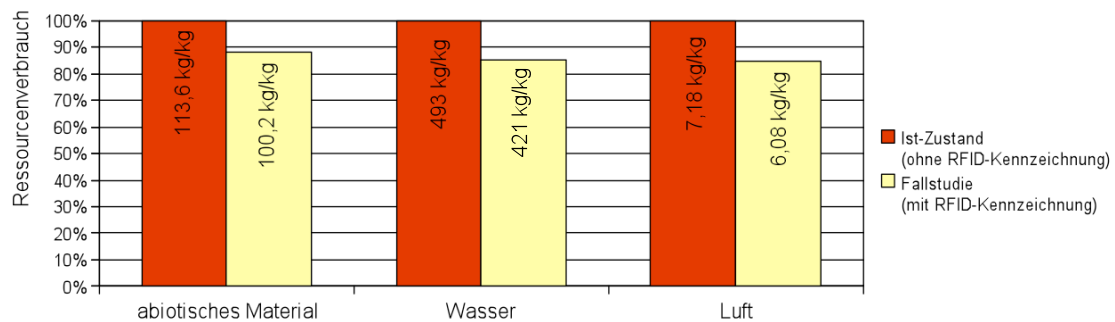
Einleitung: Die Mengen an Elektro-/Elektronikaltgeräten (EAG) steigen und enthalten Wertstoffe wie Metalle, Edelmetalle und Kunststoffe. In Deutschland werden Altgeräte gemäß dem ElektroG getrennt gesammelt und dem Recycling zugeführt. Viele „Mülltonnen-gängige“ kleine EAG finden jedoch nicht den Weg in das Rücknahmesystem und die enthaltenen Wertstoffe gehen in Müllverbrennungsanlagen (MVA) verloren. Die Kennzeichnung der Primärprodukte mit Etiketten für Radio Frequency Identification (RFID) und die Vorschaltung eines automatisierten Sortiervorgangs bei den MVA könnte die Rückführung der Wertstoffe in den Stoffkreislauf unterstützen.

Methodik: Vor diesem Hintergrund erfolgt ein Vergleich des Ressourcenverbrauchs für ein Kilogramm Recyclat aus kleinen EAG auf Basis der für das Jahr 2006 gemeldeten Verwertungsquoten mit einem Szenario, in dem 80% der aus dem Hausmüll zu den MVA gelangenden kleinen EAG automatisch erkannt, aussortiert und zusätzlich dem Rücknahmesystem für EAG zugeführt werden.

Ergebnisse: Durch das Recycling eines Teils der in der Hausmüllfraktion befindlichen kleinen EAG mit Hilfe der automatisierten Aussortierung ist der Materialbedarf pro kg EAG-Recyclat trotz Mehraufwand durch die RFID-Etiketten in den betrachteten Ressourcenkategorien um über 10 % geringer (s. Abb. 13). Bezogen auf die Referenzmengen des Jahres 2006 bei einer Zusammensetzung der kleinen EAG entsprechend den Verkaufszahlen des Jahres 2008 ergibt sich für Deutschland ein Potenzial für zu-

sätzlich recycelbare Wertstoffe in Höhe von 5,7 Tsd. t. Die Ressourceneffizienzpotenziale betragen somit pro Jahr für abiotisches Material ca. 270 Tsd. t, für Wasser ca. 1.300 Tsd. t und für Luft ca. 21 Tsd. t. Es lassen sich auch seltene bzw. wertvolle Wertstoffe zurückgewinnen, die teilweise einen großen „ökologischen Rucksack“ aufweisen.

Abb. 13: Ressourcenverbrauch pro kg Recyclat mit Einsatz von RFID-Kennzeichnung (Fallstudie) bezogen auf die für das Jahr 2006 gemeldeten Verwertungsquoten (Ist-Zustand)



Quelle: Udes et al. 2010

Handlungsempfehlung: Mit Blick auf den weiter zunehmenden Ressourcenverbrauch durch Elektro-/Elektronikgeräte besteht Handlungsbedarf beim Schließen der Stoffkreisläufe für diese Produkte. Eine verpflichtende Kennzeichnung der in Deutschland verkauften Geräte mit RFID-Tags könnte ein effizienteres Recycling unterstützen.

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 (vgl. Tab. 8).

Tab. 8: Übersicht der Themen des Handlungsfeldes "Lebensmittel"

Nr.	Thema / Handlungsfeld
3.5	Lebensmittel – Betrachtung von Produktion und Konsum notwendig
3.5.1	Ressourceneffizienzpotenziale in der Lebensmittelproduktion - Beispiel Fisch
3.5.2	Ressourceneffizienzpotenziale in der Lebensmittelproduktion - Beispiel Obst
3.5.3	Ressourceneffizienzpotenziale in der Lebensmittelproduktion - Beispiel Gemüse
3.5.4	Ressourceneffizienzpotenziale der intelligenten Landtechnik am Beispiel des Einsatzes von Stickstoffsensoren in der Düngung

Quelle: Eigene Darstellung

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

Obstanbau 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.

3.5.1 Ressourceneffizienzpotenziale in der Lebensmittelproduktion – Beispiel Fisch

Einleitung: Der Anteil des Bedarfsfeldes Ernährung am Ressourcenverbrauch in Deutschland liegt bei ca. 20 %. Aufgrund des großen Anteils lassen sich erhebliche Ressourceneffizienzpotenziale im Bereich der unterschiedlichen Wertschöpfungsketten von Nahrungsmittelprodukten erwarten. Vor diesem Hintergrund wurde in dieser Arbeit der Bereich Fisch analysiert. Mit einem durchschnittlichen weiter wachsenden Pro-Kopf-Verbrauch von 15,6 kg (Fanggewicht) pro Bundesbürger im Jahr 2008 ist Fisch ein immer wichtiger werdendes Lebensmittel.

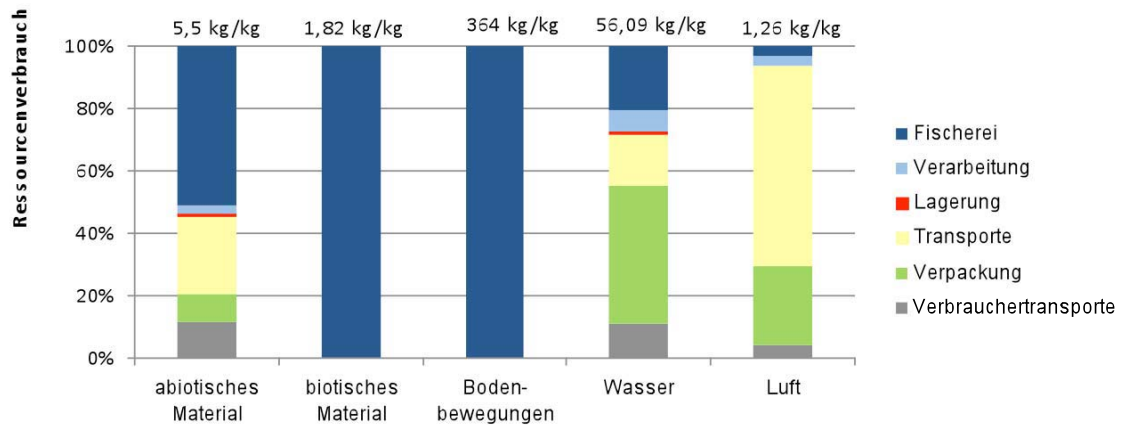
Methodik: In dieser Arbeit erfolgte die Ermittlung der Ressourceneffizienzpotenziale der Lebensmittelgruppe Fisch mit den Fallbeispielen Alaska Seelachs, Seelachs, Hering, Kabeljau und Thunfisch in verschiedenen Verarbeitungsformen und Fangländern.

Ergebnisse: Bei der Betrachtung von Fischfang-Methoden wird deutlich, dass es zwei wichtige Faktoren gibt, die einen großen Einfluss auf den Ressourcenverbrauch nehmen. Zum Einen der bei Fischfang entstehende Beifang von ca. 40 %, der sich im MIT-Faktor biotisches Material widerspiegelt. Abb. 14 zeigt am Beispiel „Fang von Kabeljau“, dass 1,82 kg/kg biotisches Material pro Serviceeinheit bei konventionellen Fangmethoden verbraucht werden. Zum Anderen die Ressourcenkategorie Bodenbewegung, sprich der Anteil an Meeresboden, der durch konventionelle Methoden aufgewirbelt und somit verletzt wird (364 kg/kg) (s. Lukas 2010).

Handlungsempfehlung: Bei der Lebensmittelgruppe Fisch wird deutlich, dass durch nachhaltigere Fischereimethoden, die weniger Bodenbewegung erzeugen, die negativen Folgen des Eingriffs in das Ökosystem „Meeresboden“ eingeschränkt werden könnten. Dieser Aspekt hat bis heute nur wenig Beachtung in der wissenschaftlichen Diskussion gefunden, muss in der Zukunft aber unbedingt detaillierter betrachtet wer-

den. Darüber hinaus muss die relativ große Menge an Beifang verringert werden. Idealerweise durch den Einsatz von effizienteren Fangmitteln und -methoden.

Abb. 14: Ressourcenverbrauch am Beispiel „Fang und Verarbeitung von Kabeljau zu Filet“



Quelle: Eberhard et al. 2010

3.5.2 Ressourceneffizienzpotenziale in der Lebensmittelproduktion – Beispiel Obst

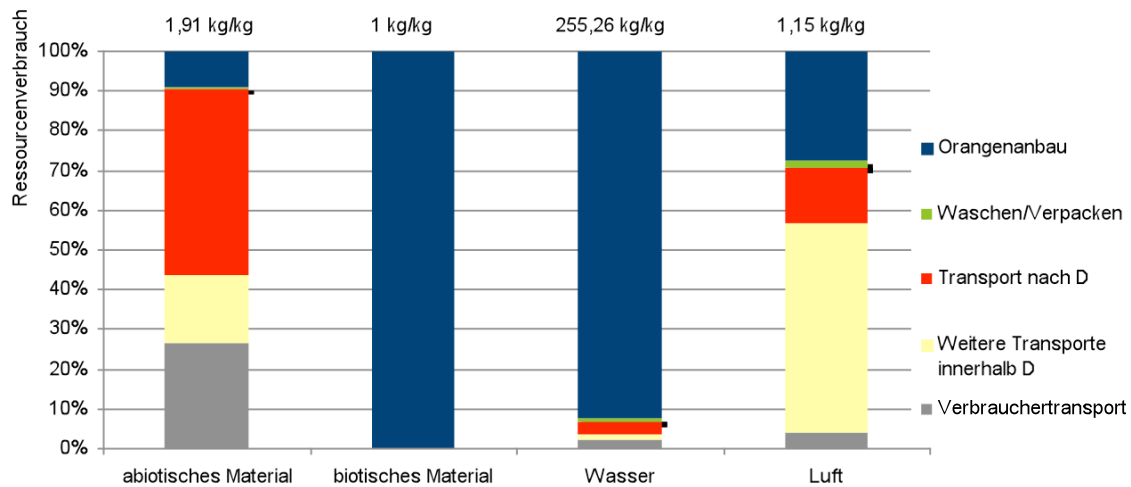
Einleitung: Der Anteil des Bedarfsfeldes Ernährung am Ressourcenverbrauch in Deutschland liegt bei ca. 20 %. Aufgrund des großen Anteils lassen sich erhebliche Ressourceneffizienzpotenziale im Bereich der unterschiedlichen Wertschöpfungsketten von Nahrungsmittelprodukten erwarten. Vor diesem Hintergrund wurde in dieser Arbeit der Bereich Obst analysiert. Im Jahr 2007 haben die deutschen Haushalte durchschnittlich 86 Kilogramm Frischobst je Haushalt eingekauft. Äpfel (20,7 kg), Bananen (16,9 kg) und Orangen (10 kg) sind die am häufigsten eingekauften Frischobstarten in Deutschland.

Methodik: In dieser Ausarbeitung erfolgte die Ermittlung der Ressourceneffizienzpotenziale der Lebensmittelgruppe Obst mit den Fallbeispielen Orangen, Erdbeeren, Äpfel und Bananen mit unterschiedlichen Anbauarten (s. Stöwer 2010).

Ergebnisse: In allen Szenarien des Obstbaus wird deutlich, dass „Wasser“ ein wichtiger Faktor in Bezug auf den Materialaufwand ist. Besonders die Produktion von Orangen (255 kg/kg) und Erdbeeren (249 kg/kg) erfordert viel Wasser. Im Szenario Bananen fällt auf, dass enorme Humusabtragungen in der Erzeugung entstehen (212 kg/kg). Der Verbrauch von abiotischen Materialien und Luft ist im Fallbeispiel Orangen hauptsächlich auf die Transporte zurückzuführen (s. Abb. 15).

Handlungsempfehlung: Potenziale liegen in der weiteren Förderung sparsamer Bewässerungstechnologien und in der Entwicklung von Kriterien und Branchenstandards für Wasser- und Landnutzung im Obstsektor. Durch alternative Anbautechniken, wie z. B. der integrierte oder biologische Anbau, können Dünger- und Pestizideinsatz gesenkt und damit der Materialinput reduziert werden.

Abb. 15: Ressourcenverbrauch am Beispiel „Orangen aus integrierter Produktion in Spanien“



Quelle: Eberhard et al. 2010

3.5.3 Ressourceneffizienzpotenziale in der Lebensmittelproduktion – Beispiel Gemüse

Einleitung: Der Anteil des Bedarfsfeldes Ernährung am Ressourcenverbrauch in Deutschland liegt bei ca. 20 %. Aufgrund des großen Anteils lassen sich erhebliche Ressourceneffizienzpotenziale im Bereich der unterschiedlichen Wertschöpfungsketten von Nahrungsmittelprodukten erwarten. Vor diesem Hintergrund wurde in dieser Arbeit der Bereich Gemüse analysiert. Seit den 1990er Jahren hat der Verzehr von Gemüse in Deutschland deutlich zugenommen. Die am häufigsten gekaufte Gemüseart ist schon seit vielen Jahren die Tomate (pro Kopf Verbrauch 2007: 7,8 kg).

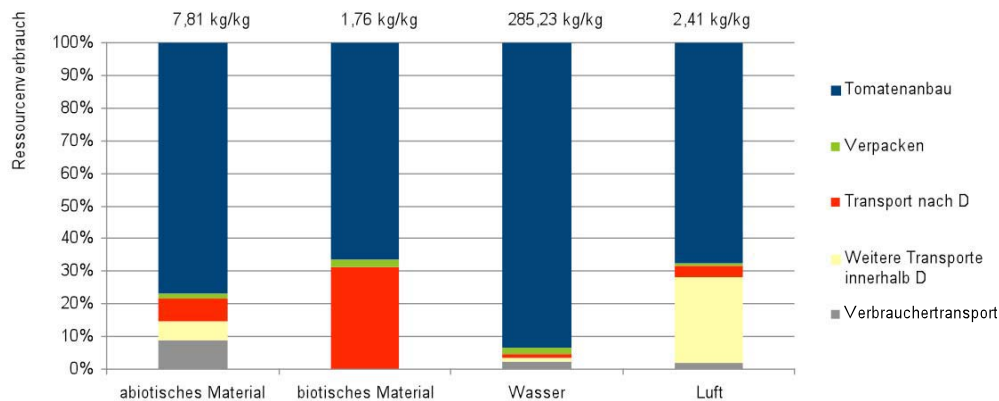
Methodik: Vor diesem Hintergrund erfolgte in dieser Ausarbeitung die Ermittlung der Ressourceneffizienzpotenziale der Lebensmittelgruppen Gemüse am Fallbeispiel der Tomate mit unterschiedlichsten Anbau- bzw. Verarbeitungsarten.

Ergebnisse: Bei den Szenarien des Gemüsebaus (hier: Tomate) wird deutlich, dass „Wasser“, vor allem auch beim Anbauprozess, einen wichtigen Faktor in Bezug auf den Materialaufwand darstellt. Wie Abb. 16 verdeutlicht, ist der Wasserverbrauch beim Tomatenanbau in den Niederlanden, mit 285 kg/kg besonders hoch. Als Ursache hierfür sind zum Beispiel die Materialien Stahl, Beton und Glas des Gewächshauses zu nennen. Auffällig sind auch die hohen Werte der Bodenbewegung in den Szenarien „Spanien“ (36,92 kg/kg) und „Italien“ (64,86 kg/kg) (s. Eberhard 2010).

Handlungsempfehlung: Potenziale für den Gemüsebau liegen in der Förderung sparsamer Bewässerungstechnologien, der Entwicklung neuer Ideen zur Ressourcenschonung, wie z. B. die Senkung des Energieverbrauchs in Gewächshäusern durch spezielles Isolierglas oder die Verwendung von biologisch abbaubaren Clipsen und Schnüren zur Befestigung der Pflanzen. Eine interessante Idee ist der Einsatz von Wasser aus der Fischzucht zur Bewässerung und Düngung. Bereits heute gibt es Stadtteile die

durch die Abwärme aus Gewächshäusern Wärme gewinnen. Durch die Ansiedlung von Gewächshäusern in der Nähe von Wohngebieten können zudem Transportwege reduziert werden.

Abb. 16: Ressourcenverbrauch am Beispiel „Frische Tomaten aus den Niederlanden“



Quelle: Eberhard et al. 2010

3.5.4 Ressourceneffizienzpotenziale der intelligenten Landtechnik am Beispiel des Einsatzes von Stickstoffsensoren in der Düngung

Einleitung: Um für die wachsende Bevölkerung der Erde hochwertige Nahrungsmittel ressourcenschonend zu erzeugen und somit langfristig stabile Erträge zu erzielen, spielt neben dem Züchtungsfortschritt und der Weiterentwicklung von Dünger und Pflanzenschutzmitteln auch Intelligente Landtechnik, also die Nutzung moderner Technologien wie Informationstechnik oder Sensorik, eine Rolle. Aufgrund der Relevanz der Stickstoff (N)-Düngung wurde das Ressourceneffizienzpotenzial der variablen Düngung unter Einsatz von sogenannten N-Sensoren ermittelt. Diese ermitteln die optimale Stickstoffmenge bei variierendem Ernährungszustand des Pflanzenbestandes.

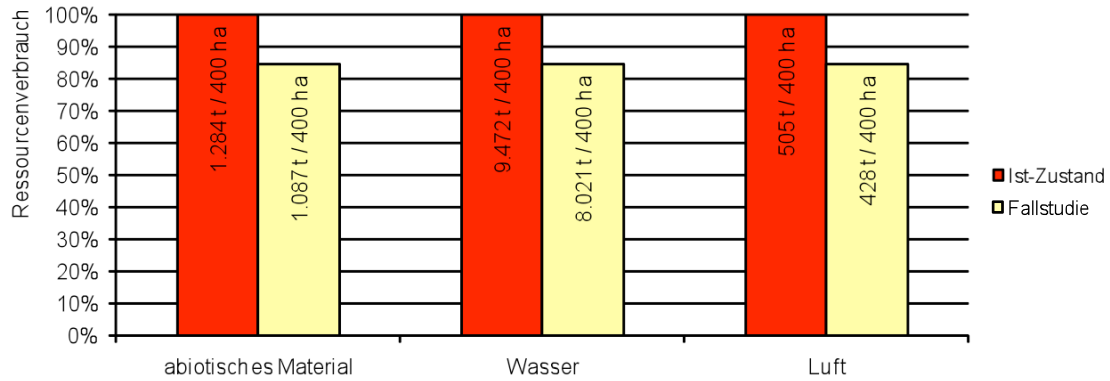
Methodik: Für den weit verbreiteten Weizenanbau wird die konstante Düngung ohne N-Sensor (Ist-Zustand) mit der variablen Düngung mit N-Sensor (Fallstudie) verglichen. Als Serviceeinheit wird der Material-Input für die Düngung von 400 ha Feldfläche verwendet. Berücksichtigt werden die Materialien des Düngers Kalkammonsalpeter, des N-Sensors, der Transport des Düngers sowie der Kraftstoff für das Ausbringen.

Ergebnisse: Durch variable Düngung werden N-Dünger-Einsparungen von 12 % und Mehrererträge von durchschnittlich 6 % (umgerechnet in N-Dünger-Einsparung) angenommen. Für das Untersuchungsbeispiel reduziert sich der Verbrauch abiotischer Materialien um 15,4 %, von Wasser um 15,3 % und von Luft um 15,2 % (Abb. 17).

Handlungsempfehlung: Die variable Düngung mit N-Sensor erscheint aus dem Blickwinkel der Ressourceneinsparung sinnvoll. Ein N-Sensor amortisiert sich erst ab einer gewissen Betriebsgröße, weswegen im Berechnungsbeispiel 400 ha als betrachtete Fläche in einem Betrieb mit 800 ha angenommen wurden. Durch die Umstrukturierung vieler Betriebe hin zu größeren Betriebsflächen werden N-Sensoren für mehr Be-

triebe interessant. Kleinere Betriebe könnten N-Sensoren gemeinsam nutzen, wie dies für andere Maschinen in Maschinenringen bereits seit Jahrzehnten erfolgreich praktiziert wird. Außerdem könnten Lohnunternehmen die Sensoren verleihen oder die Arbeiten in unterschiedlichen Betrieben durchführen.

Abb. 17: Ressourcenverbrauch für die Düngung eines Weizenfeldes von 400 ha Weizenanbaufläche bei variabler Düngung (Fallstudie) bezogen auf die konstante Düngung (Ist-Zustand)



Quelle: Schimanski et al. 2010

3.6 Verkehr – Infrastruktur birgt mehr Effizienzpotenzial als Antriebssysteme

Dieser Abschnitt beschreibt die Ergebnisse der durchgeführten Potenzialanalysen im Themenfeld „Verkehr“ (s. Tab. 9).

Tab. 9: Übersicht der Themen des Handlungsfeldes „Verkehr“

Nr.	Thema / Handlungsfeld
3.6	Verkehr – Infrastruktur birgt mehr Effizienzpotenzial als Antriebssysteme
3.6.1	Ermittlung von Ressourceneinsparpotenzialen im Güterverkehr
3.6.2	Ressourceneffizienz durch Elektrofahrzeuge

Quelle: Eigene Darstellung

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 Emissionsverringering. 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 Ressourceneffi-

zizienzsteigerung nicht nur den Energieverbrauch (bzw. die klimarelevanten Emissionen), 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.

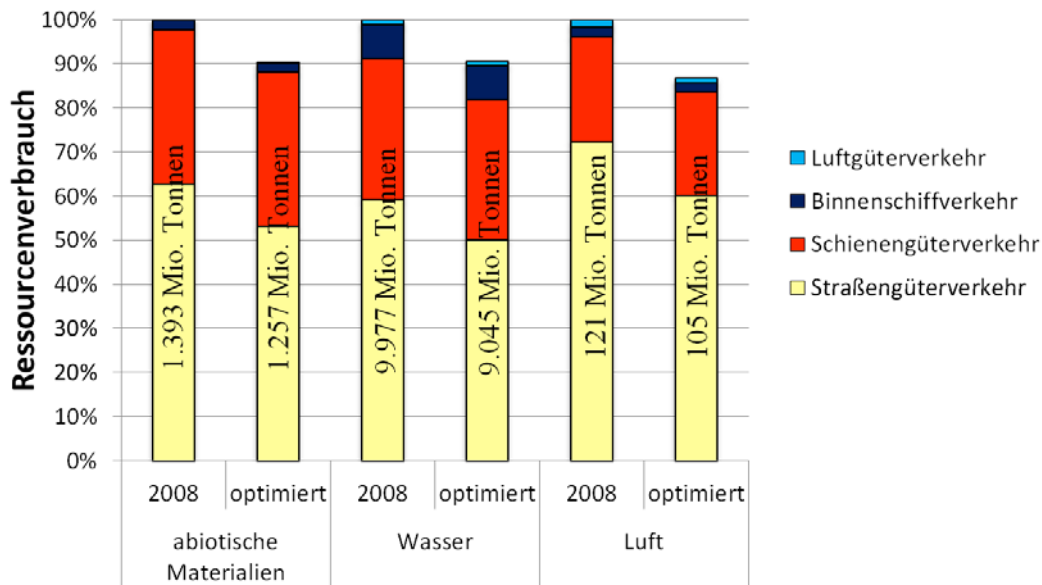
3.6.1 Ermittlung von Ressourceneinsparpotenzialen im Güterverkehr

Einleitung: Der Sektor Verkehr impliziert nach aktuellen Studien neben Bauen und Wohnen sowie Ernährung den größten Ressourcenverbrauch. Während in vielen Bereichen bereits eine Umkehr des Wachstumstrends zu verzeichnen ist, wächst der Verkehrssektor nach wie vor. Das Transportaufkommen betrug im Jahr 2008 insgesamt 4,478 Mrd. Tonnen, die Verkehrsleistung 668,1 Mrd. Tonnenkilometer.

Methodik: In dieser Arbeit wurde der Ressourcenverbrauch von Güterverkehrsträgern ermittelt. Hierzu wurde der bei der Herstellung, Wartung und Nutzung entstehende Ressourcenverbrauch der unterschiedlichen Fahrzeuge sowie der jeweiligen Infrastruktursysteme untersucht. Als Optimierungsmaßnahmen wurden die Einführung von Telematiksystemen, Kraftstoffverbrauchsreduktionen der Fahrzeuge und eine Verkleinerung der Straßenbreite aus der Literatur identifiziert und näher untersucht) (s. Aydin 2010).

Ergebnisse: Es zeigte sich, dass man durch die in der Literatur vorgeschlagenen Maßnahmen beim LKW-Verkehr auf Autobahnen und Bundesstraßen 15 % abiotisches Material und Wasser sowie 17 % Luft einsparen kann. Im Bahngüterverkehr sind Einsparungen zwischen 0,1 % und 2,3 % möglich, im Binnenschiffverkehr zwischen 0,02% und 2,3 %. Beim Luftfrachtverkehr könnte man 14 % abiotisches Material, 2 % Wasser und 32 % Luft sparen. Durch Einführung der hier untersuchten Optimierungsmaßnahmen ist, bezogen auf die Verkehrsleistung 2008 in Deutschland, ein jährliches Einsparpotenzial von 135,6 Mio. Tonnen (10 %) abiotischen Materials, 931,8 Mio. Tonnen (9%) Wasser und 15,9 Mio. Tonnen (13 %) Luft vorhanden (Abb. 18).

Abb. 18: Ressourceneffizienzpotenziale im Güterverkehr in Deutschland (auf Basis 2008)



Quelle: Aydin / Kuhrke 2010

Handlungsempfehlung: Es zeigt sich, dass die Infrastruktur in hohem Maße Ressourcen verbraucht, aber kurzfristig wenig Änderungspotenzial bietet. Betrachtet man die Fahrzeuge, sehen viele Experten ein großes Potenzial in Telematiksystemen. Der Einsatz dieser Technologie sollte forciert werden, um die Auslastung von Fahrzeugen und Infrastruktur zu erhöhen.

3.6.2 Ressourceneffizienz durch Elektrofahrzeuge

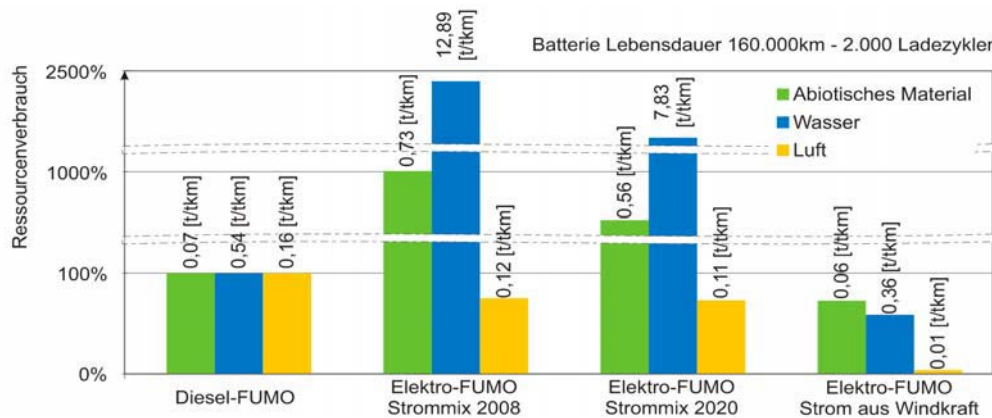
Einleitung: Elektrofahrzeuge gelten derzeit als aussichtsreiche Technologie um Klimaschutz, Energieversorgungssicherheit und die Sicherung der Mobilität in Einklang zu bringen. Am *Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik (ILK)* erfolgte vor diesem Hintergrund die Konzeption und Entwicklung eines elektromotorischen Antriebsstranges für kommunale Nutzfahrzeuge. Im Rahmen dieser Arbeit wurde beispielhaft der lebenswegweite Ressourcenverbrauch eines derartigen Fahrzeugs mit dieselmotorischem und batterieelektrischem Antrieb mittels MIPS verglichen.

Methodik: Im ersten Schritt wurde der Ressourceneinsatz sowohl während der Herstellungs- als auch Nutzungsphase berechnet. Ergänzend wurden durch Sensitivitätsanalysen verschiedene Einflussfaktoren untersucht und deren Auswirkungen auf den Ressourcenaufwand bewertet. Um die Komplexität des Vorhabens zu reduzieren, wurden nur die modifizierten Antriebsstrangsteile ohne das eigentliche Fahrzeug bilanziert.

Ergebnisse: Die Potenzialanalyse macht deutlich, dass sich durch den Einsatz elektrischer Antriebe der lebenszyklusweite Ressourcenverbrauch gegenüber dieselmotorischen Antrieben reduzieren lässt (Abb. 19). Voraussetzung hierfür ist allerdings die Nutzung von elektrischer Energie aus Windstrom. Wird die Energie zum Betreiben des Fahrzeuges dem aktuellen oder für 2020 prognostizierten deutschen Strommix ent-

nommen, so liegen die Ressourcenaufwendungen elektromotorischer Antriebe mit Batteriespeicher deutlich höher. Hervorzuheben ist allerdings, dass der Verbrauch in der MIPS-Kategorie Luft bereits mit dem heutigen Strommix um 20 % gesenkt werden kann und zukünftige Prognosen diesen weiter rückläufig sehen. In diesem Sinn besteht durch die Elektrifizierung des Antriebstranges ein hohes Potenzial, den klimaschutzrelevanten CO₂-Ausstoß weiter zu senken (s. Reichardt 2010).

Abb. 19: Ressourcenverbrauch eines dieselmotorischen und elektrischen Antriebes des Multicar



Quelle: Hufenbach et al. 2010 c)

Handlungsempfehlung: Unter Berücksichtigung der ressourcenorientierten Sichtweise der MIPS-Methodik erscheint ein Technologiewechsel hin zum Elektromotor derzeit nur bedingt empfehlenswert. Die derzeit mit der Entwicklung von Elektrofahrzeugen fokussierte Verringerung des Ausstoßes klimarelevanter Verbrennungsgase kann in allen diskutierten Szenarien bestätigt werden.

3.7 Produktentwicklung an Ressourceneffizienz ausrichten

In diesem Handlungsfeld wurden Ressourceneffizienzkriterien im Produktentwicklungsprozess sowie Potenziale verschiedener Werkstoffe untersucht (vgl. Tab. 10)

Tab. 10: Übersicht der Themen des Handlungsfeldes „Produktentwicklung“

Nr.	Thema / Handlungsfeld
3.7	Produktentwicklung an Ressourceneffizienz ausrichten
3.7.1	Beachtung von Ressourceneffizienzkriterien im Produktentwicklungsprozess
3.7.2	Ressourceneffizienzpotenziale durch Umsetzung des Leichtbaus unter Nutzung neuartiger Werkstoffe
3.7.3	Ressourceneffizienzpotenziale höher- und höchstfester Stähle

Quelle: Eigene Darstellung

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 Potenzial 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.

3.7.1 Beachtung vom Ressourceneffizienzkriterien im Produktentwicklungsprozess

Einleitung: Vor dem Hintergrund eines prognostizierten Anstiegs der globalen Rohstoffextraktion und im Hinblick auf weitere ökologische und ökonomische Spannungsfelder, ist eine nachhaltige Senkung des Ressourcenverbrauchs erstrebenswert. Insbesondere die Produktentwicklung bietet die Möglichkeit, den lebenswegweiten Ressourcenverbrauch frühzeitig zu beeinflussen.

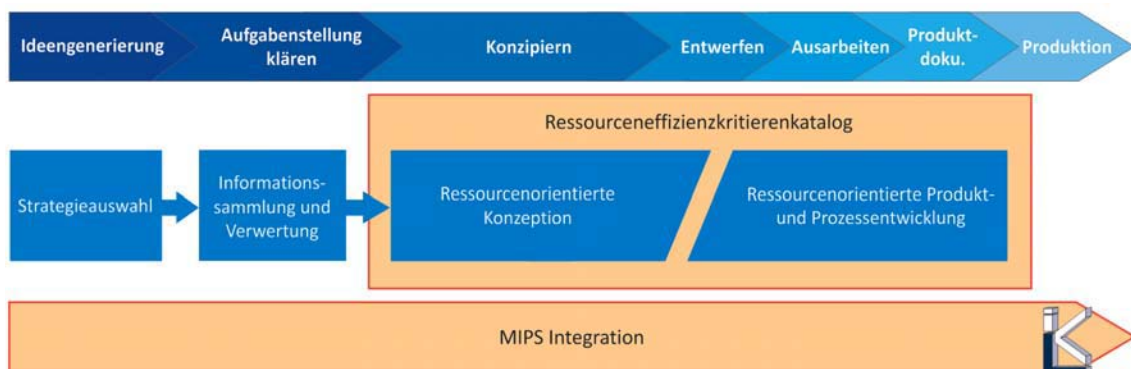
Methodik: Die gezielte Analyse von bekannten Elementen der Konstruktionslehre und die Verknüpfung dieser mit der MIPS-Methodik sowie die Erarbeitung eines Ressourceneffizienzcatalogs standen im Vordergrund dieser Arbeit. Es wurde gezeigt, dass die frühen Phasen der Produktentwicklung – insbesondere die Konzeptphase – maßgeblich auf den späteren Ressourcenverbrauch einwirken. Durch die Verknüpfung bekannter und neuartiger Bestandteile zu einer ressourceneffizienten Konstruktionsmethodik gelang es, gängige Entwicklungsstandards zu erweitern und eine neue Sichtweise in den Entwicklungsprozess zu integrieren. Einen Überblick über die Kernelemente der Methodik und deren Einsatzphasen gibt Abb. 20.

Ergebnisse: Die beispielhafte Anwendung der modifizierten Konstruktionsmethodik anhand einer am Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik (ILK) der Technischen Universität Dresden entwickelten Schiffsstabilisatorflosse verdeutlicht das Potenzial der ressourceneffizienten Produktentwicklung. Durch den entwicklungsbegleitenden Einsatz der Methodik sind Senkungen des Ressourcenverbrauchs bei zum Teil gesteigerter Produktqualität möglich. Zurückzuführen sind diese Einsparungen vor allem auf

die verbesserte Ausarbeitung der Zielstellung, die verbesserte Konzeptauswahl und die MIPS-gesteuerte Materialauswahl (s. Lucas 2010).

Handlungsempfehlung: Die Integration der Kerngedanken der geschaffenen Methodik in den konstruktiven Entwicklungsprozess ist angesichts der vielfältigen Ressourceneinsparpotenziale erstrebenswert. In diesem Zusammenhang sollte insbesondere die Einbindung der MIPS-Methodik in gängige CAE-Systeme geprüft und die Vermittlung des Lebenszyklusgedanken in der Ingenieurslehre forciert werden.

Abb. 20: Angestrebte Vorgehensweise der ressourceneffizienten Produktentwicklung



Quelle: Hufenbach et al. 2010a

3.7.2 Ressourceneffizienzpotenziale durch Umsetzung des Leichtbaus unter Nutzung neuartiger Werkstoffe

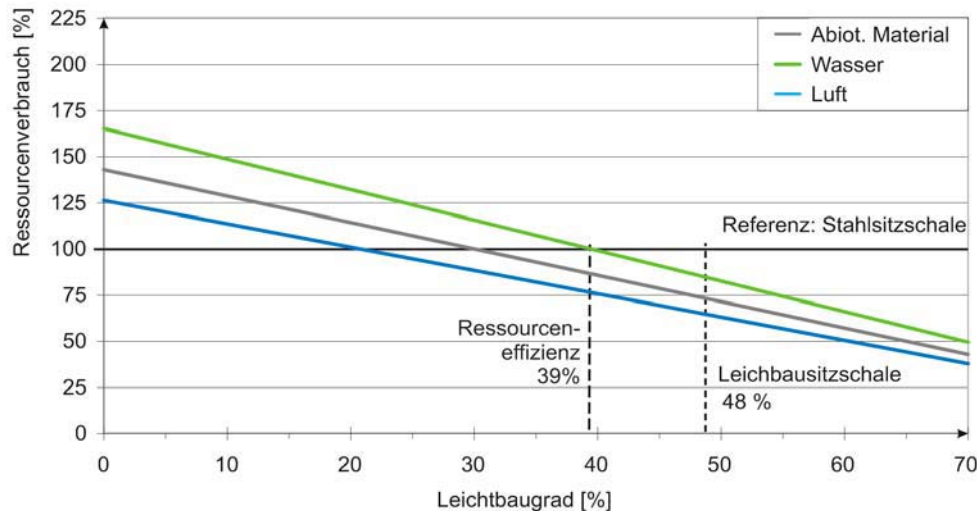
Einleitung: In einem Transferbereich zum DFG Sonderforschungsbereich 639 wurde am Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik (ILK) der Technischen Universität Dresden eine neuartige Prozesskette zur Herstellung von Leichtbausitzschalen aus textilverstärkten Thermoplasten konzipiert und umgesetzt. Dabei wurde gezeigt, dass neben einer deutlichen Gewichtsreduzierung ein wirtschaftlicher Fertigungsprozess für vielfältige Strukturbauteile im Großserienbetrieb realisiert werden kann.

Methodik: Auf Basis dieser Entwicklung wird untersucht, inwieweit derartige Leichtbaustrukturen auch zur Steigerung der Ressourceneffizienz beitragen können. Bei dem betrachteten Bauteil handelt es sich um eine Rückbanksitzschale des VW Golf plus. Diese ist derzeit als Stahlkonstruktion mit einem Gewicht von 4,6 kg ausgeführt. Die Leichtbausitzschale besteht aus textilverstärktem Thermoplast und weist ein Gewicht von 2,4 kg auf. Als Serviceeinheit wird die Sitzschale definiert, um einen direkten Vergleich der Bauteilvarianten zu ermöglichen. Zusätzlich wird der material- und prozessspezifische Ressourcenverbrauch der eingesetzten Werkstoffe auf Basis der Serviceeinheit „Leichtbaukilogramm“ abgeschätzt.

Ergebnisse: Die Betrachtung in der Serviceeinheit Sitzschale zeigt, dass der Ressourcenverbrauch in allen MIPS-Kategorien durch den Einsatz textilverstärkter Thermoplastwerkstoffe deutlich verringert werden kann. Die Analyse der Ergebnisse in der Serviceeinheit Leichtbaukilogramm ergeben zwar einen deutlichen massebezogenen

Vorteil von Stahl gegenüber dem faserverstärkten Kunststoffbauteil, jedoch ist die textilverstärkte Variante ab einem Leichtbaugrad von etwa 39 % in allen MIPS-Kategorien ressourceneffizienter (Abb. 21) (s. Rothenberg 2010).

Abb. 21: Einfluss des Leichtbaugrades der Sitzschale auf die Ressourceneffizienz



Quelle: Hufenbach et al. 2010a

Handlungsempfehlung: Moderne Leichtbaustrukturen aus textilverstärkten Thermoplasten ermöglichen durch die Verringerung der Bauteilmasse eine signifikante Steigerung der Ressourceneffizienz. Neben Sitzschalenbauteilen können etliche andere Strukturen im Interieur und Exterieur von Kraftfahrzeugen, z. B. Unterbodenverkleidungen, in analoger Technologie ausgeführt werden. Durch den verstärkten Serieneinsatz neuartiger Leichtbautechnologien lassen sich so in einem der wichtigsten deutschen Industriezweige deutliche Ressourceneinsparungen erreichen.

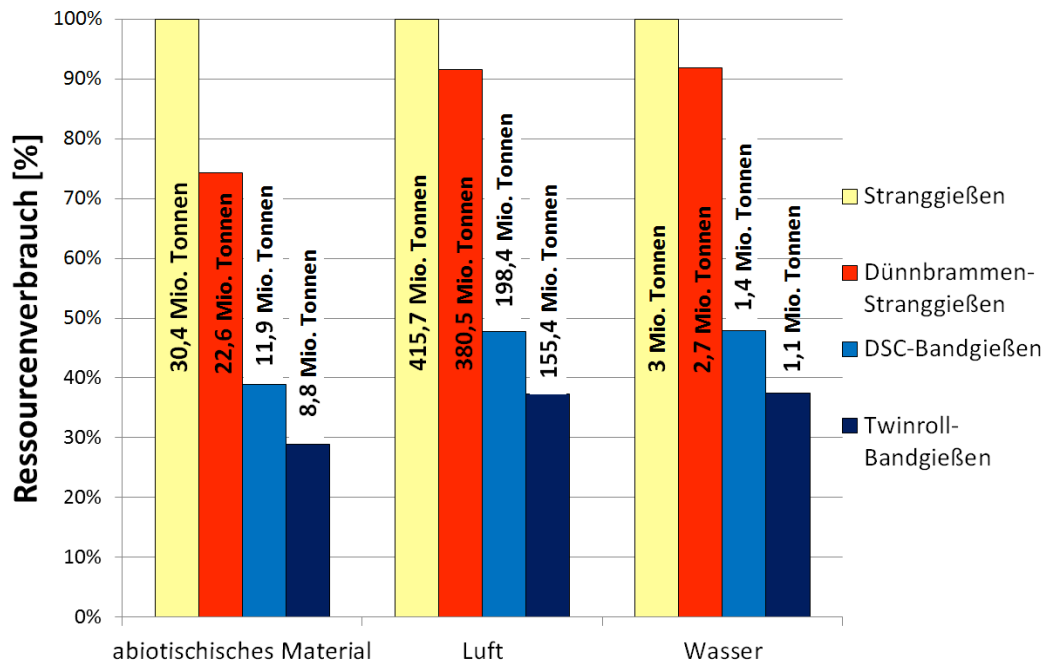
3.7.3 Ressourceneffizienzpotenziale höher- und höchstfester Stähle

Einleitung: Höher- und höchstfeste Stähle (HHS) zeichnen sich durch eine besonders hohe Streckgrenze und Zugfestigkeit aus und können damit im Vergleich zu konventionellem Stahl bei geringerem Materialeinsatz den gleichen Ansprüchen nach Funktion und Sicherheit gerecht werden. HHS werden z. B. in der Automobilindustrie zur Herstellung von Tailored Blanks (TB) eingesetzt. TB werden aus Platinen verschiedener Werkstoffgüten oder Blechdicken zusammengesetzt. Dies ermöglicht, verschiedene Stellen des Bauteils an lokale Belastungen anzupassen und Material einzusparen.

Methodik: Zunächst wurden die Prozessketten zur Erzeugung von konventionellen Stählen und HHS auf Ansätze zur Ressourceneinsparung betrachtet. Als wesentliche Untersuchungsgegenstände wurden die Verfahren zur Herstellung von Warmbanderzeugnissen und die Auswirkungen des Einsatzes von HHS auf den Ressourcenverbrauch in der PKW-Anwendung identifiziert (s. Sadeghi / Kuhrke 2010).

Ergebnisse: Die Untersuchung zeigt, dass bereits das so genannte Dünnbrammen-Stranggießen für Warmbänderzeugnisse allgemein ein großes Potenzial besitzt. Die heute noch nicht in industriellem Maßstab eingesetzten Bandgießverfahren erhöhen das Potenzial zusätzlich (Abb. 22). Beim Einsatz von TB in Fahrzeugen zeigt ein Fallbeispiel, dass neben der Wahl des Verfahrens zur Warmbänderzeugung vor allem auch der geringere Materialeinsatz zu signifikanten Ressourceneinsparungen beiträgt.

Abb. 22: Ressourcenverbrauch von Herstellungsverfahren zur Warmbänderzeugung bezogen auf die Jahresproduktion in Deutschland 2003



Quelle: Sadeghi / Kührke 2010

Handlungsempfehlung: Unter Ressourcengesichtspunkten sind die andauernden Forschungsaktivitäten im Bereich der Bandgießverfahren zu unterstützen. Neben der Optimierung des Ressourcenverbrauchs bei der Warmbänderzeugung allgemein verbessern sie die Ressourceneffizienz beim Einsatz in Fahrzeugen sowie in weiteren Anwendungsfeldern wie beispielsweise Containern und ermöglichen die Erzeugung von Stählen, die nach dem konventionellen Stranggussverfahren wegen der Erstarungsbedingungen nicht vergossen werden können.

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“ (s. Tab. 11).

Tab. 11: Übersicht der Themen des Handlungsfeldes „Produkt Service Systeme“

Nr.	Thema / Handlungsfeld
3.8	Geschäftsmodelle an Ressourceneffizienz orientieren: Produkt Service Systeme (PSS) erfordern Umdenken
3.8.1	Ressourceneffizienzpotenziale durch neuartige Formen von „Nutzen statt Besitzen“ bei Montageanlagen
3.8.2	Ressourceneffizienzpotenziale durch Production on demand

Quelle: Eigene Darstellung

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 Lagerhaltung. 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 wei-

tere 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.

3.8.1 Ressourceneffizienzpotenziale durch „Nutzen statt Besitzen“ bei Montageanlagen

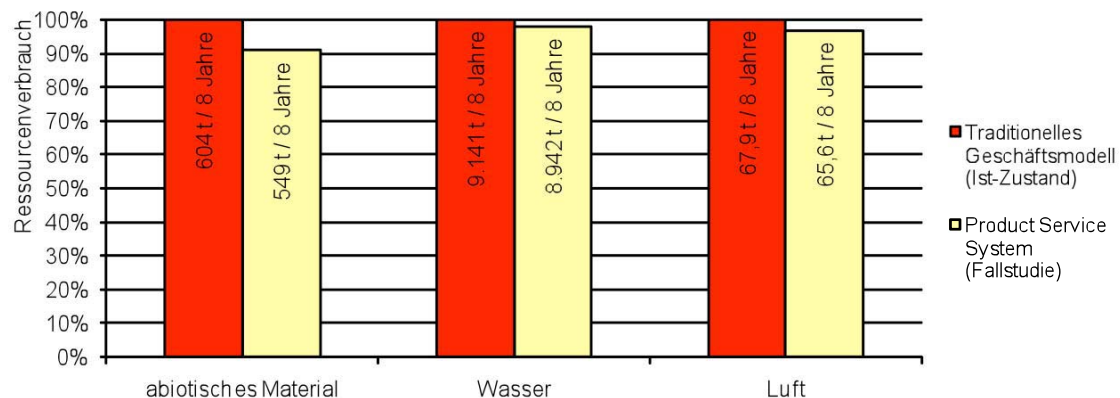
Einleitung: Viele in den Industrieländern verfolgte Konsummodelle gehen mit einem Streben nach Eigentum und so mit einem erheblichen Ressourcenverbrauch einher. Mit dem Konzept „Nutzen statt Besitzen“ soll hingegen Bedürfnisbefriedigung ohne Erlangen eines Besitzstatus ermöglicht werden. Anwendungsbeispiele sind Car-Sharing oder Leasing. Bisher mangelt es an Erkenntnissen über Auswirkungen hinsichtlich des Ressourcenverbrauchs vor allem im industriellen Bereich. Die vorliegende Arbeit vergleicht den Ressourcenverbrauch beim Einsatz von Montageanlagen im traditionellen, auf dem Anlagenverkauf basierenden Geschäftsmodell und in einem Product-Service System (PSS), bei dem Betriebsmittel in der Verantwortung der Hersteller verbleiben und die Betreiber nur den Nutzen erwerben (s. Pacholak 2010).

Methodik: Um die Ressourceneffizienzpotenziale grob zu quantifizieren, wurde eine Analyse nach dem MIPS-Konzept exemplarisch am Beispiel eines Industrieroboters durchgeführt. Als Serviceeinheit wird der Material-Input zur Bereitstellung des Roboters über eine Nutzungszeit von acht Jahren gewählt. Bereitstellung heißt die Gewährleistung der Nutzbarkeit durch einen Betreiber inkl. Energieverbrauch für den Einsatz.

Ergebnisse: Der Ressourcenaufwand verringert sich beim Übergang zu einem PSS bei den abiotischen Stoffen um 9,1 %, bei Wasser um 2,2 % und bei Luft um 3,4 % bezogen auf den Ist-Zustand. Die Einsparung basiert im Wesentlichen auf dem geringeren Materialaufwand, da in acht Jahren anstelle zweier Roboter nur noch einer und dessen Austauschkomponenten hergestellt werden müssen (Abb. 23). Würde der große Einfluss der elektrischen Energie für den Betrieb des Roboters (82 %-97 % der dargestellten Verbräuche) nicht betrachtet, so wären die relativen Einsparungen 49,3 % bei den abiotischen Stoffen, 46,7 % in der Kategorie „Wasser“ und 46,7 % in der Kategorie „Luft“.

Handlungsempfehlung: Zur Umsetzung müsste die Akzeptanz von PSS bei Anbietern und Anlagenbetreibern erhöht werden. Voraussetzung ist außerdem die leichte Anpassbarkeit von Anlagen. Eine Verbesserung der Energieeffizienz der Anlagen könnte die Einsparungen möglicherweise deutlich steigern.

Abb. 23: Ressourcenverbrauch für die 8-jährige Bereitstellung eines Industrieroboters bei einem PSS im Vergleich zum traditionellen Geschäftsmodell, mit Betrachtung der Stromerzeugung



Quelle: Pacholak et al. 2010

3.8.2 Ressourceneffizienz durch Production on demand

Einleitung: Auftragsfertigung bedeutet, dass das entsprechende Produkt erst nach dem Kauf hergestellt wird. Dies verbindet ökologische und ökonomische Ziele: Eine Überschussproduktion wird ausgeschlossen, wodurch Ressourceneinsatz und Entsorgungsaufwand sowie Lager- und Kapitalbindungskosten reduziert werden. Das Konzept wird bei Einzel- und Kleinserienfertigern schon lange angewandt. Bei der Großserienherstellung, in der diese Art von Fertigungstyp „Production on demand“ (POD) genannt wird, ist es jedoch noch sehr wenig verbreitet.

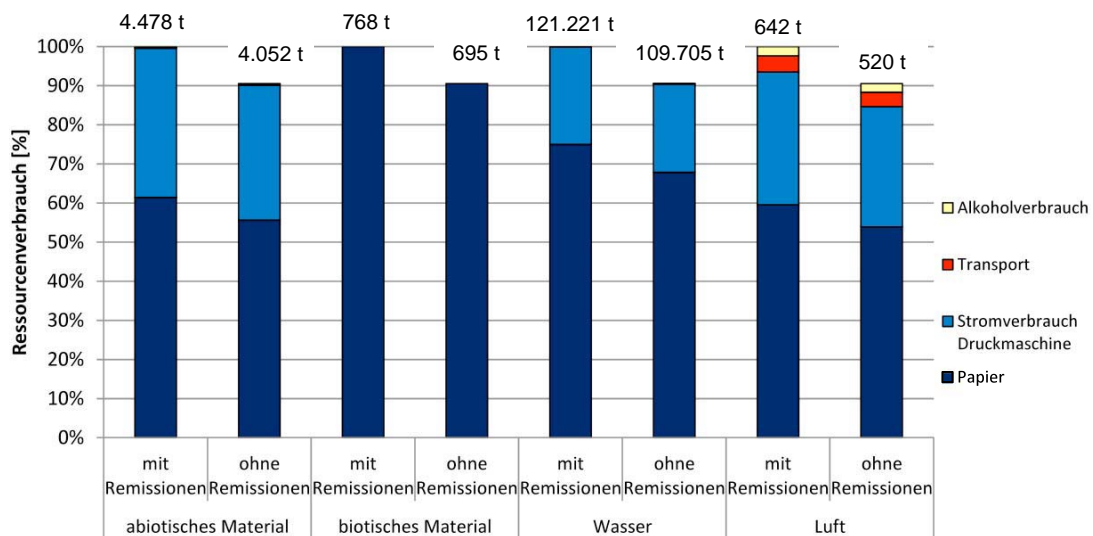
Methodik: Zunächst wurde analysiert, welche theoretischen Ansatzpunkte die Umstellung der klassischen Massenfertigung auf POD zur Ressourceneinsparung bietet. Anschließend wurden Fallbeispiele identifiziert, in denen POD umgesetzt wurde oder die Möglichkeit gesehen wurde POD einzuführen. Konkrete Ressourceneinsparpotenziale wurden für ein POD-Konzept in der Zeitschriftenindustrie ermittelt (s. Kim 2010).

Ergebnisse: Überproduktion wurde als Hauptansatzpunkt identifiziert. Ein wichtiger Bereich, in dem Angaben zu Überproduktion verfügbar waren und die Überproduktion auch keinen weiteren Abnehmer gefunden hat, ist die Zeitschriftenindustrie. Die in Deutschland im Handel vertriebenen Zeitschriften weisen eine Remissionsrate von ca. 23 % auf, die zum größten Teil entsorgt wird. Bei einer angenommenen Reduktion der Remissionsrate von 50 % ergeben sich, bezogen auf 1 Mio. Zeitschriften, Einsparpotenziale, die z .B. bei abiotischen Ressourcen absolut gesehen ca. 425 t ausmachen (Abb. 24). Grundsätzlich besteht bei der Recherche nach Überproduktionen das Problem, dass Unternehmen meist keine Informationen diesbezüglich veröffentlichen. Hinzu kommt, dass in der Mehrzahl der untersuchten Bereiche, in denen Überproduktion

erwartet wurde, diese entweder nicht stattfindet oder aufgrund von sekundären Vertriebswegen keinen signifikanten Einfluss auf den Ressourcenverbrauch hat.

Handlungsempfehlung: Dass durch eine Verringerung von Überproduktionen mittels POD Ressourcen eingespart werden können, steht außer Frage. Im Bereich „Newspaper-on-demand“ stehen heute bereits Technologien bereit Zeitungen elektronisch oder auch in gedruckter Form zur Verfügung zu stellen, um Einsparpotenziale zu erreichen. Entsprechend ist eine weitergehende Analyse, inwieweit sich durch POD auch in anderen Bereichen Überproduktion verringern lässt, zu empfehlen.

Abb. 24: Ressourcenverbrauch bei 1 Mio. Zeitschriften mit und ohne Remissionen



Quelle: Kim / Kuhrke 2010

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 MaRes 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 geeigneter Möglichkeiten (z. B. Netzwerke) stärker zu nutzen bzw. aufzubauen, um Industriepartner frühzeitig zu involvieren. Hier gilt es einerseits, das bestehende Netzwerk des MaRes-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 „Virtuellen Ressourcenuniversität“ (von der Innovations- bis zur Umsetzungsforschung) angestoßen werden (vgl. auch die Ergebnisse aus AP13 des MaRess-Projekts, z. B. in Kristof et al. 2010).

Literatur

- Aydin, Cengizhan (2010): Ermittlung von Ressourceneffizienzpotenzialen der Verkehrssysteme am Beispiel des Güterverkehrs in Deutschland. Universität Stuttgart, Studienarbeit
- Aydin, Cengizhan / Kuhrke, Benjamin / Lettenmeier, Michael (2010): Ermittlung von Ressourceneffizienzpotenzialen der Verkehrssysteme am Beispiel des Güterverkehrs. In: Rohn, Holger / Pastewski, Nico / Lettenmeier, Michael (2010): Technologien, Produkte und Strategien – Ergebnisse der Potenzialanalysen. Ressourceneffizienzpaper 1.5., Wuppertal
- BMU (2009): Erneuerbare Energien in Zahlen - Nationale und internationale Entwicklung. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Dessau-Roßlau. Download unter <http://www.erneuerbare-energien.de/files/erneuerbare>
- Cholewa, Anna (2010): Ressourceneffiziente Energieerzeugung: Bereich Photovoltaik, Studienarbeit, RWTH Aachen
- Cholewa, Anna / Büttgen, Eberhard (2010): Ressourceneffiziente Energieerzeugung durch Photovoltaik. In: Rohn, Holger / Pastewski, Nico / Lettenmeier, Michael (2010): Technologien, Produkte und Strategien – Ergebnisse der Potenzialanalysen. Ressourceneffizienzpaper 1.5., Wuppertal
- Eberhard, Almuth (2010): Potenziale zur Ressourceneffizienzsteigerung in der Lebensmittelproduktion am Beispiel Gemüse. Projektbericht FH Münster, FB Oecotrophologie, Münster
- Eberhard, Almuth / Lukas, Melanie / Stöwer, Lene / Rohn, Holger / Lettenmeier, M. / Teitscheid, Petra (2010): Potenziale zur Ressourceneffizienzsteigerung in der Lebensmittelproduktion am Beispiel Obst, Gemüse und Fisch. In: Rohn, Holger / Pastewski, Nico / Lettenmeier, Michael (2010): Technologien, Produkte und Strategien – Ergebnisse der Potenzialanalysen. Ressourceneffizienzpaper 1.5., Wuppertal
- 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, Berlin
- Heynen, Alain / Büttgen, Eberhard (2010): Ressourceneffiziente Energiespeicherung: Vergleich von direkter und indirekter Speicherung in elektrifizierten PKW. In: Rohn, Holger / Pastewski, Nico / Lettenmeier, Michael (2010): Technologien, Produkte und Strategien – Ergebnisse der Potenzialanalysen. Ressourceneffizienzpaper 1.5., Wuppertal
- Hufenbach, Werner / Kupfer, Robert / Lucas, Peter (2010): Ressourceneffizienz im Produktentwicklungsprozess. In: Rohn, Holger / Pastewski, Nico / Lettenmeier, Michael (2010): Technologien, Produkte und Strategien – Ergebnisse der Potenzialanalysen. Ressourceneffizienzpaper 1.5., Wuppertal
- Hufenbach, Werner / Kupfer, Robert / Lucas, Peter / Reichardt, Björn (2010): Ressourceneffizienzpotenziale von Elektrofahrzeugen. In: Rohn, Holger / Pastewski, Nico / Lettenmeier, Michael (2010): Technologien, Produkte und Strategien – Ergebnisse der Potenzialanalysen. Ressourceneffizienzpaper 1.5., Wuppertal
- Hufenbach, Werner / Kupfer, Robert / Lucas, Peter / Rothenberg, Sebastian (2010): Ressourceneffizienz durch Leichtbau. In: Rohn, Holger / Pastewski, Nico / Lettenmeier, Michael (2010): Technologien, Produkte und Strategien – Ergebnisse der Potenzialanalysen. Ressourceneffizienzpaper 1.5., Wuppertal

- Kim, Simon (2010): Ressourceneffizienzpotenziale durch Production on demand. Studienarbeit, Institut für Arbeitswissenschaften und Technologiemanagement, Universität Stuttgart
- Kim, Simon / Kuhrke, Benjamin (2010): Ressourceneffizienzpotenzialen durch Production on demand. In: Rohn, Holger / Pastewski, Nico / Lettenmeier, Michael (2010): Technologien, Produkte und Strategien – Ergebnisse der Potenzialanalysen. Ressourceneffizienzpaper 1.5., Wuppertal
- Kristof, Kora / Hennicke, Peter (2010): Mögliche Kernstrategien für eine zukunftsfähige Ressourcenpolitik der Bundesregierung: Ökologische Modernisierung vorantreiben und Naturschranken ernst nehmen. Ressourceneffizienzpaper 7.7., Wuppertal
- 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
- Leck, Matthias (2010): Ermittlung von Ressourceneffizienzpotenzialen im Bereich der Wasserfiltration durch Membrantechnologie, Institut für Produktionstechnik und Logistik, Fachgebiet Umweltgerechte Produkte und Prozesse, Kassel
- Leck, Matthias / Lang, Bastian / Junge, Mark (2010): Ressourceneffizienzpotenziale im Bereich der Wasserfiltration durch Membrantechnologie. In: Rohn, Holger / Pastewski, Nico / Lettenmeier, Michael (2010): Technologien, Produkte und Strategien – Ergebnisse der Potenzialanalysen. Ressourceneffizienzpaper 1.5., Wuppertal
- Lettenmeier Michael / Rohn, Holger / Liedtke, Christa / Schmidt-Bleek, Friedrich (2009): Resource productivity in 7 steps. Wuppertal Spezial 41, Wuppertal
- Lukas, Melanie (2010): Potenziale zur Ressourceneffizienzsteigerung in der Lebensmittelproduktion am Beispiel Fisch. Projektbericht FH Münster, FB Oecotrophologie, Münster
- Maga, Daniel (2010), Ressourceneffizienzpotenziale der Green IT und Umweltexternalitäten als Ursache für ein Marktversagen in der IT-Branche am Beispiel von Thin-Clients und PCs, Projektbericht, Fraunhofer UMSICHT, Oberhausen
- Maga, Daniel / Knappertsbusch, Volker / Pflaum, Hartmut / Hiebel, Markus (2010) Green IT: Ressourceneffizienzpotenziale von Server Based Computing. In: Rohn, Holger / Pastewski, Nico / Lettenmeier, Michael (2010): Technologien, Produkte und Strategien – Ergebnisse der Potenzialanalysen. Ressourceneffizienzpaper 1.5., Wuppertal
- Pacholak, Piotr (2010): Ressourceneffizienzpotenziale durch neuartige Formen von „Nutzen statt Besitzen“ bei Montageanlagen. Diplomarbeit, Technische Universität Berlin, Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb, Fachgebiet Montagetechnik und Fabrikbetrieb, Berlin
- Pacholak, Piotr / Grismajer, Martin / Fleschutz, Timo (2010): Ressourceneffizienzpotenziale durch neuartige Formen von „Nutzen statt Besitzen“ bei Montageanlagen. In: Rohn, Holger / Pastewski, Nico / Lettenmeier, Michael (2010): Technologien, Produkte und Strategien – Ergebnisse der Potenzialanalysen. Ressourceneffizienzpaper 1.5., Wuppertal
- Reichardt, Björn (2010): Ressourceneffizienzpotenziale von Elektrofahrzeugen. Interner Bericht, Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik, TU Dresden
- Ritthoff, Michael / Rohn, Holger / Liedtke, Christa (2002): MIPS berechnen. Ressourcenproduktivität von Produkten und Dienstleistungen. Wuppertal Spezial 27, Wuppertal Institut für Umwelt, Klima, Energie. Wuppertal
- 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 (2010): Technologien, Produkte und Strategien – Ergebnisse der Potenzialanalysen, Ressourceneffizienz Paper 1.5, Wuppertal
- Rothenberg, Sebastian (2010): Ressourceneffizienz durch Leichtbau. Interner Bericht. TU Dresden
- Sadeghi, Masih / Kührke, Benjamin (2010): Ressourceneffizienzpotenziale höher- und hochfester Stähle. In: Rohn, Holger / Pastewski, Nico / Lettenmeier, Michael (2010): Technologien, Produkte und Strategien – Ergebnisse der Potenzialanalysen. Ressourceneffizienzpaper 1.5., Wuppertal
- Samus, Tobias (2010): Ressourceneffiziente Energieerzeugung: Potenziale von Desertec-Strom. Masterarbeit, Universität Kassel
- Samus, Tobias / Lang, Bastian / Rohn, Holger (2010): Ressourceneffiziente Energieerzeugung: Potenziale von Desertec-Strom. In: Rohn, Holger / Pastewski, Nico / Lettenmeier, Michael (2010): Technologien, Produkte und Strategien – Ergebnisse der Potenzialanalysen. Ressourceneffizienzpaper 1.5., Wuppertal
- Schimanski, Lisa Marie (2010): Ressourceneffizienzpotenziale der Intelligenten Landtechnik am Beispiel des Einsatzes von Stickstoffsensoren bei der Düngung. Bachelorarbeit, Technische Universität München / Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb sowie Technische Universität Berlin / Fachgebiet Montage-technik und Fabrikbetrieb, München
- Schimanski, Lisa Marie / Bernhardt, Heinz / Heckmann, Markus / Grismajer, Martin (2010): Ressourceneffizienzpotenziale der Intelligenten Landtechnik am Beispiel des Einsatzes von Stickstoffsensoren bei der Düngung. In: Rohn, Holger / Pastewski, Nico / Lettenmeier, Michael (2010): Technologien, Produkte und Strategien – Ergebnisse der Potenzialanalysen. Ressourceneffizienzpaper 1.5., Wuppertal
- Schmidt-Bleek et al. (1998): MAIA, Einführung in die Material-Intensitäts-Analyse nach dem MIPS-Konzept. Birkhäuser Verlag, Berlin
- Schmidt-Bleek, Friedrich (1994): Wieviel Umwelt braucht der Mensch? Das Maß für ökologisches Wirtschaften. Birkhäuser Verlag, Berlin, Basel, Boston
- Schniering, Christoph / Büttgen Eberhard (2010): Ressourceneffizienzpotenziale von Wärmedämmsystemen. In: Rohn, Holger / Pastewski, Nico / Lettenmeier, Michael (2010): Technologien, Produkte und Strategien – Ergebnisse der Potenzialanalysen. Ressourceneffizienzpaper 1.5., Wuppertal
- Schniering, Christoph. (2010): Ressourceneffizienzpotenziale von Dämmstoffen in Wärmedämm-Verbundsystemen, RWTH Aachen
- Seitz, Manuela (2010): Ermittlung von Ressourceneffizienzpotenzialen der Energiespeicherung – ressourceneffiziente Wärmespeicher, Institut für Produktionstechnik und Logistik, Fachgebiet Umweltgerechte Produkte und Prozesse, Kassel
- Seitz, Manuela / Lang, Bastian (2010): Ermittlung von Ressourceneffizienzpotenzialen der Energiespeicherung - ressourceneffiziente Wärmespeicher. In: Rohn, Holger / Pastewski, Nico / Lettenmeier, Michael (2010): Technologien, Produkte und Strategien – Ergebnisse der Potenzialanalysen. Ressourceneffizienzpaper 1.5., Wuppertal
- Simon, Verena (2010): Ressourceneffizienzkriterien beim Design (Beispiel Mobiltelefon). Diplomarbeit. Universität Duisburg-Essen

- Simon, Verena / Bernotat, Anke / Lettenmeier, Michael (2010): Ressourceneffizienzkriterien beim Design (Beispiel Mobiltelefon). In: Rohn, Holger / Pastewski, Nico / Lettenmeier, Michael (2010): Technologien, Produkte und Strategien – Ergebnisse der Potenzialanalysen. Ressourceneffizienzpaper 1.5., Wuppertal
- Steger, Sören et al. (2010): Unveröffentlichte Ergebnisse des AP2 im Projekt „Materialeffizienz und Ressourcenschonung, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, Wuppertal
- Stöwer, Lene (2010): Potenziale zur Ressourceneffizienzsteigerung in der Lebensmittelproduktion am Beispiel Gemüse. Projektbericht FH Münster, FB Oecotrophologie, Münster
- Udes, Jan (2010): Ressourceneffizienzpotenziale beim Recycling von Elektro- und Elektronikaltgeräten durch Rückgewinnung aus dem Hausmüll mit Hilfe einer RFID-Kennzeichnung der Primärprodukte. Studentische Arbeit, Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb, Fachgebiet Montagetechnik und Fabrikbetrieb, Juni 2010
- Udes, Jan / Grismajer, Martin / Heyer, Steffen (2010): Ressourceneffizienzpotenziale beim Recycling von Elektro- und Elektronikaltgeräten durch Rückgewinnung aus dem Hausmüll mit Hilfe einer RFID-Kennzeichnung der Primärprodukte. In: Rohn, Holger / Pastewski, Nico / Lettenmeier, Michael (2010): Technologien, Produkte und Strategien – Ergebnisse der Potenzialanalysen. Ressourceneffizienzpaper 1.5., Wuppertal
- Werner, Katrin (2010) Green IT – Ressourceneffizienzpotenziale der IKT – Displayarten im Vergleich. Diplomarbeit. Universität Kassel
- Werner, Katrin / Geisendorf, Sylvie / Lang, Bastian (2010): Green IT – Ressourceneffizienzpotenziale der IKT – Displayarten im Vergleich. In: Rohn, Holger / Pastewski, Nico / Lettenmeier, Michael (2010): Technologien, Produkte und Strategien – Ergebnisse der Potenzialanalysen. Ressourceneffizienzpaper 1.5., Wuppertal
- Wiesen, Klaus (2010): Ermittlung von Ressourceneffizienzpotenzialen der regenerativen Stromerzeugung durch Windenergie und Biomasse in Deutschland – Erweiterte Fassung. Projektbericht, Institut für Produktionstechnik und Logistik, Fachgebiet Umweltgerechte Produkte und Prozesse
- Wiesen, Klaus / Lang, Bastian / Rohn, Holger (2010): Ressourceneffizienzpotenziale der regenerativen Stromerzeugung durch Windenergie und Biomasse. In: Rohn, Holger / Pastewski, Nico / Lettenmeier, Michael (2010): Technologien, Produkte und Strategien – Ergebnisse der Potenzialanalysen. Ressourceneffizienzpaper 1.5., Wuppertal
- www.<http://ressourcen.wupperinst.org> Homepage des Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt, Energie. (Stand 01.08.2010)

Anhang

Die nachfolgende Tabelle zeigt eine Übersicht zu den beteiligten Personen und Institutionen an den vorliegenden Potenzialanalysen:

Kurztitel	Diplomand/-in	Betreuer/-in
"Ressourceneffizienzpotenzialen im Bereich der Abwasserfiltration"	Mathias Leck (Institut für Produktionstechnik und Logistik, Umweltgerechte Produkte und Prozesse – Universität Kassel)	Prof. Dr.-Ing. Jens Hesselbach, Bastian Lang (Institut für Produktionstechnik und Logistik, Umweltgerechte Produkte und Prozesse – Universität Kassel) Dr. Mark Junge (Limón GmbH)
"Ressourceneffiziente Energiespeicherung (Stromspeicher)"	Alain Heynen (RWTH Aachen, Studiengang Entsorgungswesen)	Eberhard Büttgen (Lehr- und Forschungsgebiet Abfallwirtschaft der RWTH Aachen)
"Ressourceneffiziente Energiespeicherung – (Wärmespeicher)"	Manuela Seitz (Universität Kassel)	Prof. Dr.-Ing. Jens Hesselbach, Bastian Lang (Institut für Produktionstechnik und Logistik, Umweltgerechte Produkte und Prozesse – Universität Kassel)
"Ressourceneffizienzpotenziale von Dämmstoffsystemen"	Christoph Schniering (RWTH Aachen)	(Lehr- und Forschungsgebiet Abfallwirtschaft der RWTH Aachen)
"Ressourceneffizienzpotenziale durch Windenergie und Biomasse in Deutschland"	Klaus Wiesen (HAWK Göttingen / Wuppertal Institut für Umwelt, Klima, Energie)	Prof. Dr.-Ing. Jens Hesselbach, Bastian Lang (Institut für Produktionstechnik und Logistik, Umweltgerechte Produkte und Prozesse – Universität Kassel) Prof. Dr.-Ing. Achim Loewen (HAWK FH Hildesheim/Holzminde/Göttingen Fakultät Ressourcenmanagement) Holger Rohn (Trifolium – Beratungsgesellschaft mbH)
"Ressourceneffizienzpotenziale durch Desertec"	Tobias Samus (Universität Kassel / Wuppertal Institut für Umwelt, Klima, Energie)	Prof. Dr.-Ing. Jens Hesselbach, Bastian Lang (Institut für Produktionstechnik und Logistik, Umweltgerechte Produkte und Prozesse – Universität Kassel) Holger Rohn (Trifolium – Beratungsgesellschaft mbH)
"Ressourceneffizienzpotenziale durch Photovoltaik"	Anna Cholewa (RWTH Aachen, Studiengang Entsorgungswesen)	Eberhard Büttgen (Lehr- und Forschungsgebiet Abfallwirtschaft der RWTH Aachen)
"Ressourceneffizienzkriterien beim Design (Beispiel Mobiltelefon)"	Verena Simon (Universität Duisburg-Essen, Industriedesign)	Prof. Anke Bernotat (Folkwang Universität, Industriedesign) Michael Lettenmeier (Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie)
"Green IT: Ressourceneffizienzpotenziale von Server Based Computing"	Daniel Maga (Fraunhofer-Institut für Umwelt, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT)	Volker Knappertsbusch (Fraunhofer-Institut für Umwelt, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT) Markus Hiebel (Fraunhofer-Institut für Umwelt, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT)

"Green IT: Ressourceneffizienzsteigerung bei IKT"	Katrin Werner (Universität Kassel)	Dr. Sylvie Geisendorf (Universität Kassel / FB Umwelt- und Verhaltensökonomik) Bastian Lang (Universität Kassel / Institut für Produktionstechnik und Logistik, Fachgebiet Umweltgerechte Produkte und Prozesse)
"Ressourceneffizienzpotenziale beim Recycling"	Jan Udes (Leuphana Universität Lüneburg)	Martin Grismajer (Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb – TU Berlin) Steffen Heyer (Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb / Fachgebiet Montagetechnik und Fabrikbetrieb – TU Berlin)
"Ressourceneffizienzpotenziale in der Lebensmittelproduktion – Beispiel Fisch"	Melanie Lukas (Fachhochschule Münster, Fachbereich Oecotrophologie)	Prof. Dr. rer. pol. Petra Teitscheid (Fachhochschule Münster, Fachbereich Oecotrophologie) Holger Rohn (Trifolium – Beratungsgesellschaft mbH)
"Ressourceneffizienzpotenziale in der Lebensmittelproduktion – Beispiel Obst"	Lene Stöwer (Fachhochschule Münster, Fachbereich Oecotrophologie)	Prof. Dr. rer. pol. Petra Teitscheid (Fachhochschule Münster, Fachbereich Oecotrophologie) Holger Rohn (Trifolium – Beratungsgesellschaft mbH)
"Ressourceneffizienzpotenziale in der Lebensmittelproduktion – Beispiel Gemüse"	Almuth Eberhard (Fachhochschule Münster, Fachbereich Oecotrophologie)	Prof. Dr. rer. pol. Petra Teitscheid (Fachhochschule Münster, Fachbereich Oecotrophologie) Holger Rohn (Trifolium – Beratungsgesellschaft mbH)
"Ressourceneffizienzpotenziale der Intelligenten Landtechnik"	Lisa Schimanski (TU München)	Prof. Dr. agr. habil. Heinz Bernhardt (Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik – TU München) Markus Heckmann (Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik, TU München) Martin Grismajer (Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb / Fachgebiet Montagetechnik und Fabrikbetrieb – TU Berlin)
"Ermittlung von Ressourceneinsparpotenzialen im Güterverkehr"	Cengizhan Aydin (Institut für Arbeitswissenschaften und Technologiemanagement, Universität Stuttgart)	Benjamin Kuhrke (Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen - TU Darmstadt) Michael Lettenmeier (Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie)
"Ressourceneffizienz durch Elektrofahrzeuge"	Björn Reichardt (Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik, TU Dresden)	Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E.h W. Hufenbach, Robert Kupfer, Peter Lucas (Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik, TU Dresden)

"Beachtung von Ressourceneffizienzkriterien beim Design"	Peter Lucas (Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik, TU Dresden)	Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E.h W. Hufenbach, Robert Kupfer (Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik, TU Dresden)
"Ressourceneffizienz durch Leichtbau"	Sebastian Rothenberg (Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik, TU Dresden)	Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E.h W. Hufenbach, Robert Kupfer, Peter Lucas (Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik, TU Dresden)
"Ressourceneffizienzpotenziale höher- und höchstfester Stähle"	Masih Sadeghi (Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen - TU Darmstadt)	Benjamin Kuhrke (Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen - TU Darmstadt)
Ressourceneffizienzpotenziale durch „Nutzen statt Besitzen“	Piotr Pacholak (Technische Universität Berlin)	Martin Grismajer (Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb – TU Berlin) Timo Fleschutz (Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb / Fachgebiet Montagetechnik und Fabrikbetrieb - TU Berlin)
Ressourceneffizienzpotenziale durch "Production on demand"	Simon Kim (Universität Stuttgart / Institut für Arbeitswissenschaften und Technologiemanagement)	Benjamin Kuhrke (Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen - TU Darmstadt)