

*„Steigerung der Ressourcenproduktivität  
als Kernstrategie einer nachhaltigen Entwicklung“*

Projekt im Auftrag des BMBF



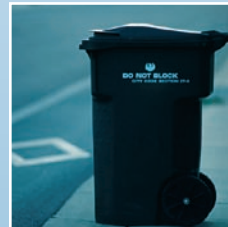
## Hot Spots und zentrale Ansatzpunkte zur Steigerung der Ressourceneffizienz

Projekt **Ergebnisse**

Wuppertal, Juni 2007

**Bearbeitet von:**

Dr. Kora Kristof



**Projektlaufzeit:** 07/2005 – 06/2007

**Projektleitung:**

Prof. Dr. Raimund Bleischwitz / Dr. Kora Kristof / Dr. Christa Liedtke  
Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie GmbH  
Forschungsgruppe Stoffströme und Ressourcenmanagement  
Forschungsgruppe Nachhaltiges Produzieren und Konsumieren

42103 Wuppertal, Döppersberg 19

Tel.: 0202-2492 -256 /-183, Fax: 0202-2492 -250

E-Mail: [raimund.bleischwitz@wupperinst.org](mailto:raimund.bleischwitz@wupperinst.org)  
[kora.kristof@wupperinst.org](mailto:kora.kristof@wupperinst.org)

Weitere Informationen zum Projekt „Steigerung der Ressourcenproduktivität  
als Kernstrategie einer nachhaltigen Entwicklung“  
finden Sie unter [www.ressourcenproduktivitaet.de](http://www.ressourcenproduktivitaet.de)

Gefördert wird das Vorhaben im Rahmen des Förderprofils  
„Technologie und Innovationsförderung“ durch das BMBF  
(Projekträger: GSF)  
Förderkennzeichen: 07RP001



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



GSF – Forschungszentrum  
für Umwelt und Gesundheit  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Ressourcenproduktivitätsprojekt – der Hintergrund</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Forschungsdesign</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Ressourcen – die gesamtwirtschaftliche Ebene</b>	<b>11</b>
3.1	Ressourcenverbräuche	11
3.2	Ressourcenintensität	12
3.3	Sektorale Verflechtung	14
3.4	Multiplikatoreffekte	17
<b>4</b>	<b>Wertschöpfungsketten – die Unternehmensebene</b>	<b>19</b>
4.1	Methodik zur Hot Spot Analyse von Wertschöpfungsketten über die Aggregation von LCA-Ergebnissen	19
4.2	Auswahl der Bedarfsfelder zur Hot Spot Analyse ausgewählter Wertschöpfungsketten	22
4.3	Hot Spot Analyse im Bedarfsfeld Wohnen	22
4.3.1	Wertschöpfungskette Wohngebäude	22
4.3.2	Übertragbarkeit der Ergebnisse auf das Bedarfsfeld Wohnen und den Bausektor	24
4.3.3	Ansätze zur Ressourceneffizienzsteigerung und erste Hinweise zur Abschätzung der Ressourceneffizienzpotenziale	24
4.4	Hot Spot Analyse im Bedarfsfeld Ernährung	25
4.4.1	Wertschöpfungskette Frischkäse	25
4.4.2	Wertschöpfungskette Kaffee	27
4.4.3	Übertragbarkeit auf andere Produkte im Lebensmittelsektor und erste Hinweise zur Abschätzung der Ressourceneffizienzpotenziale	28

4.5	Hot Spot Analyse im Bedarfsfeld Kommunikation und Informationsverarbeitung	29
4.5.1	Wertschöpfungskette PC	29
4.5.2	Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Produkte im IuK-Bereich und erste Hinweise zur Abschätzung der Ressourceneffizienzpotenziale	30
4.6	Schlussfolgerungen	31
<b>5</b>	<b>Hot Spot Technologien zur Ressourceneffizienzsteigerung</b>	<b>32</b>
5.1	Rohstoffe: Verfügbarkeit und Auswahl	32
5.2	Werkstoffauswahl, neue Werkstoffe und werkstoffgerechte Konstruktion	33
5.3	Recycling und langlebige Produkte	34
5.4	Kaskadennutzung	34
5.5	Produktion und Fertigung	35
5.6	Produktgestaltung: Produktdesign und Produkt-Dienstleistungs-Systeme	36
5.7	Querschnittstechnologien	37
5.8	Forschung und Entwicklung	39
5.9	Ressourceneffizienz und Infrastrukturen	39
5.10	Technologische Ressourceneffizienzpotenziale im Überblick	39
<b>6</b>	<b>Organisatorische und institutionelle Innovationen zur Ressourceneffizienzsteigerung</b>	<b>42</b>
6.1	Zentrale organisatorische und institutionelle Ansatzpunkte zur Ressourceneffizienzsteigerung	43
6.2	Ressourceneffizienzwirkungen der organisatorischen und institutionellen Stellschrauben	45
<b>7</b>	<b>Erkenntnisse aus der Analyse im doppelten Gegenstromprinzip</b>	<b>47</b>
<b>8</b>	<b>Forschungsbedarf</b>	<b>49</b>
<b>9</b>	<b>Literatur</b>	<b>52</b>

## Abbildungen

Abb. 1:	Untersuchungsdesign: Hot Spot Analyse im Gegenstromprinzip _____	9
Abb. 2:	Sektorale Verflechtung Deutschlands im Jahr 1991 _____	15
Abb. 3:	Sektorale Verflechtung Deutschlands im Jahr 2000 _____	16
Abb. 4:	Wirkungen von Re-Design-Lösungen am Beispiel von fünf Produkten finnischer Unternehmen _____	37
Abb. 5	Energieeffizienzsteigerung bzw. Treibhausgasreduktion durch Querschnittstechnologien _____	38
Abb. 6:	Vorgehensweise zur Analyse organisatorischer und institutioneller Innovationen _____	38

## Tabellen

Tab. 1:	Direkter und indirekter Globaler Materialaufwand (TMR) der inländischen sektoralen Produktion für Deutschland _____	12
Tab. 2:	Direkter und indirekter TMR je 1000 Euro Endnachfrageproduktion für Deutschland _____	13
Tab. 3:	Sektorale Multiplikatoreffekte für Deutschland im Jahr 2000 _____	18
Tab. 4:	Schritt 1: Bewertung nach der Höhe des Verbrauchs von Ressourcen und Energie bezogen auf die einzelne Lebenszyklusphase _____	20
Tab. 5:	Schritt 2: Bestimmung von Lebenszyklusgewichtungsfaktoren durch die Betrachtung der relativen Relevanz der Phasen zueinander _____	21
Tab. 6:	Schritt 3: Identifizierung der Hot Spots in Wertschöpfungsketten _____	22
Tab. 7:	Schritt 1: Bewertung der einzelnen Lebenszyklusphasen – Wertschöpfungskette Wohngebäude _____	23
Tab. 8:	Schritt 2: Lebenszyklusweite Betrachtung – Wertschöpfungskette Wohngebäude _____	23
Tab. 9:	Schritt 3: Identifizierung der Hot Spots – Wertschöpfungskette Wohngebäude _____	24
Tab. 10:	Ansätze zur Ressourceneffizienzsteigerung im Bedarfsfeld Wohnen _____	25

Tab. 11:	Schritt 1: Bewertung der einzelnen Lebenszyklusphasen – Wertschöpfungskette Frischkäse _____	26
Tab. 12:	Schritt 2: Lebenszyklusweite Betrachtung – Wertschöpfungskette Frischkäse _____	26
Tab. 13:	Schritt 3: Identifizierung der Hot Spots – Wertschöpfungskette Frischkäse _____	27
Tab. 14:	Schritt 1: Bewertung der einzelnen Lebenszyklusphasen – Wertschöpfungskette Kaffee _____	27
Tab. 15:	Schritt 2: Lebenszyklusweite Betrachtung – Wertschöpfungskette Kaffee _____	28
Tab. 16:	Schritt 3: Identifizierung der Hot Spots – Wertschöpfungskette Kaffee ____	28
Tab. 17:	Schritt 1: Bewertung der einzelnen Lebenszyklusphasen – Wertschöpfungskette PC _____	29
Tab. 18:	Schritt 2: Lebenszyklusweite Betrachtung – Wertschöpfungskette PC ____	30
Tab. 19:	Schritt 3: Identifizierung der Hot Spots – Wertschöpfungskette PC _____	30
Tab. 20:	Einschätzung zum Ressourceneffizienzsteigerungspotenzial technologischer Hot Spots _____	40
Tab. 21:	Einschätzung zum Ressourceneffizienzsteigerungspotenzial der organisatorischen und institutionellen Stellschrauben _____	45

## 1 Ressourcenproduktivitätsprojekt – der Hintergrund

Natürliche Ressourcen sind Grundlage aller wirtschaftlichen Aktivitäten. Wohlfahrtssteigerungen können durch eine optimale und effiziente Nutzung der Ressourcen erzielt werden. Das Management der natürlichen Ressourcen ist aber gerade in den letzten Jahren zur Herausforderung geworden. Das anhaltende Wachstum der Weltbevölkerung, die Steigerung der weltweiten Produktion und Preissteigerungen auf den Energie- und Rohstoffmärkten erhöhen den langfristigen Anpassungsdruck zu Effizienzsteigerungen beim Einsatz natürlicher Ressourcen.

Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte Projekt „Ressourcenproduktivität als Kernstrategie einer Nachhaltigen Entwicklung“ will Möglichkeiten aufzeigen, wie die Rahmenbedingungen wirtschaftlichen Handelns mit betrieblichen und sektoralen Strategien so gestaltet werden können, dass es zu einer tiefgreifenden Erhöhung der Ressourcenproduktivität kommt ([www.ressourcenproduktivitaet.de](http://www.ressourcenproduktivitaet.de)). Die zentralen Projektziele sind:

- **Weiterentwicklung von Informationssystemen** (Arbeitspaket 1) mit dem Ziel einer Aktivierung von Lernprozessen auf betrieblicher, zwischenbetrieblicher und wirtschaftspolitischer Handlungsebene,
- **Hot Spots** (Arbeitspaket 2): Identifizierung von Problembereichen der Ressourcennutzung und von Potenzialen zur Erhöhung der Ressourceneffizienz<sup>1</sup> jenseits vorhandener Trends,
- **Ressourcenpolitik und Ressourcenproduktivitätssteigerungen durch unternehmensübergreifende Instrumente** (Arbeitspaket 3): Entwicklung von Anreizstrukturen und -instrumenten zur Steigerung der Ressourcenproduktivität im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung,
- **Hochrechnung von Verbesserungspotenzialen zur Ressourcenproduktivitätssteigerung** (Arbeitspaket 4): Abschätzung theoretischer sektoraler Verbesserungspotenziale der Ressourcenproduktivität durch die Be- und Hochrechnung der direkten und indirekten Auswirkungen einer Vorleistungseinsatzsenkung, einer veränderten Endnachfragestruktur und ausgewählter Technologien.

In diesem Paper werden die Gesamtergebnisse der Hot Spot Analyse vorgestellt. Ziel war, die Problembereiche der Ressourcennutzung zu identifizieren und Ansatzpunkte zur Ressourceneffizienzsteigerung auszuloten, die über den Trendfall hinausgehen können. Eine detaillierte Erhebung der quantitativen Ressourceneffizienzpotenziale konnte im Rahmen der verfügbaren Mittel nicht geleistet werden. Hinweise, in welchen

---

<sup>1</sup> Ressourcenproduktivität wird in diesem Projekt verstanden als die erzielte Wertschöpfung pro Einheit dafür erforderlicher Ressourcen auf der gesamtwirtschaftlichen oder sektoralen Ebene. Ressourceneffizienz wird verstanden als Verhältnis zwischen technisch-physikalischem oder betrieblichem Output zu den dafür erforderlichen Ressourcen auf der Technologie-, Produkt-, Unternehmens- oder Wertschöpfungskettenebene.

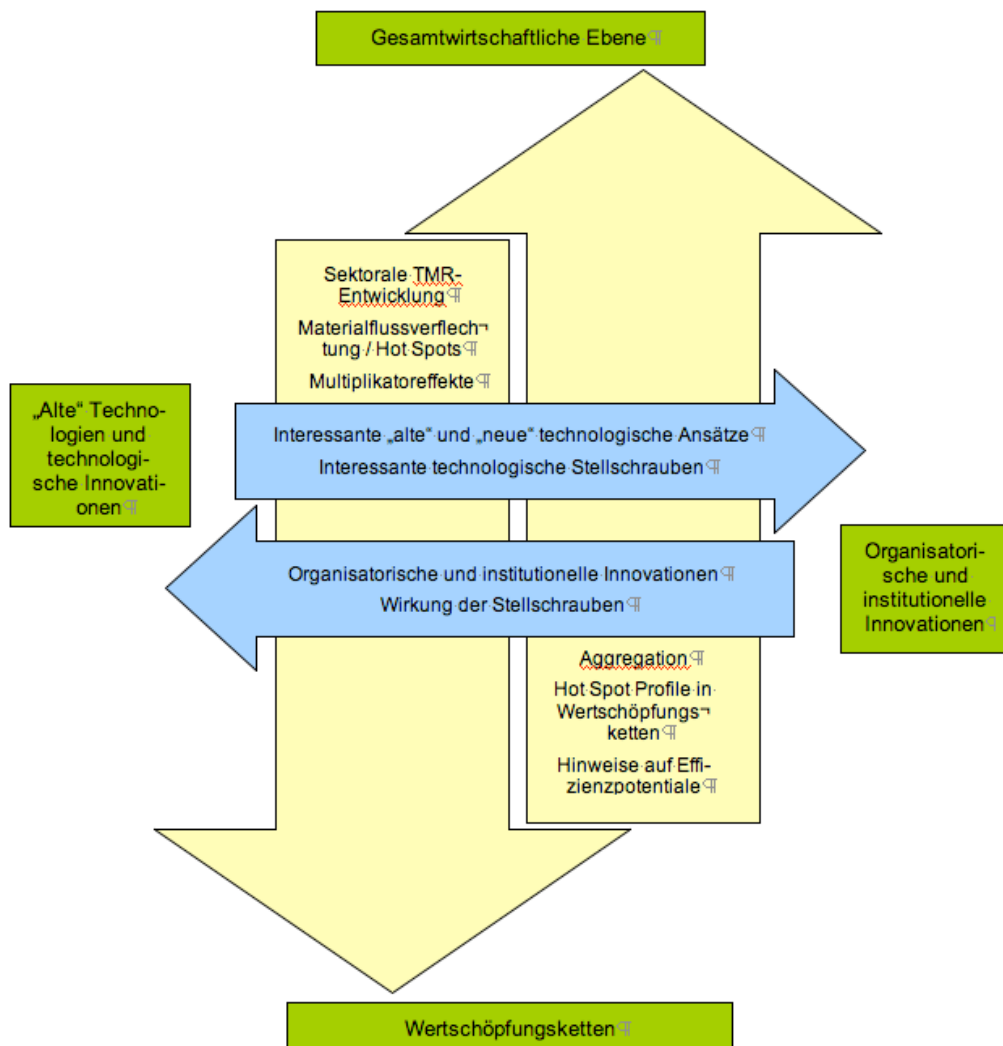
Bereichen konkrete Ansätze zur Ressourceneffizienzsteigerung vertieft untersucht und welche Daten zu den quantitativen Ressourceneffizienzpotenzialen ermittelt werden sollten, finden sich unter dem Unterpunkt „Forschungsbedarf“.



## 2 Forschungsdesign

Die Analyse der Hot Spots erfolgte im doppelten Gegenstromprinzip (vgl. Abb. 1). Erstens wurde die Analyse der **Ressourcenverbräuche auf gesamtwirtschaftlicher Ebene** in Deutschland (Acosta, 2007) der Analyse der **Wertschöpfungsketten** (Wallbaum / Kummer, 2006) gegenübergestellt, d.h. einer Analyse der Mikroebene. Auf gesamtwirtschaftlicher Ebene wurden jeweils der Status Quo und die Entwicklung der sektoralen Ressourcenverbräuche und der Ressourcenintensität von 1991 bis 2000 analysiert. Außerdem wurde die sektorale Verflechtung untersucht und die Multiplikatoreffekte ermittelt.

Abb. 1: Untersuchungsdesign: Hot Spot Analyse im Gegenstromprinzip



In der Analyse der Wertschöpfungsketten wurde ein qualitatives Verfahren für die Aggregation der für einzelne Produkte vorliegenden Life-Cycle-Analysen entwickelt. Es zeigt sowohl die Ressourcenintensität der einzelnen Lebenszyklusphasen als auch die Gewichtung der Lebenszyklusphasen untereinander. Damit wird es möglich, Hot Spot

Profile in Wertschöpfungsketten zu erstellen und erste Hinweise auf Effizienzsteigerungspotenziale zu identifizieren. Quer zu dieser Analyseebene, die die Ressourcenverbrauchs-Peaks herausarbeitet, liegt das zweite Gegenstrompaar, das den Blick auf mögliche Ansatzpunkte zur Steigerung der Ressourceneffizienz richtet.

Die Analyse des Beitrages zur Ressourceneffizienzsteigerung der „**alten**“ **Technologien und technologischen Innovationen** (Ritthoff / Liedtke / Kaiser, 2007) wird dabei der Analyse des Beitrages der **organisatorischen und institutionellen Innovationen** (Kristof / Welfens / Türk / Walliczek, 2006; Welfens / Walliczek / Kristof / Türk, 2006) gegenübergestellt. Einerseits werden dabei interessante „alte“ und „neue“ technologische Ansätze untersucht mit dem Ziel, wichtige technologische Stellschrauben zu identifizieren. D.h. es geht darum, Hot Spot Technologien zu identifizieren, die einen besonders großen Einfluss auf die Ressourceneffizienz ausüben. Andererseits werden wichtige organisatorische und institutionelle Innovationen auf Ebene der Unternehmen und ihrer Kooperationen (z.B. in Wertschöpfungsketten) gesucht, die wichtige Stellschrauben für die Wirkung auf die Ressourceneffizienz sind.

Die Ergebnisse dieser vier Untersuchungsstränge werden im Folgenden dargestellt. Abschließend werden die Ergebnisse gemeinsam interpretiert und Forschungsbedarfe abgeleitet.

### **3 Ressourcen – die gesamtwirtschaftliche Ebene**

Die Kernfrage der gesamtwirtschaftlichen Untersuchung „Wo stehen wir auf gesamtwirtschaftlicher Ebene heute?“ wurden auf vier Ebenen jeweils für den Status Quo und die Entwicklung von 1991 bis 2000 beantwortet (Acosta, 2007): Gesamtwirtschaftliche und sektorale Ressourcenverbräuche, Ressourcenintensität, sektorale Verflechtung und Multiplikatoreffekte.

#### **3.1 Ressourcenverbräuche**

Der durch die inländische Produktion in Deutschland verursachte globale Materialaufwand (TMR) betrug 5.843 Mio. t im Jahr 1991 und 5.289 Mio. t im Jahr 2000. Er setzte sich in beiden Jahren jeweils zusammen aus ca. 23% verwerteter Entnahme im Inland, ca. 7% verwerteter Entnahme im Ausland, 52% (1991) bzw. 44% (2000) nicht verwerteter Entnahme im Inland und 19% (1991) bzw. 25% (2000) nicht verwerteter Entnahme im Ausland. Der globale Materialaufwand ist leicht gesunken bei steigenden „ökologischen Rucksäcken“ durch nicht verwertete Entnahmen aus der Natur im Ausland; d.h. die Ressourcenverbräuche und ihre Folgewirkungen werden in andere Länder verlagert.

Auf der gesamtwirtschaftlichen Ebene entspricht die Ressourcenentnahme dem (direkten und indirekten) Ressourcenverbrauch. Auf sektoraler Ebene wird die Ressourcenentnahme mit dem Ressourcenaufwand gleichgestellt, der mit dem direkten Einsatz von Ressourcen und indirekt mit den inländischen und importierten Vorleistungen verbunden ist. Der sektorale direkte und indirekte Ressourcenverbrauch wird durch die bestehenden direkten und indirekten Vorleistungslieferbeziehungen zwischen den Produktionssektoren bestimmt. Dementsprechend wird der sektorale direkte und indirekte Ressourcenverbrauch bzw. Ressourcenaufwand durch die sektorale Endnachfrageproduktion direkt und indirekt induziert. Tab. 1 weist den direkten und indirekten globalen Materialaufwand der inländischen Produktion insgesamt und für die ressourcenintensivsten Sektoren aus. Die fünf ressourcenintensivsten Sektoren verursachen etwa 50 % des direkten und indirekten globalen Materialaufwands. Schneidet man nach den zwölf ressourcenintensivsten Sektoren ab, so sind es schon ca. 75 %.

Tab. 1: Direkter und indirekter Globaler Materialaufwand (TMR) der inländischen sektoralen Produktion für Deutschland

NACE Rev.1 sect.	Produktionssektor	Direkte Ressourcenentnahme				Direkter und indirekter Ressourcenverbrauch			
		1991		2000		1991		2000	
		Mio. t	%	Mio. t	%	Mio. t	%	Mio. t	%
45	Bauleistungen	352	6	339	6	931	16	964	18
15	Nahrungs- und Futtermittel, Getränke	126	2	132	2	454	8	465	9
27	Metalle und Halbzeug daraus	419	7	497	9	299	5	459	9
40	Energie (Elektro, Gas), DL der Energieversorgung	32	1	42	1	765	13	405	8
34	Kraftwagen und Kraftwagenteile	74	1	91	2	301	5	335	6
24	Chemische Erzeugnisse	66	1	79	1	233	4	269	5
29	Maschinen	65	1	80	2	263	4	211	4
10	Kohle, Torf	2.901	50	1.980	37	395	7	188	4
1	Erzeugnisse der Landwirtschaft, Jagd	367	6	380	7	180	3	183	3
23	Kokerei-, Mineralölerzeugnisse, Spalt-, Brutstoffe	83	1	89	2	208	4	157	3
26	Glas, Keramik, bearbeitete Steine und Erden	31	1	34	1	138	2	157	3
14	Steine und Erden, sonstige Bergbauerzeugnisse	894	15	1.005	19	157	3	136	3
	Restliche Produktionssektoren	433	7	540	10	1.520	26	1.360	26
	<b>Alle Produktionssektoren insgesamt</b>	<b>5.843</b>	<b>100</b>	<b>5.289</b>	<b>100</b>	<b>5.843</b>	<b>100</b>	<b>5.289</b>	<b>100</b>

Quelle: Acosta, 2007

### 3.2 Ressourcenintensität

Die Produktion in Deutschland mit einem Geldwert von 1000 Euro war zwischen den Jahren 1991 und 2000 mit einem sinkenden Ressourcenverbrauch von 2 Tonnen auf ca. 1,5 Tonnen verbunden. Dies ergab sich auf der einen Seite durch die Abnahme des gesamtwirtschaftlichen globalen Materialaufwands um ca. -9% und auf der anderen Seite durch die Zunahme des gesamtwirtschaftlichen Produktionswerts um ca. +22%.

Tab. 2: Direkter und indirekter TMR je 1000 Euro Endnachfrageproduktion für Deutschland

NACE Rev.1 sect.	Direkte und indirekte globale Materialaufwand-Intensität	1991	2000	Veränderung
		in Tonnen je 1000 Euro		in %
10	Kohle, Torf	213,48	387,25	81
14	Steine und Erden, sonstige Bergbauerzeugnisse	172,65	187,17	8
02	Forstwirtschaft, Erzeugung und DL	23,55	30,49	29
11	Erdöl, Erdgas	14,40	21,99	53
23	Kokerei-, Mineralölerzeugnisse, Spalt-, Brutstoffe	22,81	19,85	-13
40	Energie und DL der Energieversorgung	36,40	18,45	-49
27	Metalle und Halbzeug daraus	16,45	16,38	0
26	Glas, Keramik, bearbeitete Steine und Erden	15,96	16,05	1
01	Landwirtschaft, Jagd	12,06	11,34	-6
21	Papier, Karton, Pappe	6,33	5,71	-10
45	Bauleistungen	5,53	5,31	-4
15	Nahrungsmittel, Getränke	5,46	5,16	-6
28	Metallerzeugnisse	4,90	4,10	-16
05	Fische und Fischereierzeugnisse	2,72	3,73	37
24	Chemische Erzeugnisse	4,30	3,47	-19
20	Holz, Holzwaren (ohne Möbel)	3,31	3,25	-2
34	Kraftwagen und Kraftwagenteile	2,84	2,33	-18
55	DL der Beherbergungen und Gaststätten	2,71	2,16	-20
17	Textilien	2,71	2,10	-22
29	Maschinen	2,38	1,95	-18
31	Geräte der Elektrizitätserzeugung und -verteilung	2,17	1,91	-12
35	Sonstige Fahrzeuge	2,46	1,49	-39
25	Gummi- und Kunststoffwaren	2,37	1,44	-39
	Restliches Produzierendes Gewerbe	1,78	1,31	-27
75	DL der öffentlichen Verwaltung, Verteidigung, Sozialversicherung	1,15	0,93	-19
52	DL des Einzelhandels, Gebrauchsgüterreparatur	1,11	0,69	-38
85	DL des Gesundheits-, Veterinär- und Sozialwesens	0,93	0,56	-40
	Restliche nichtmarktwirtschaftliche DL	0,74	0,53	-29
	Restliche marktwirtschaftliche DL	0,87	0,48	-45
70	DL des Grundstücks- und Wohnungswesens	0,52	0,47	-10
	<b>Alle Produktionssektoren insgesamt</b>	<b>2,00</b>	<b>1,48</b>	<b>-26</b>

Quelle: Acosta, 2007

Zur Senkung des gesamtwirtschaftlichen Ressourcenverbrauchs trug hauptsächlich die verwertete und nicht verwertete Materialentnahme des Sektors „Kohle, Torf“ bei. Die Erhöhung des gesamtwirtschaftlichen Produktionswerts ist dagegen hauptsächlich auf die Produktion der Dienstleistungssektoren und der Automobilindustrie zurückzuführen.

Tab. 2 gibt einen Überblick über den deutschen direkten und indirekten TMR je 1000 Euro Endnachfrageproduktion für die Jahre 1991 und 2000 und weist die prozentuale Veränderung zwischen diesen beiden Jahren aus.

### 3.3 Sektorale Verflechtung

Die Struktur der intersektoralen Verflechtung sichtbar zu machen, ist von erheblicher Bedeutung, weil nur so das Abhängigkeitsverhältnis der Produktionssektoren herausgefiltert werden kann. Die Linearität bzw. Zirkularität der Produktionsstrukturen kann nicht ohne weiteres aus der ursprünglichen Verflechtungsmatrix einer Input-Output-Tabelle abgelesen werden. Der Anordnung der Produktionssektoren in ihr liegt nämlich nicht die tatsächliche Organisation der gesamtwirtschaftlichen Produktionsprozesse zugrunde.

Um die Produktionsorganisation zwischen den Sektoren in Form linearer Lieferdependenzen oder Lieferinterdependenzen zu analysieren, wurde in Acosta (2007) auf das Verfahren der Triangulation zurückgegriffen. In der Praxis ist die Struktur der intersektoralen Verflechtung ein *mixtum compositum*, das zwischen den zwei Extremen vollkommene Linearität oder vollkommene Zirkularität liegt.

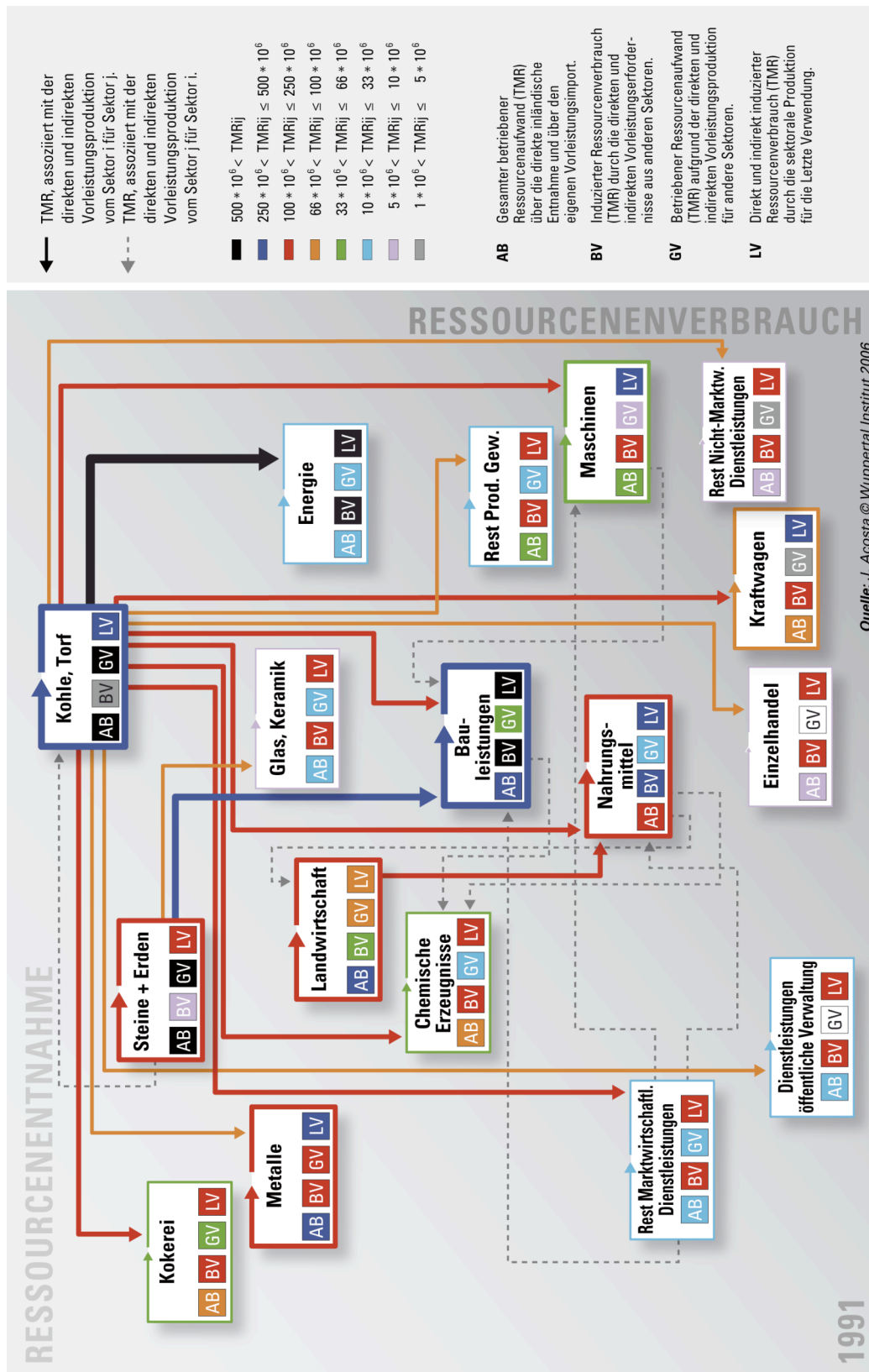
Der Erkenntniswert des durch die Triangulation ermittelten Abhängigkeitsverhältnisses der Sektoren liegt in der Identifikation der Rolle, die jeder Sektor im Rahmen der bestehenden Produktionsorganisation spielt. Auf dieser Basis werden weitere strategische Ansatzpunkte sichtbar, die für die Politik eine zusätzliche Entscheidungsgrundlage bieten.

Die Organisationsstruktur der Materialflüsse innerhalb der deutschen Wirtschaft ist eindeutig: Die Ressourcenströme beginnen mit der Grundstoffproduktion und fließen beinahe ohne Rückfluss hauptsächlich in die Bereiche der Endnachfrageproduktion (vgl. Abb. 2 und Abb. 3).

In der Triangulation für das Jahr 2000 können die Produktionsbereiche „Kohle, Torf“ (hauptsächlich für die Stromerzeugung), „Steine und Erden“, „Forstwirtschaft“ und „Erdöl und Erdgas“ als Hauptakteure der Ressourcenentnahme direkt aus der Natur identifiziert werden. Sie bauten insgesamt 3.073 Mio. t Ressourcen aus der Natur ab (ca. 58% der gesamtwirtschaftlichen Ressourcenentnahme).

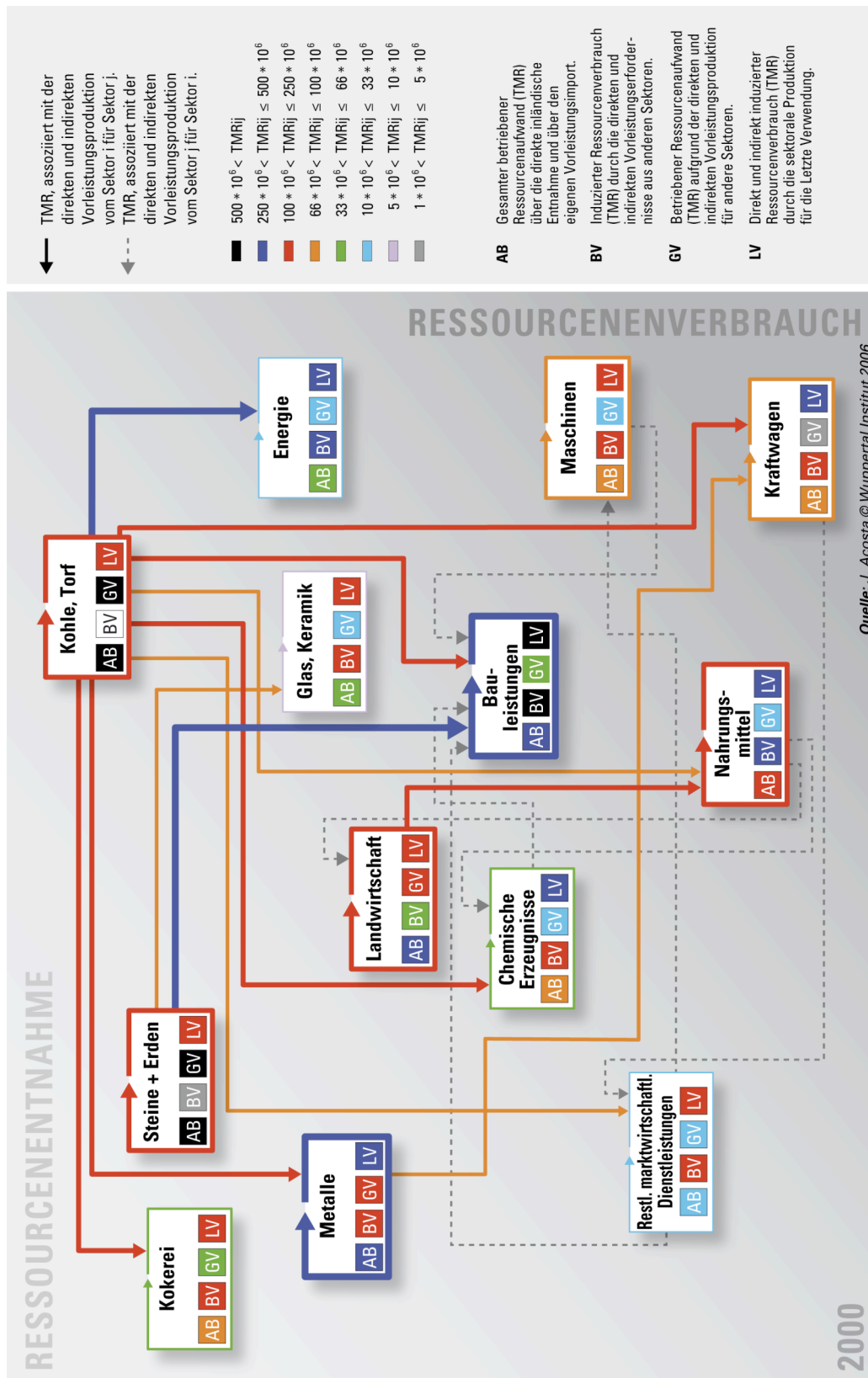
Die Bereiche „Kokerei“, „Energie“, „Glas, Keramik“, „Chemie“, „Metalle“, „Metallerzeugnisse“, „Bau“ etc. können als Sektoren interpretiert werden, die die Ressourcenströme vor allem weiterverarbeiten und somit durchreichen. 36% des gesamtwirtschaftlichen Ressourcenentnahme nehmen diese Sektoren vor.

Abb. 2: Sektorale Verflechtung Deutschlands im Jahr 1991



Quelle: Acosta, 2007

Abb. 3: Sektorale Verflechtung Deutschlands im Jahr 2000



Quelle: Acosta, 2007



Die Nahrungsmittelindustrie, die Fahrzeugindustrie und die Gesamtheit aller Dienstleistungen bilden die Gruppe der konsumnahen Sektoren, die den Ressourcenverbrauch schwerpunktmäßig als Konsum- oder Investitionsgüter Richtung Endnachfrage weiterreichen. Sie sind deshalb nur für etwa 6% der direkten Ressourcenentnahme verantwortlich.

Interessant ist auch der Vergleich der Verflechtungsstrukturen zwischen den Jahren 1991 und 2000. Es zeigt sich ein deutlicher Strukturwandel sowohl bei den Verflechtungsstrukturen als auch bei der Größenordnung der Ressourcenströme. Deutlich zu erkennen ist dies zum Beispiel bei der Verflechtung zwischen den Sektoren „Kohle, Torf“ und „Energie“. Aber auch die Strukturen der Wertschöpfungskettenverflechtungen veränderten sich deutlich (z.B. im Sektor „Maschinen“).

### **3.4 Multiplikatoreffekte**

Die Ergebnisse zu den Multiplikatorwirkungen gibt Tab. 3 wieder.

Die Multiplikatoreffekte der einzelnen Sektoren können über die Quantifizierung eines fiktiven sektoralen Produktionsausfalls und dessen Auswirkungen auf den Ressourcenverbrauch mit Hilfe der hypothetischen Extraktionsmethode ermittelt werden. Für jeden Sektor wird dabei jeweils ermittelt, welcher TMR-Effekt sich durch den hypothetischen Produktionsausfall dieses Sektors auf der Ebene der Letzten Verwendung über die Verflechtung des gesamten Produktionssystems ergeben würde. Die Division dieses TMR-Effektes durch den jeweiligen sektoralen direkten und indirekten TMR ergibt dann die Multiplikatoren für die jeweiligen Sektoren.

Die Multiplikatoren treffen eine Aussage darüber, wie sich eine Ressourcenverbrauchsänderung durch eine Ressourceneffizienzsteigerung in einem Sektor bei gegebenen Produktionsstrukturen auf den gesamtwirtschaftlichen Ressourcenverbrauch auswirken würde.

Multiplikatoren sagen aber nichts über die konkret vorliegenden Ressourceneffizienzsteigerungspotenziale aus, sondern nur darüber, wie stark sich eine Ressourceneffizienzsteigerung im Gesamtsystemzusammenhang auswirken würde.

Tab. 3: Sektorale Multiplikatoreffekte für Deutschland im Jahr 2000

NACE Rev.1 sect.	Produktionsbereich	Direkter und indirekter TMR in 1000 t	TMR-Effekt eines hypothetischen sektoralen Produktionsausfalls (Basis letzte Verwendung) in 1000 t	Sektoraler Multiplikator
10	Kohle, Torf	187.818	1.814.212	9,66
14	Steine u. Erden, sonstige Bergbauerzeugnisse	135.882	956.893	7,04
1	Erzeugnisse der Landwirtschaft, Jagd	182.683	385.155	2,11
2	Forstwirtschaftl. Erzeugnisse u. Dienstleistungen	27.104	55.882	2,06
11	Erdöl, Erdgas	20.828	29.409	1,41
28	Metallerzeugnisse	124.910	173.689	1,39
27	Metalle u. Halbzeug daraus	459.231	579.862	1,26
20	Holz, Holzwaren (o. Möbel), Flecht- u. Korbwaren	18.604	22.215	1,19
23	Kokerei-, Mineralölerzeugnisse, Spalt- u. Brutstoffe	157.264	187.142	1,19
21	Papier, Karton, Pappe u. daraus hergestellte Waren	87.775	100.678	1,15
25	Gummi- u. Kunststoffwaren	29.200	33.128	1,13
5	Fische u. Fischereierzeugnisse	937	995	1,06
26	Glas, Keramik, bearbeitete Steine u. Erden	157.243	166.000	1,06
45	Bauleistungen	963.754	998.423	1,04
40	Energie (Elektro, Gas) u. DL d. Energieversorgung	404.899	417.525	1,03
55	DL der Beherbergungen u. Gaststätten	102.541	105.267	1,03
31	Geräte der Elektrizitätserzeugung u. -verteilung u.ä.	62.442	63.811	1,02
35	Sonstige Fahrzeuge (Schiffe, Luft- u. Raumfz. u.a.)	36.220	36.612	1,01
52	DL des Einzelhandels (o. Kfz, Tankst.), sonst. Rep.	82.301	82.833	1,01
75	DL d. öffentl. Verwalt., d. Verteidig., d. Sozialvers.	128.816	129.405	1,00
85	DL des Gesundheits-, Veterinär- u. Sozialwesens	95.321	94.886	1,00
	Restliches Produzierendes Gewerbe	177.636	174.289	0,98
70	DL d. Grundstücks- u. Wohnungswesens	92.283	89.778	0,97
24	Chemische Erzeugnisse	269.239	258.262	0,96
	Restliche nichtmarktwirtschaftliche Dienstleistungen	88.823	83.548	0,94
17	Textilien	22.006	20.410	0,93
29	Maschinen	211.032	193.821	0,92
15	Nahrungs- u. Futtermittel, Getränke	464.615	418.164	0,90
34	Kraftwagen u. Kraftwagenteile	334.975	266.276	0,79
	Restliche marktwirtschaftliche Dienstleistungen	162.498	120.555	0,74
	<b>Alle Produktionssektoren insgesamt</b>	<b>5.288.881</b>		

Quelle: Acosta, 2007

## 4 Wertschöpfungsketten – die Unternehmensebene

Im letzten Kapitel wurden auf der gesamtwirtschaftlichen und sektoralen Ebene die größten Ressourcenverbräuche und ihre Verflechtungen analysiert. Um konkrete Handlungsoptionen auf Produktebene festlegen zu können, die das Ziel der lebenszyklusweiten Ressourcenoptimierung erreichen, ohne zu einer Verlagerung in der Kette (z.B. von Produktion zur Entsorgung) oder von einer zur anderen Ressource (z.B. von abiotischen Materialien auf Energie) zu führen, bedarf es einer weiteren Untersuchung auf der Ebene der Wertschöpfungskette von Produkten und Produktgruppen.

Antworten auf die Kernfrage „Was wissen wir über die Wertschöpfungsketten?“ können nach der Entwicklung eines qualitativen Verfahrens für die Aggregation der für einzelne Produkte vorliegenden Life-Cycle-Analysen (LCA) gegeben werden (Wallbaum / Kummer, 2006). Das Verfahren zeigt sowohl die Ressourcenintensität der einzelnen Lebenszyklusphasen als auch die Gewichtung der Lebenszyklusphasen untereinander. Damit wird es möglich, Hot Spot Profile in Wertschöpfungsketten zu erstellen und erste Hinweise auf Effizienzsteigerungspotenziale zu identifizieren.

### 4.1 Methodik zur Hot Spot Analyse von Wertschöpfungsketten über die Aggregation von LCA-Ergebnissen

Ziel der Hot Spot Analyse ist eine richtungssichere Abschätzung der relativen Verteilung der Ressourcenintensität von Produkten oder Dienstleistungen – untergliedert in unterschiedliche Ressourcenkategorien und Lebenszyklusphasen. Dabei werden die Lebenszyklusphasen Rohstoff(-gewinnung), Verarbeitung, Nutzung und Entsorgung unterschieden. Zur Identifizierung der Hot Spots in diesen Phasen werden die Ressourcenkategorien abiotische Materialien, biotische Materialien, Wasser und Energie untersucht.

Die im Ergebnis der Analyse ausgewiesenen Hot Spots weisen die entlang des gesamten Lebenszyklus ressourcenintensivsten Phasen und Ressourcenkategorien aus. Sie geben außerdem erste Hinweise auf Handlungsprioritäten auf der Ebene von Wertschöpfungsketten und Produkten – ein Hot Spot zeigt Bereiche hoher Ressourcenintensität auf, dies ist aber nicht mit einem hohen Effizienzpotenzial gleichzusetzen. Potenzialabschätzungen erfordern eine intensive Analyse verschiedenster Handlungsoptionen, die im Rahmen dieses Projektes nicht geleistet werden konnte.

Die **Hot Spot Analyse** ist in **drei Schritte** unterteilt:

- Abschätzung der Ressourcenintensität innerhalb einer Lebenszyklusphase,
- Gewichtung des Ressourcenverbrauchs zwischen den Lebenszyklusphasen,
- Identifizierung der Hot Spots durch eine integrierte Betrachtung der ersten beiden Analyseschritte.

Die Abschätzung der **Ressourcenintensität innerhalb der einzelnen Lebenszyklusphasen (Schritt 1)** erfolgt anhand des Verbrauchs abiotischer (z.B. mineralische Rohstoffe, Bodenaushub / Erosion) und biotischer Materialien (z.B. Ernteprodukte und Biomasse), Wasser und Energie. Grundlage der Bewertung sind wissenschaftliche Publikationen, die Aussagen über die Ressourcenintensität über die gesamte oder Teile der betrachteten Wertschöpfungskette erlauben. Eine besondere Rolle spielen, sofern vorhanden, Ökobilanzen. Im Hinblick auf die Systemgrenzen der Hot Spot Analyse werden nur die direkt mit dem Produkt bzw. der Dienstleistung sowie der zur Herstellung notwendigen Rohstoffe, Vor- und Zwischenprodukte (inkl. Vorketten) verbundenen Ressourcenverbräuche berücksichtigt.

Die Bewertung im Hinblick auf die Intensität des Ressourcenverbrauchs innerhalb der Ressourcenkategorien erfolgt anhand einer ordinalen Punkteskala. Diese Skala reicht dabei von „hoch“ (= 3 Relevanz-Punkte) über „mittel“ (= 2 Relevanz-Punkte) bis „niedrig“ (= 1 Relevanz-Punkt). Bei dieser Bewertung handelt es sich um eine relative Gewichtung der einzelnen Kategorien zueinander.

Tab. 4 zeigt exemplarisch, wie die Bewertung der Ressourcenintensität in den einzelnen Phasen aussehen kann. Die Rohstoffphase ist in diesem Beispiele durch hohe Intensitäten im Bereich der abiotischen Materialien und der Energie geprägt, in der Verarbeitungsphase ist der Wasserverbrauch besonders relevant und die Konsumphase (Nutzung) zeichnet sich durch einen hohen Verbrauch in den Kategorien Wasser und Energie aus. Die Tatsache, dass der Energieverbrauch in der Rohstoff- und Nutzungsphase als hoch eingeschätzt wurde, deutet nicht darauf hin, dass deren absolute Werte vergleichbar sein müssen, da in Tab. 4 lediglich die relative Gewichtung innerhalb der jeweiligen Lebenszyklusphase abgeschätzt wird.

Die Beantwortung der Frage, wie die hohen Verbräuche innerhalb der jeweiligen Phasen zueinander zu sehen sind, erfolgt im Schritt 2 der Methodik.

Tab. 4: Schritt 1: Bewertung nach der Höhe des Verbrauchs von Ressourcen und Energie bezogen auf die einzelne Lebenszyklusphase

<b>Lebenszyklus</b> <b>Kategorie</b>	<b>Rohstoff</b>	<b>Verarbeitung</b>	<b>Nutzung</b>	<b>Entsorgung</b>
<b>Abiotische Materialien</b>	3	1	2	2
<b>Biotische Materialien</b>	1	2	1	2
<b>Wasser</b>	2	3	3	1
<b>Energie</b>	3	1	3	1

Quelle: Wallbaum / Kummer, 2006

Zur Bewertung der **Gewichtung der Lebenszyklusphasen untereinander (Schritt 2)** wird ausschließlich auf wissenschaftliche Analysen und Studien zurückgegriffen, die den gesamten Lebenszyklus abbilden. Ziel ist die Bestimmung von Gewichtungsfaktoren

ren, die die Relevanz einer einzelnen Lebenszyklusphase für den gesamten Ressourcenverbrauch der Wertschöpfungskette ausdrücken. Es wird dabei dieselbe Punkteskala wie in Schritt 1 verwendet. Die für die meisten Produkte bzw. Dienstleistungen zur Verfügung stehende Datenlage lässt eine detaillierte Untergliederung in die Ressourcenkategorien abiotische und biotische Materialien, Wasser und Energie nicht zu. Es ist lediglich eine Untergliederung in zwei Kategorien sinnvoll: nicht-energetische Ressourcen (d.h. abiotische und biotische Materialien sowie Wasser) und Energie. Tab. 5 zeigt beispielhaft, wie eine solche Bewertung aussehen könnte; besonders relevant sind dabei in der Rohstoffgewinnungsphase die nicht-energetischen Ressourcen und in der Nutzungsphase der Energieverbrauch.

Tab. 5: Schritt 2: Bestimmung von Lebenszyklusgewichtungsfaktoren durch die Betrachtung der relativen Relevanz der Phasen zueinander

Lebenszyklus / Kategorie	Rohstoff	Verarbeitung	Nutzung	Entsorgung
Nicht-energetisch	3	1	1	2
Energie	2	2	3	1

Quelle: Wallbaum / Kummer, 2006

Zur **Identifizierung der Hot Spots (Schritt 3)** werden abschließend die Ressourcenintensitätsfaktoren innerhalb der einzelnen Lebenszyklusphasen aus Schritt 1 mit den Lebenszyklusgewichtungsfaktoren aus Schritt 2 verrechnet. Mathematisch geschieht dies durch eine Multiplikation, um so eine bessere Akzentuierung der Aussagen zu bekommen. Die Ressourcenkategorien abiotische und biotische Materialien sowie Wasser aus Schritt 1 werden jeweils mit dem Gewichtungsfaktor nicht-energetische Ressourcen aus Schritt 2 multipliziert. Außerdem werden die Gewichtungsfaktoren Energie aus Schritt 1 und 2 multipliziert. Dadurch ergeben sich Gesamtbewertungen zwischen 1 und 9 Punkten für jede der betrachteten Kombinationen aus Ressourcenkategorien und Lebenszyklusphasen. Tab. 6 zeigt das Ergebnis dieser Multiplikationen für die Beispielwerte aus Tab. 4 und Tab. 5.

Als Hot Spots werden Bewertungen mit einem Ergebnis zwischen 6 und 9 Punkten bezeichnet (vgl. farbig hinterlegte Zellen in der Tab. 6). Für jede betrachtete Wertschöpfungskette ergibt sich daraus eine erste richtungssichere Übersicht über die Hot Spots in Bezug auf die bedeutendsten Lebenszyklusphasen und der jeweils herausragenden Ressourcenkategorien. Die Hot Spots sagen – wie schon dargelegt – etwas über die Ressourcenverbrauchs-Peaks aus, nicht aber über die realisierbaren Ressourceneffizienzpotenziale.

Tab. 6: Schritt 3: Identifizierung der Hot Spots in Wertschöpfungsketten

Lebenszyklus / Kategorie	Rohstoff	Verarbeitung	Nutzung	Entsorgung
Abiotische Materialien	9	1	2	4
Biotische Materialien	3	2	1	4
Wasser	6	3	3	2
Energie	6	2	9	1

Quelle: Wallbaum / Kummer, 2006

## 4.2 Auswahl der Bedarfsfelder zur Hot Spot Analyse ausgewählter Wertschöpfungsketten

Die für die Hot Spot Analyse ausgewählten Wertschöpfungsketten wurden nach zwei Kriterien ausgewählt. Einerseits wurden zwei Bedarfsfelder gewählt, die eng mit den beiden Sektoren korrespondieren, die für die höchsten absoluten Ressourcenverbräuche verantwortlich sind (vgl. Tab. 1): der Sektor „Bauleistungen“ und der Sektor „Nahrungs- u. Futtermittel, Getränke“. Andererseits wurden eine Wertschöpfungskette ausgewählt, die durch interessante Querschnittstechnologien geprägt ist: die IuK-Technologien.

## 4.3 Hot Spot Analyse im Bedarfsfeld Wohnen

### 4.3.1 Wertschöpfungskette Wohngebäude

Als Produktbeispiel im Bedarfsfeld Wohnen wurden Wohngebäude ausgewählt. Die Wertschöpfungskette Wohngebäude spannt sich von der Gewinnung von Rohmaterialien für Baustoffe, über die Herstellung von Baumaterialien, die Planungs- und Bauphase des Gebäudes bis hin zur Gebäudenutzung/-umnutzung sowie Rückbau bzw. Entsorgung.

Die vorliegende Hot Spot Analyse betrachtet exemplarisch neue Wohngebäude. Es wird aber auch dezidiert auf den Gebäudebestand eingegangen, da er den größten Beitrag zur Ressourceneinsparung leisten kann. Tendenziell lässt sich für Wohngebäude sagen, dass Altbauten (sofern sie nicht nach neuestem Standard energetisch saniert sind) deutlich mehr Energie in der Nutzungsphase benötigen als Neubauten (rund um den Faktor 2 – 20 mehr). Baustoffe in Neubauten weisen hingegen häufig einen höheren Ressourcenaufwand in der Herstellung auf.

Ein Wohngebäude hat in aller Regel eine hohe Lebensdauer. Zugleich wird der überwiegende Teil der in den Bau eingebrachten Baustoffe für die Zeit der Nutzungsdauer im Gebäude gebunden. Die Entscheidung über eine Wiederverwendung oder Entsorgung

gung bleibt so häufig einer späteren Generation und neuen Eigentümer/-innen überlassen. Wiederverwendungs- oder Recyclingmöglichkeiten werden über die Trennbarkeit und die verwendeten Baustoffe hingegen bereits in der Planungsphase eines Gebäudes maßgeblich mitbestimmt.

Der Materialbedarf zur Herstellung einzelner Baustoffe kann sehr unterschiedlich ausfallen. Da zudem Raumprogramm, Dimensionierung und Bauweisen von Wohngebäuden höchst unterschiedlich sind, ist es schwierig, aus Stoffstromsicht durchschnittliche Referenzgebäude auszuweisen. Die Hot Spot Analyse fasst deshalb die Durchschnitts- und Erfahrungswerte aus mehreren vorliegenden Studien zu einem Gesamtüberblick zusammen. Auch wenn zur Entsorgungsphase von Gebäuden aus Stoffstromsicht nur wenige Erkenntnisse vorliegen, wird die Phase der Entsorgung zumindest qualitativ berücksichtigt und sollte zukünftig detaillierter untersucht werden.

Die Ergebnisse der drei Schritte der Hot Spot Analyse für die Wertschöpfungskette Wohngebäude finden sich in Tab. 7, Tab. 8 und Tab. 9.

Tab. 7: Schritt 1: Bewertung der einzelnen Lebenszyklusphasen – Wertschöpfungskette Wohngebäude

<b>Lebenszyklus</b> <b>Kategorie</b>	<b>Rohstoff</b>	<b>Verarbeitung</b>	<b>Nutzung</b>	<b>Entsorgung</b>
<b>Abiotische Materialien</b>	3	2	2	1
<b>Biotische Materialien</b>	1	1	1	1
<b>Wasser</b>	2	2	2	1
<b>Energie</b>	3	2	3	2

Quelle: Wallbaum / Kummer, 2006

Während die Gebäudeplanung durch ihren signifikanten übergreifenden Einfluss auf alle übrigen Lebenszyklusphasen als besonders relevant angesehen werden kann, werden die meisten Materialverbräuche im Rahmen der Rohstoffgewinnung und der Gebäudenutzung realisiert.

Tab. 8: Schritt 2: Lebenszyklusweite Betrachtung – Wertschöpfungskette Wohngebäude

<b>Lebenszyklus</b> <b>Kategorie</b>	<b>Rohstoff</b>	<b>Verarbeitung</b>	<b>Nutzung</b>	<b>Entsorgung</b>
<b>Nicht-energetisch</b>	3	1	2	1
<b>Energie</b>	2	1	3	1

Quelle: Wallbaum / Kummer, 2006

Als besonders relevant in Schritt 2 ergeben sich die Rohstoff- und die Nutzungsphase.

Tab. 9: Schritt 3: Identifizierung der Hot Spots – Wertschöpfungskette Wohngebäude

<b>Lebenszyklus</b> <b>Kategorie</b>	<b>Rohstoff</b>	<b>Verarbeitung</b>	<b>Nutzung</b>	<b>Entsorgung</b>
<b>Abiotische Materialien</b>	9	2	4	1
<b>Biotische Materialien</b>	3	1	2	1
<b>Wasser</b>	6	2	4	1
<b>Energie</b>	6	2	9	2

Quelle: Wallbaum / Kummer, 2006

Als Hot Spots ergeben sich damit der Materialverbrauch von abiotischen Ressourcen, Wasser und Energie in der Rohstoffphase sowie der Energieverbrauch in der Nutzungsphase.

#### 4.3.2 Übertragbarkeit der Ergebnisse auf das Bedarfsfeld Wohnen und den Bausektor

Um aus der Hot Spot Analyse entlang der Wertschöpfungskette Wohngebäude, die auf Durchschnittswerten aus verschiedenen Einzelbetrachtungen und Erfahrungswerten für Wohngebäude basiert, (politische) Schlussfolgerungen übergreifend für das Bedarfsfeld Wohnen ziehen zu können, müssen die Ergebnisse der Hot Spot Analyse auf den gesamten Bausektor und das gesamte Bedarfsfeld übertragen werden.

Die im Vergleich zum Thema Energie und Bauen geringe Zahl von Studien / Analysen zum lebenszyklusweiten Materialverbrauch von Gebäuden macht derzeit aber eine übergreifende Hot Spot Analyse für das Bedarfsfeld Wohnen unmöglich. Hier besteht akuter Forschungsbedarf.

#### 4.3.3 Ansätze zur Ressourceneffizienzsteigerung und erste Hinweise zur Abschätzung der Ressourceneffizienzpotenziale

Tab. 10 listet erste Ansätze zur Ressourceneffizienzsteigerung entlang der Kette auf; außerdem wird auch deren Wirkung auf die einzelnen Ressourcenkategorien differenziert für die einzelnen Phasen in der Tabelle bewertet. Fundierte quantitative Aussagen zu den Ressourceneffizienzpotenzialen liegen nicht vor; entsprechender Forschungsbedarf kann daraus abgeleitet werden.



Tab. 10: Ansätze zur Ressourceneffizienzsteigerung im Bedarfsfeld Wohnen

	Rohstoff	Verarbeitung	Nutzung	Entsorgung
	<b>Ansatzpunkte zur Ressourceneffizienzsteigerung</b>			
	Entwicklung innovativer und ressourceneffizienter Baustoffe  Verbesserung von Material- und Energieeffizienz bei der Gewinnung herkömmlicher Baustoffe  Ressourceneffizientere Energiegewinnung (v.a. Strom)	Auswahl der Baustoffe unter Berücksichtigung von Vorketten / Zulieferern und des Erneuerungszyklus (hohes Potenzial)  Qualitativ hochwertige Bauplanung und sorgfältige Verarbeitung (Ausschuss und Nacharbeiten vermindern)  Material und Fläche: Nutzung von Gebäudebestand statt Neubau; möglichst nicht „auf der grünen Wiese bauen“ (eher Nachverdichtung)	Instandhaltungsaufwendungen: vgl. Spalte „Rohstoffgewinnung und Verarbeitung“  Senkung des Energiebedarfs für Heizwärme und Wasseraufbereitung; Umstieg auf erneuerbare oder weniger umweltbelastende Energieträger	Weiternutzung des Gebäudebestandes  Instandhaltung bestehender Gebäude, um eine Weiternutzung zu ermöglichen  Verbessertes Baustoffrecycling auf qualitativ hochwertigem Level  Nutzung von Bauabfällen als Rohstoffquelle
<b>Abiotisch</b>	A	A	B	A
<b>Biotisch</b>	C (steigend durch Umstieg auf nachwachsende Rohstoffe)	C (teilweise Umstieg auf nachwachsende Rohstoffe)	C	B bis C
<b>Wasser</b>	C (ohne Energiegewinnung)	C (ohne Energiegewinnung)	C	B
<b>Energie</b>	A bis B	A	A	A
Legende: Wirkung auf Ressourceneffizienzsteigerung: A = hoch; B = mittel; C = niedrig				

Quelle: Wallbaum / Kummer, 2006

#### 4.4 Hot Spot Analyse im Bedarfsfeld Ernährung

Zwei Produktbeispiele wurden im Bedarfsfeld Ernährung ausgewählt: einerseits das Beispiel Frischkäse, das einen Einblick in die Hot Spots der Nahrungsmittelproduktion auf der Basis tierischer Produkte gibt, und andererseits das Beispiel Kaffee, das auf rein pflanzlichen Rohstoffen basiert, aber mit umfangreichen Transporten verbunden ist. Kaffee wurde außerdem als Produktbeispiel im Bedarfsfeld Ernährung ausgesucht, weil es eine gute Kommunikationsfähigkeit der Ergebnisse Richtung breite Öffentlichkeit verspricht.

##### 4.4.1 Wertschöpfungskette Frischkäse

Eine vollständige Betrachtung der Frischkäse-Wertschöpfungskette startet notwendigerweise bei der Haltung der Kühe. Sie spannt sich weiter über die Milchgewinnung und -verarbeitung, die Verteilung der Frischkäseerzeugnisse bis hin zum Konsum und der Entsorgung. In der Frischkäseherstellung hat Milch einen Rohstoffanteil von 99%. Die jeweiligen Transportprozesse sind nicht einzeln aufgeführt, werden aber in die jeweils folgende Lebenszyklusphase integriert. Maschinen in der landwirtschaftlichen Produktion, Verpackungsmaterialien und die Futtergewinnung liegen außerhalb der

betrachteten Systemgrenzen. Das heißt beispielsweise, dass Futtermittel zwar in der Betrachtung inbegriffen sind, die Düngemittel zur Herstellung des Futters jedoch nicht. Die Analyse bezieht sich außerdem ausschließlich auf Kuhmilch, d.h. Milch von Schafen oder Ziegen wird nicht berücksichtigt.

Die Ergebnisse der drei Schritte der Hot Spot Analyse für die Wertschöpfungskette Frischkäse finden sich in Tab. 11, Tab. 12 und Tab. 13.

Tab. 11: Schritt 1: Bewertung der einzelnen Lebenszyklusphasen – Wertschöpfungskette Frischkäse

<b>Lebenszyklus</b> <b>Kategorie</b>	<b>Rohstoff</b>	<b>Verarbeitung</b>	<b>Nutzung</b>	<b>Entsorgung</b>
<b>Abiotische Materialien</b>	1	1	1	1
<b>Biotische Materialien</b>	3	3	1	1
<b>Wasser</b>	3	2	1	1
<b>Energie</b>	2	2	2	1

Quelle: Wallbaum / Kummer, 2006

Die landwirtschaftliche Produktionsphase ist für die Frischkäseherstellung in Bezug auf den Ressourcenverbrauch am bedeutendsten. Von weiterer Relevanz sind die Verarbeitungs- sowie Nutzungsphase. Milch bzw. Frischkäse als schnell verderbliche Waren müssen von der Rohstoffgewinnung bis zur Nutzung gekühlt werden, was Energie zu einer während dieser Lebenszyklusphasen relevanten Kategorie macht.

Tab. 12: Schritt 2: Lebenszyklusweite Betrachtung – Wertschöpfungskette Frischkäse

<b>Lebenszyklus</b> <b>Kategorie</b>	<b>Rohstoff</b>	<b>Verarbeitung</b>	<b>Nutzung</b>	<b>Entsorgung</b>
<b>Nicht-energetisch</b>	3	2	1	1
<b>Energie</b>	2	3	2	1

Quelle: Wallbaum / Kummer, 2006

In Schritt 2 ergeben sich erneut die Rohstoff- und Verarbeitungsphase als besonders relevante Prozesse innerhalb der Wertschöpfungskette.

Tab. 13: Schritt 3: Identifizierung der Hot Spots – Wertschöpfungskette Frischkäse

<b>Lebenszyklus</b> <b>Kategorie</b>	<b>Rohstoff</b>	<b>Verarbeitung</b>	<b>Nutzung</b>	<b>Entsorgung</b>
<b>Abiotische Materialien</b>	3	2	1	1
<b>Biotische Materialien</b>	9	6	1	1
<b>Wasser</b>	9	4	1	1
<b>Energie</b>	4	6	4	1

Quelle: Wallbaum / Kummer, 2006

Als Hot Spots ergeben sich in der Rohstoffphase der Verbrauch biotischer Materialien und Wasser sowie in der Verarbeitungsphase erneut biotische Materialien sowie die Energienutzung. Der hohe Energieverbrauch ist vor allem auf die kontinuierlich aufrecht zu erhaltende Kühlkette in den ersten drei Lebenszyklusphasen zurückzuführen. Die biotischen Materialien sind auf den Futtermittelverbrauch in der Rohstoffphase sowie den hohen Milchanteil im Endprodukt zurückzuführen.

#### 4.4.2 Wertschöpfungskette Kaffee

Kaffee ist eines der Produkte, die am stärksten „fair gehandelt“ werden, was für eine erhöhte Aufmerksamkeit der Verbraucher spricht. Ferner ist der Konsum von Kaffee eng an Lebensgewohnheiten (Lifestyle) und Trends gebunden, so dass eine enge Kopplung an den Diskurs um nachhaltigen Konsum möglich ist.

Die Ergebnisse der drei Schritte der Hot Spot Analyse für die Wertschöpfungskette Kaffee finden sich in Tab. 14, Tab. 15 und Tab. 16.

Tab. 14: Schritt 1: Bewertung der einzelnen Lebenszyklusphasen – Wertschöpfungskette Kaffee

<b>Lebenszyklus</b> <b>Kategorie</b>	<b>Rohstoff</b>	<b>Verarbeitung</b>	<b>Nutzung</b>	<b>Entsorgung</b>
<b>Abiotische Materialien</b>	2	1	1	1
<b>Biotische Materialien</b>	1	3	1	1
<b>Wasser</b>	2	1	2	1
<b>Energie</b>	3	2	3	1

Quelle: Wallbaum / Kummer, 2006

Besondere Relevanz haben die Rohstoff-, Verarbeitungs- und Nutzungsphase.

Tab. 15: Schritt 2: Lebenszyklusweite Betrachtung – Wertschöpfungskette Kaffee

Lebenszyklus / Kategorie	Rohstoff	Verarbeitung	Nutzung	Entsorgung
Nicht-energetisch	3	2	1	1
Energie	3	2	2	1

Quelle: Wallbaum / Kummer, 2006

Die Rohstoffphase für die Kaffeekeite ist mit Abstand die wichtigste Lebenszyklusphase sowohl für die energetischen, als auch die nicht-energetischen Ressourcen. Mit Abstand folgt die Verarbeitungsphase und dann erst die Nutzung und die Entsorgung.

Tab. 16: Schritt 3: Identifizierung der Hot Spots – Wertschöpfungskette Kaffee

Lebenszyklus / Kategorie	Rohstoff	Verarbeitung	Nutzung	Entsorgung
Abiotische Materialien	6	2	1	1
Biotische Materialien	3	6	1	1
Wasser	6	2	2	1
Energie	9	4	6	1

Quelle: Wallbaum / Kummer, 2006

Als Hot Spots ergeben sich die Verbräuche abiotischer Materialien, Wasser und Energie in der Rohstoffphase, die Verwendung biotischer Materialien in der Verarbeitung sowie der Energieverbrauch in der Nutzungsphase.

#### 4.4.3 Übertragbarkeit auf andere Produkte im Lebensmittelsektor und erste Hinweise zur Abschätzung der Ressourceneffizienzpotenziale

Die im Vergleich zu den anderen Lebenszyklusphasen herausgehobene Bedeutung der Rohstoffphase wird von einer Vielzahl Studien im Bereich der Lebensmittel bestätigt – z.B. für Bier, Milch und Fleisch. Von zweithöchster Priorität wird danach in der Mehrzahl der Fälle die Nutzungsphase genannt, insbesondere wenn die Lagerung und Zubereitung der Lebensmittel mit hohem Energieaufwand verbunden ist (kochen, kühlen oder tiefkühlen).

Innerhalb der Rohstoffphase ist auffällig, dass Lebensmittel, die auf tierischen Produkten basieren, grundsätzlich mit deutlich höherem Ressourcenverbrauch verbunden sind als dies bei rein pflanzlichen Lebensmitteln der Fall ist. Diese grundsätzliche Einschätzung scheint sowohl für global als auch für regional erzeugte Rohstoffe zu gelten. Die Zuordnung einer geringen Relevanz abiotischer Ressourcenverbräuche in der Rohstoffphase des Produktbeispiels Frischkäse ist durch die gezogenen Systemgrenzen

zen zu erklären. Zudem zeichnen sich Lebensmittel, die mit einem hohem Verarbeitungsaufwand hergestellt werden (kühlen, kochen, backen, erhitzen, pulverisieren), durch einen hohen Energieverbrauch in der Herstellung bzw. Nutzung aus. Bei verderblichen und (tief-)gekühlten Lebensmitteln ist zudem die Kühlkette durchgängig aufrecht zu erhalten, was zu einem zusätzlichen Energieaufwand führt.

In der Nutzungsphase hat die Haltbarkeit bzw. die Portionsgröße einen entscheidenden Einfluss. Zu groß portionierte Einheiten bzw. nicht lagerbare Lebensmittel führen zu einem hohen Wegwerfanteil. Durch den mit der Herstellung verbundenen Ressourcen- und Energieaufwand stellt dies einen signifikanten Ressourcenverbrauch dar. Ein weiterer relevanter Punkt in der Nutzungsphase ist der mit dem Erwärmen (kochen, backen usw.) verbundene Energieverbrauch.

Fundierte quantitative Aussagen zu den Ressourceneffizienzpotenzialen liegen nicht vor; d.h. es besteht dringender Forschungsbedarf.

## 4.5 Hot Spot Analyse im Bedarfsfeld Kommunikation und Informationsverarbeitung

### 4.5.1 Wertschöpfungskette PC

Als Produktbeispiel im Bedarfsfeld Kommunikation und Informationsverarbeitung wurde der PC (inklusive Bildschirm) gewählt, da der große Mengeneffekt dieses Beispiel besonders interessant macht. Für das Produkt PC wurden außerdem relativ viele lebenszyklusweite Analysen durchgeführt. Ähnlich wie für die zuvor betrachteten Produkte beginnt der Lebenszyklus des PC mit der Gewinnung von Rohstoffen. In den komplexen Bauteilen eines PC kommen viele Materialien und Rohstoffe zum Einsatz. Die Verarbeitungsphase umfasst sowohl die Herstellung einzelner Komponenten als auch den Zusammenbau des kompletten Produktes.

Die Ergebnisse der drei Schritte der Hot Spot Analyse für die Wertschöpfungskette PC finden sich in Tab. 17, Tab. 18 und Tab. 19.

Tab. 17: Schritt 1: Bewertung der einzelnen Lebenszyklusphasen – Wertschöpfungskette PC

<b>Kategorie</b> \ <b>Lebenszyklus</b>	<b>Rohstoff</b>	<b>Verarbeitung</b>	<b>Nutzung</b>	<b>Entsorgung</b>
<b>Abiotische Materialien</b>	3	3	1	1
<b>Biotische Materialien</b>	1	1	1	1
<b>Wasser</b>	2	3	1	1
<b>Energie</b>	3	3	3	2

Quelle: Wallbaum / Kummer, 2006

Besondere Relevanz haben die Verarbeitungs- und die Rohstoffphase. In der Nutzungsphase spielt insbesondere der Energieverbrauch eine besondere Rolle. Die Entsorgungsphase ist eher von geringer Relevanz.

Tab. 18: Schritt 2: Lebenszyklusweite Betrachtung – Wertschöpfungskette PC

Lebenszyklus / Kategorie	Rohstoff	Verarbeitung	Nutzung	Entsorgung
Nicht-energetisch	3	3	1	1
Energie	3	3	3	1

Quelle: Wallbaum / Kummer, 2006

Unter dem Blickwinkel des Ressourcenverbrauchs stehen in Schritt 2 die Lebenszyklusphasen Verarbeitung und Rohstoffgewinnung sowie die Nutzungsphase (im Hinblick auf Energie) hervor. Eine trennscharfe Unterscheidung der Intensitäten zwischen Rohstoffgewinnungsphase und Verarbeitung ist auf Grundlage der vorliegenden Daten nicht möglich. Der Energieverbrauch in der Nutzungsphase hängt stark vom Nutzerverhalten ab.

Tab. 19: Schritt 3: Identifizierung der Hot Spots – Wertschöpfungskette PC

Lebenszyklus / Kategorie	Rohstoff	Verarbeitung	Nutzung	Entsorgung
Abiotische Materialien	9	9	1	1
Biotische Materialien	3	3	1	1
Wasser	6	9	1	1
Energie	9	9	9	2

Quelle: Wallbaum / Kummer, 2006

Als Hot Spots ergeben sich insbesondere der Verbrauch abiotischer Materialien, Wasser und Energie sowohl in der Rohstoff- als auch der Verarbeitungsphase und der hohe Energieverbrauch in der Nutzungsphase.

#### 4.5.2 Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Produkte im IuK-Bereich und erste Hinweise zur Abschätzung der Ressourceneffizienzpotenziale

Die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Produkte des Bedarfsfeldes hängt von einer Reihe von Einflussgrößen ab. Dazu zählen das Nutzerverhalten, der Einsatz ressourcenintensiver Materialien, die Verarbeitungsintensität, der Anteil des Produktionsausschusses und die Wiederverwendung. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass der Energieverbrauch in der Nutzungsphase von hervorgehobener Bedeutung ist. Der zunehmende Einsatz hochintegrierter Bauteile (z.B. Speicherchips) auch in „einfache-

ren Produkten“ führt ferner dazu, dass die Verarbeitungsintensität und der Einsatz ressourcenintensiver Materialien im Bereich der Informationsverarbeitung und Kommunikation zunehmen und sich damit angleichen. Entsprechend kann davon ausgegangen werden, dass die grundsätzliche Gewichtung der Ressourcenintensität für einen Großteil der Produkte dieses Bedarfsfeldes anwendbar ist.

Die Wiederverwendung der Produkte oder einzelner Bauteile kann einen positiven Beitrag zur Ressourceneffizienz leisten, da damit die in der Rohstoff- und Herstellungsphase aufgewendeten Ressourcen über einen längeren Nutzungshorizont zur Anwendung kommen. Für Produkte, in denen jedoch eindeutig dem Energieverbrauch in der Nutzungsphase die größte Bedeutung zukommt, stellt dies keine sinnvolle Strategie dar, wenn neuere Geräte wesentlich energieeffizienter sind.

Fundierte quantitative Aussagen zu den Ressourceneffizienzpotenzialen liegen nicht vor; auch hier besteht dringender Forschungsbedarf.

#### **4.6 Schlussfolgerungen**

Mit Hilfe der Hot Spot Analyse in Wertschöpfungsketten wurde ein Werkzeug entwickelt, das es erlaubt, die ressourcenintensivsten Phasen (Rohstoff-, Verarbeitungs-, Nutzungs- und Entsorgungsphase) innerhalb einer Produktkette zu identifizieren. Neben dieser Identifizierung kann auch eine differenzierte Aussage darüber getroffen werden, in welcher „Form“ der Ressourceneinsatz erfolgt. Unterschieden werden dabei natürliche Ressourcen, wie abiotische und biotische Materialien und Wasser sowie Energie. Diese Unterscheidung ermöglicht es, richtungssichere Schlussfolgerungen für einzelne Produktketten zu treffen, Maßnahmen daraus abzuleiten und soweit nötig weitere Detailuntersuchungen gezielt durchzuführen.

Als Datengrundlage für die Hot Spot Analyse dienen verfügbare Studien, die in der Regel nur Teil(ressourcen)aspekte und Teilphasen einer Produktkette abbilden. Dementsprechend sind die für die berücksichtigten Studien zugrunde gelegten Systemgrenzen im Einzelfall zu prüfen und hinsichtlich der zu bewertenden Produktkette zu harmonisieren. Wünschenswert wäre, dass die offiziell erhobene und öffentliche zugängliche Datenbasis auf Unternehmens-, Wertschöpfungsketten- und Produktebene verbessert und die eine einheitliche Systematik von der Mikro- über die sektorale bis zur gesamtwirtschaftlichen Ebene weiterentwickelt würde (Schütz / Ritthoff, 2006).

Der Vorteil der hier vorgeschlagenen Methode besteht darin, dass die vorhandenen Studien genutzt werden, um lebenszyklusweite Aussagen treffen zu können. Damit müssen in schon relativ gut untersuchten Bereichen keine vollständig neuen Lebenszyklusstudien durchgeführt werden, um zu richtungssicheren Aussagen zu gelangen. Dies wird jedoch erkauft mit dem Nachteil heterogener Systemgrenzen. Man muss sich bewusst sein, dass sich durch die Verwendung unterschiedlicher Studien Fehlerquellen im schlimmsten Fall potenzieren, im besten Fall eliminiert werden. Vor diesem Hintergrund ist der Anspruch der Hot Spot Analyse das Ableiten richtungssicherer Aussagen, wobei die Ergebnisse in ihrer detaillierten Aussagekraft nicht überschätzt werden sollten.

## 5 Hot Spot Technologien zur Ressourceneffizienzsteigerung

Antworten auf die Kernfrage „Welchen Beitrag können bekannte Technologien leisten und welche technologischen Innovationen können zu erheblichen Ressourceneffizienzsteigerungen führen?“ konnten durch das Screening „alter“ und „neuer“ technologischer Ansätze gefunden werden (Ritthoff / Liedtke / Kaiser, 2007). Ziel war es, wichtige technologische Stellschrauben und damit Hot Spot Technologien zu identifizieren, die einen besonders großen Einfluss auf die Ressourceneffizienz haben.

Auf der Unternehmensebene führt die Berücksichtigung von Aspekten der Ressourcenschonung und Umweltentlastung zu anspruchsvollen Systemen der Werkstoff-, Dienstleistungs-, Technologie-, Prozess- und Produktentwicklung, die Wertschöpfungsketten „von der Wiege bis zur Wiege“ optimieren. Aus diesen komplexen Systemen konnten neun Hot Spots bzw. zentrale Stellschrauben technologischer Ansatzpunkte zur Ressourceneffizienzsteigerung herausgefiltert werden.

### 5.1 Rohstoffe: Verfügbarkeit und Auswahl

Abiotische Rohstoffe (z.B. Erze, fossile Energieträger) haben sehr unterschiedliche Materialintensitäten.

Erze derselben **Metalle** können in ihrem Metallgehalt erheblich variieren – bis zu Faktoren um die 1.000 (z.B. auch Zinn und Gold) und mehr des Metallgehaltes im Erz. Bei Massenrohstoffen wie Eisenerz oder Bauxit erfolgt bereits eine Optimierung auf hohen Metallgehalt und leichte Aufschließbarkeit, da dies wesentliche Voraussetzungen für die wirtschaftliche Führung der nachfolgenden Prozesse ist. Bei anderen Metallen gibt es dagegen oft größere Unterschiede, da aufgrund stark differierender Randbedingungen Lagerstätten mit sehr unterschiedlichen Metallgehalten wirtschaftlich gefördert werden können – etwa reiche Ganglagerstätten und arme, aber große Seifenlagerstätten. In manchen Fällen ermöglichen auch sehr niedrige ökologische bzw. Sozialstandards und Einkommen erst den „wirtschaftlichen“ Abbau von Lagerstätten (etwa Gold in Südamerika).

Bei vielen nicht-metallischen **Industriemineralen** (Salzen, Kalk, Dolomit, Tone und Kaolin) ist zwar der Ökologische Rucksack relativ gering, die Recyclingfähigkeit ist aufgrund ihrer Verwendung etwa in Bindemitteln, Keramik oder als Additive aber meist eingeschränkt.

Verglichen mit den Metallen ist die Förderung von Erdöl oder Erdgas – anders als bei Braun- und Steinkohle – speziell bezogen auf die Ressourceneffizienz bisher unproblematisch. Mit einem sich abzeichnenden teilweisen Übergang auf nicht konventionelle Kohlenwasserstoffe dürfte sich dies jedoch langfristig ändern. Ein Grundproblem der Nutzung von **fossilen Kohlenwasserstoffen** ist, dass durch die überwiegend direkte Verwendung als Brennstoff – statt einer vorherigen stofflichen Nutzung in einem Kaskadennutzungssystem – das Nutzungspotenzial bei weitem nicht ausgeschöpft wird und unnötige Umweltbelastungen etc. entstehen.



Bei den **biotischen Rohstoffen** kommt es vom Blickwinkel der Ressourceneffizienz betrachtet vor allem auf den Umfang der Flächeninanspruchnahme sowie auf die damit verbundene Erosion und Bodenbewegung an. Monokulturen fördern vielfach den Degradationsprozess und setzen die Flächen großem Stress aus. In den vergangenen 40 Jahren gingen weltweit fast ein Drittel des landwirtschaftlich nutzbaren Bodens durch Erosion verloren. Runde 10 Mio. Hektar Ackerland verschwinden auf diese Weise jährlich und 75 Mrd. Tonnen Ackerboden. Erosion ist zu vermeiden ebenso wie tiefe Bodenbewegungen mit ihrem Eingriff in die Bodenhorizonte und nachfolgender Oxidationsprozesse (Schmidt-Bleek, 2007, 38).

Bei beiden Bereichen – abiotisch und biotisch – sind jeweils **Einzelfallanalysen** notwendig (vgl. Kapitel 4 zur Hot Spot Analyse Methodik), die Risiken und Chancen bezogen auf die Ressourceneffizienz konkret darstellen und Handlungsnotwendigkeiten und -potenziale aufzeigen.

Einschätzung zum Ressourceneffizienzsteigerungspotenzial<sup>2</sup>:

- Erze: +++ bis + / in ungünstigen Fällen: –
- Industriemineralien: 0
- Fossile Energieträger: +++ bis + / in ungünstigen Fällen: –
- Biotische Rohstoffe: je nach Anbauart: +++ bis 0

## 5.2 Werkstoffauswahl, neue Werkstoffe und werkstoffgerechte Konstruktion

Die **Auswahl der Werkstoffe** hat einen wesentlichen Einfluss auf den Ressourcenverbrauch von Produkten. Einerseits durch die mit ihrer Herstellung, Entsorgung und Wiederverwendung des jeweiligen Werkstoffs verbundenen Ressourceninanspruchnahme (incl. ökologischer Rucksack) und Umweltbeeinträchtigungen, andererseits durch die mit diesen Werkstoffen verbundenen Gestaltungs- und Konstruktionsmöglichkeiten.

Eine bedeutende Rolle spielen dabei insbesondere auch **neue Werkstoffe**. Diese können etwa verbesserte Anwendungseigenschaften aufweisen (Korrosionsbeständigkeit, Festigkeit etc.), sich aber auch durch verbesserte Verarbeitbarkeit und verbunden damit neuen Konstruktionsmöglichkeiten auszeichnen. Die Entwicklung geht sogar zu für bestimmte Produkte bzw. Konstruktionen maßgeschneiderten Werkstoffen, die in ihrer speziellen Anwendung erhebliche Ressourceneffizienzpotenziale eröffnen können. Beispiele stammen etwa aus dem Automobilbau: durch den Einsatz neuer Stahlsorten kann das Gewicht einer Stahlkarosserie um 25% gesenkt werden.

---

<sup>2</sup> Skalierung: +++ = stark positiver Effekt; ++ = positiver Effekt; + = leicht positiver Effekt; 0 = kein Effekt; – = leicht negativer Effekt; -- = negativer Effekt; --- = stark negativer Effekt

Ein wesentlicher Schlüssel zur Ressourceneffizienzsteigerung ist auch die **werkstoffgerechte Konstruktion**, z.B. die Auswahl der Werkstoffe nach den auftretenden Lastfällen oder die kraftflussgerechte Gestaltung von Bauteilen.

Einschätzung zum Ressourceneffizienzsteigerungspotenzial:

- Werkstoffauswahl: +
- Neue Werkstoffe: ++
- Werkstoffgerechte Konstruktion: ++

### 5.3 Recycling und langlebige Produkte

Recycling sowie die Lebensdauer von Gütern sind Faktoren, die bereits bei der Produktgestaltung mitbedacht werden müssen. Beide Ansätze sind immens wichtig, da sie hohe Potenziale zur Ressourceneffizienzsteigerung bieten.

In Europa und Deutschland gibt es bereits eine lange Tradition des Recyclings (z.B. Metalle, Glas, Papier). Wirtschaftliches **Recycling** hängt von der Verfügbarkeit von Altmaterial ab und dies i.d.R. in möglichst gleichmäßiger Qualität und Menge. Die Materialien müssen auch hier spezifischen Kriterien wie z.B. Toleranz gegenüber Verunreinigungen, leichte Trennbarkeit etc. gerecht werden. Die Tendenzen zu größerer Werkstoffvielfalt, Maß- und Verbundwerkstoffen verringern die Potenziale sortenreinen Recyclings.

Sinnvoll scheint die Unterscheidung zwischen kurz-, mittel- und langfristigen Werkstoffkreisläufen, was sich auch in der Produktkonzeption (modularer Aufbau etc. ) widerspiegeln müsste. Werkstoffe mit hohem Innovationspotenzial gegenüber Werkstoffen mit geringerem Veränderungspotenzial müssen auch in unterschiedlichen Produktionsinfrastrukturen geführt werden.

**Langlebige Produkte** sind vorteilhaft, wenn sie in der Nutzungsphase keine hohen Energie-, Wasser- oder Materialverbräuche haben und eine Kompatibilität mit den Werkstoffkreisläufen gewährleistet ist. Wichtig ist außerdem nicht eine möglichst hohe potenzielle Lebensdauer sondern eine möglichst lange Nutzungsdauer. Das ist insbesondere bei sich dynamisch entwickelnden Anwendungsfeldern eine deutliche Einschränkung – z.B. Einsatz moderner Informationstechniken.

Einschätzung zum Ressourceneffizienzsteigerungspotenzial:

- Recycling: +
- Hohe Produktlebens- und Nutzungsdauer: 0 bis +

### 5.4 Kaskadennutzung

Die Kaskadennutzung kann ebenso wie die Nutzung von Nebenprodukten den Ressourcenverbrauch senken. Wichtig ist, nicht alleine den Nutzen des Hauptproduktes im

ersten Lebenszyklus zu optimieren, sondern auch weitere Nutzungszyklen bzw. die Nebenprodukte in die Entwicklung und das Design mit einzubeziehen. Bei biotischen Rohstoffen wäre z.B. nicht nur der eigentliche Ernteertrag der Früchte zu optimieren, sondern unter Umständen auch die anderen Bestandteile der Pflanze (z.B. hinsichtlich ihres Energiegehaltes für die Energieerzeugung).

Die Optimierung mit Blick über das erste Hauptprodukt hinaus kann im Einzelfall jedoch auch bedeuten, dass die Erstanwendung weniger effizient ist. Verbundwerkstoffe könnten z.B. oft nur schlecht eingesetzt werden. Das sorgt für einen grundsätzlichen Konflikt: es könnten so Produkte entstehen, die in einigen Eigenschaften schlechter sind als sie sein könnten, damit hochwertigere nachfolgende Produkte entstehen können.

Kunststoffe eignen sich nach ihrer Erstnutzung derzeit meist nur noch zum Downcycling oder zur Verbrennung. Dafür Kaskadennutzungsstrategien zu entwickeln, wäre für die Ressourceneffizienz von hoher Bedeutung. Einige Beispiele zeigen, dass Lösungen möglich sind. Ein Beispiel dafür ist die Nutzung von PET-Flaschen zur Herstellung von Fleecematerialien.

Einschätzung zum Ressourceneffizienzsteigerungspotenzial:

- Kaskadennutzung: 0 bis +

## 5.5 Produktion und Fertigung

Die Auswahl des **ressourceneffizientesten Produktions- oder Fertigungsverfahrens** muss immer in Zusammenhang mit den Marktgegebenheiten und den Rahmenbedingungen erfolgen. Bei Groß- oder Kleinserien können sich jeweils unterschiedliche Produktionsverfahren als ressourceneffizienter erweisen. Anlagen können durch die aktuelle Nachfrage schon ausgelastet sein oder nicht. Information über mögliche Varianten und Sensitivitätsanalysen sind damit schon in der Produktgestaltung und der Konstruktion von großer Bedeutung. Dabei muss schon im Vorfeld eine große Anzahl von Fertigungsverfahren (Urformen, Umformen, Trennen, Fügen, Beschichten, Stoffeigenschaften ändern etc.) im Zusammenspiel mit den jeweiligen Werkstoffen hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf den Ressourcenverbrauch in Abhängigkeit von konstruktiven Lösungen und Produktionsmengen beurteilt werden. Die Komplexität dieser Aufgabe und die derzeit dominierende Fokussierung auf wenige Werkstoffe lässt hier ein großes Potenzial vermuten.

Eine **optimierte Kombination unterschiedlicher Werkstoffe** etwa Metalle, Kunststoffe oder Keramik wird aus vielfältigen Gründen häufig in der Praxis nicht realisiert (z.B. nur speziellen Rohstoff verarbeitende Betriebe, vorhandene Infrastruktur, Fachexpertise nur für einen Werkstoff etc.), würde jedoch große Einsparpotenziale eröffnen.

Einschätzung zum Ressourceneffizienzsteigerungspotenzial:

- Wahl von Produktions- und Fertigungsverfahren: ++
- Optimierte Kombination unterschiedlicher Werkstoffe: ++

## 5.6 Produktgestaltung: Produktdesign und Produkt-Dienstleistungs-Systeme

Neben F&E ist die Produktgestaltung, d.h. das **Produktdesign** bzw. die **Gestaltung von Produkt-Dienstleistungs-Systemen**, von erheblicher Bedeutung für die Ressourceneffizienz und Recyclingfähigkeit der Produkte. Wichtige Schritte für ein ökologisches Design von Produkten und Dienstleistungen sind:

- Detaillierte Beschreibung des Bündels der Kundenwünsche,
- Suche nach möglichst weitgehend entmaterialisierten Lösungen für den gesamten Lebenszyklus (d.h. incl. Kaskadennutzung, Vordenken von Weiter-, Wiedernutzungs- und Recyclinglösungen) schon in der Konzeptions-, Planungs- und Entwurfsphase,
- erste Bewertung der Ergebnisse,
- Auswahl der am „besten“ erscheinenden Lösung,
- Vergleich der „besten“ Lösung mit gängigen Marktprodukten,
- Prüfung der Herstellbarkeit sowie des Preises der gefundenen Lösung,
- Durchführung notwendig erscheinender Anpassungen,
- Realisierung.


Werden diese Aspekte konsequent berücksichtigt, so können auch beim Re-Design erhebliche Effizienzsteigerungen erreicht werden. Bei einem Neudesign sind häufig größere Potenziale erschließbar, hierbei muss jedoch auch die Integration in ein bestehendes Umfeld berücksichtigt werden. Grundlegende Änderungen können einen ergänzenden Anpassungsbedarf erzeugen, der für die Ressourceneffizienzsteigerung positiv sein kann, jedoch nicht sein muss. Vielfach gibt es für grundsätzliche Änderungen „Windows of Opportunity“, in denen Umstellungen nutzbringend möglich sind. Dabei sollten sowohl die Roh- und Werkstoffauswahl als auch Aspekte der potenziellen Kaskadennutzung und des Recyclings integriert mit alternativen Geschäfts- und Nutzungsmodellen berücksichtigt werden.

Einschätzung zum Ressourceneffizienzsteigerungspotenzial:

- Produktgestaltung: +++
- Gestaltung von Produkt-Dienstleistungs-Systemen: +++

Abb. 4 zeigt beispielhaft Effizienzfaktoren, die durch Re-Design von Produkten in finnischen Unternehmen erreicht wurden. Obwohl nicht immer der komplette Lebensweg betrachtet wurde, sind Ressourceneffizienzsteigerungen bis zum Faktor 6 erreicht worden.

Abb. 4: Wirkungen von Re-Design-Lösungen am Beispiel von fünf Produkten finnischer Unternehmen



Company	Starting solution / comparison	Developed solution	Factor X
Virke Oy	Woman's blouse polyester/cotton	Woman's blouse polyester/viscose	1,7
Mitron Oy	Display (fluorescent tube/1 year of use)	Display (LED, 1 year of use)	6
Finton Oy	Concrete balcony (1 year of use)	Steel balcony (1 year of use)	3
Primalco Oy	Wine packaging and transport in disposable bottle	Wine packaging and transport in reuseable bottle	1,9
Zaza	Tavolo table (1 year of use)	New Tavolo table (1 year of use)	2

Quelle: Autio / Lettermeier, 2002

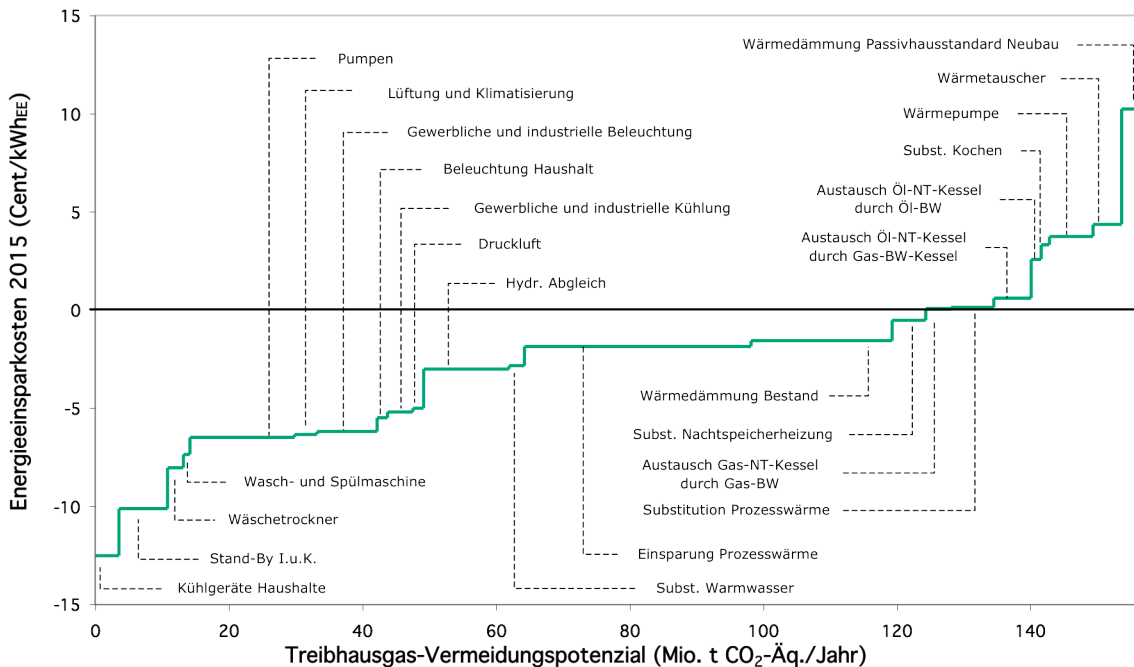
## 5.7 Querschnittstechnologien

Mit den Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT), den weißen Biotechnologien und den Nanotechnologien verbinden sich große Hoffnungen auf nachhaltige Zukunftsmärkte. Ob diese Hoffnungen berechtigt sind, ist derzeit noch nicht abzuschätzen. Alle drei Technologiefelder sind jedoch zu vielfältig, als dass sich eindeutige Einschätzungen hinsichtlich ihres Einflusses auf die Ressourceneffizienz treffen lassen könnten. **Informations- und Kommunikationstechnologien** haben einerseits große Potenziale etwa im Bereich der Prozesssteuerung, aber auch in anderen Bereichen können sie den Ressourcenverbrauch deutlich reduzieren. Grundproblem ist andererseits die kurze Nutzungsdauer vieler IKT Anwendungen und die immer stärkere Durchdringung von Konsumgütern mit kurzlebigen IKT. Verbunden ist dies mit einer Verkürzung der Nutzungsdauer vieler Güter, was zu einer erhöhten Produktion und steigendem Ressourcenverbrauch führt. Die **weiße Biotechnologien** bergen viele Chancen zur Ressourceneffizienzsteigerung (z.B. Katalysatoren, Biomining, Fermenter). Allerdings hat sich die Anwendung dieser Technologien in der Breite noch nicht durchgesetzt. Es besteht erheblicher Forschungsbedarf zu neuen Anwendungsbereichen bzw. den Nachhaltigkeitswirkungen, aber auch Bedarf nach Markteinführungsstrategien. Bei den **Nanotechnologien** sind die Ressourceneffizienzwirkungen noch am wenigsten klar. Die Risikoforschung ist noch nicht soweit vorgedrungen, dass Aussagen möglich sind, ob eine nachhaltige und ressourceneffiziente Anwendung gesichert ist. Die ELSA-Initiative der EU wie auch der Aktionsplan sind hier wichtige Schritte. Die dafür bereitgestellten Mittel fallen aber im Vergleich zu den Forschungsgeldern für die Technologieentwicklung marginal aus. Eine übergreifende, über Einzelfallsbe-

trachtungen hinausgehende Bewertung der möglichen Potenziale zur Ressourceneffizienzsteigerung ist deshalb derzeit kaum möglich.

Im Bereich Energieeffizienz wurden **typische Querschnittstechnologien** auf ihr Energieeffizienzsteigerungs- und Treibhausgasminderungspotenzial untersucht und dabei auch die Kostensenkungen durch die Energieeinsparungen ausgewiesen (bzw. Kostensteigerungen bei derzeitigen Rahmenbedingungen noch nicht wirtschaftlichen Optionen). Abb. 5 zeigt die Ergebnisse im Überblick. Eine Analyse wichtiger Querschnittstechnologien auf ihr jeweiliges Potenzial zur Ressourceneffizienzsteigerung auch für die anderen Materialien, Wasser etc. steht noch aus. An diesem Punkt besteht dringender Forschungsbedarf.

Abb. 5 Energieeffizienzsteigerung bzw. Treibhausgasreduktion durch Querschnittstechnologien



Quelle: Thomas / Barthel / Bunse / Irrek, 2006

Einschätzung zum Ressourceneffizienzsteigerungspotenzial:

- Informations- und Kommunikationstechnologien: -- bis ++
- Weiße Biotechnologie: ++
- Nanotechnologien: (grobe Schätzung: 0 bis ++)
- Traditionelle Querschnittstechnologien: + bis +++

## 5.8 Forschung und Entwicklung

Die Analyse von **Forschungs- und Entwicklungsprozessen** sowie der Investitionen in diesen Bereich zeigt deutlich, dass Forschungsumfang und -output eng miteinander zusammenhängen. Die Gelder, die z.B. in der Stahlindustrie für die Forschung zum Leichtbau ausgegeben wurden, nahmen effektiv Einfluss auf die systemweite Ressourceneffizienz der Produkte und Dienstleistungen, die entwickelt wurden. Im Anforderungsprofil für zu entwickelnde Technologien, Prozesse, Werkstoffe etc. sollte deshalb generell das Kriterium systemweite optimierte Ressourceneffizienz einbezogen werden. F&E, die dieses Kriterium schon bei der Entwicklung von Produkten, Technologien, Dienstleistungen berücksichtigt, hat nämlich einen großen Effekt auf die weiteren Schritte in der Etablierung oder Weiterentwicklung der Produktkette: Auswahl der Rohstoffe, Prozessführung, Recyclingfähigkeit etc.

Forschung und Entwicklung alleine sind jedoch nicht hinreichend für eine breite Diffusion der Ergebnisse. Insbesondere der **Transfer von Forschungsergebnissen** in die betriebliche Praxis und die Produktgestaltung ist häufig schwierig und lässt damit viele Potenziale ungenutzt.

Einschätzung zum Ressourceneffizienzsteigerungspotenzial:

- Forschungs- und Entwicklungsprozesse: +++
- Forschungstransfer: +++

## 5.9 Ressourceneffizienz und Infrastrukturen

Öffentliche und private Infrastrukturen sorgen für langfristige Festlegungen von Produktions-, Siedlungs- und Versorgungsstrukturen. Der Einfluss der Infrastrukturen auf den daraus resultierenden Ressourcenverbrauch ist daher erheblich. Hinzu kommt der Ressourcenverbrauch zum Aufbau und Unterhalt der Infrastrukturen. Entscheidenden Einfluss auf den Ressourcenverbrauch kann man in den Phasen der **Errichtung und Erneuerung von Infrastrukturen** nehmen („Windows of Opportunity“). Da Infrastrukturlösungen oft auch exportiert oder als Vorbild genommen werden, werden auch ineffiziente und ressourcenverbrauchsintensive Lösungen und die damit verbundenen Probleme mit transferiert.

Einschätzung zum Ressourceneffizienzsteigerungspotenzial:

- Errichtung und Erneuerung von Infrastrukturen: ++ bis +++
- Transfer von Infrastrukturlösungen in andere Länder / Regionen: +++ (hohes Risiko durch den Transfer ineffizienter und ressourcenintensiver Lösungen)

## 5.10 Technologische Ressourceneffizienzpotenziale im Überblick

Tab. 20 fasst die Stellschrauben bzw. Hot Spots der technologischen Ressourceneffizienzpotenziale im Überblick zusammen.

Tab. 20: Einschätzung zum Ressourceneffizienzsteigerungspotenzial technologischer Hot Spots

Ansatzpunkte	Potenzial zur Ressourceneffizienzsteigerung
<b>Rohstoffe: Verfügbarkeit und Auswahl</b>	
Erze	+++ bis + / in ungünstigen Fällen: –
Industrieminerale	0
Fossile Energieträger	+++ bis + / in ungünstigen Fällen: –
Biotische Rohstoffe	je nach Anbauart: +++ bis 0
<b>Werkstoffauswahl, neue Werkstoffe und werkstoffgerechte Konstruktion</b>	
Werkstoffauswahl	+
Neue Werkstoffe	++
Werkstoffgerechte Konstruktion	++
<b>Recycling und langlebige Produkte</b>	
Recycling	+
Hohe Produktlebens- und Nutzungsdauer	0 bis +
<b>Kaskadennutzung</b>	
Kaskadennutzung	0 bis +
<b>Produktion und Fertigung</b>	
Wahl von Produktions- und Fertigungsverfahren	++
Optimierte Kombination unterschiedlicher Werkstoffe	++
<b>Produktgestaltung: Produktdesign und Produkt-Dienstleistungs-Systeme</b>	
Produktgestaltung	+++
Gestaltung von Produkt-Dienstleistungs-Systemen	+++
<b>Querschnittstechnologien</b>	
Informations- und Kommunikationstechnologien	-- bis ++
Weißer Biotechnologie	++
Nanotechnologien	(grobe Schätzung: 0 bis ++)
Traditionelle Querschnittstechnologien	+ bis +++
<b>Forschung und Entwicklung / Forschungstransfer</b>	
Forschungs- und Entwicklungsprozesse	+++
Forschungstransfer	+++
<b>Ressourceneffizienz und Infrastrukturen</b>	
Errichtung und Erneuerung von Infrastrukturen	++ bis +++
Transfer von Infrastrukturlösungen in andere Länder / Regionen	+++ (hohes Risiko durch den Transfer ineffizienter und ressourcenintensiver Lösungen)
Skalierung: +++ = stark positiver Effekt, ++ = positiver Effekt, + = leicht positiver Effekt, 0 = kein Effekt, – = leicht negativer Effekt, -- = negativer Effekt, --- = stark negativer Effekt	

Quelle: Ritthoff / Liedtke / Kaiser, 2007



Alle neun Stellschrauben bzw. Hot Spots sollten strategisch in Politik (vgl. Ressourcenpolitikvorschlag aus AP 3; Download unter [www.ressourcenproduktivitaet.de](http://www.ressourcenproduktivitaet.de)), Forschung und Diffusion (vgl. Konzept der DEMEA / [www.demea.de](http://www.demea.de) oder Effizienzagentur NRW / [www.efa-nrw.de](http://www.efa-nrw.de)) fokussiert werden, da sie ein hohes Potenzial zur Ressourceneffizienzsteigerung versprechen, wenn die jeweils beste verfügbare Ressourceneffizienztechnologie zum Einsatz kommt.

Die Stellschrauben sind eng verzahnt. So sind etwa Forschung & Entwicklung und die Produktgestaltung bei den entlang der Wertschöpfungskette sortierten anderen Stellschrauben immer auch mit zu berücksichtigen, um Synergieeffekte erschließen zu können.

Elementar ist dabei, dass die Entwicklung und Gestaltung von Produkten und Dienstleistungen auf eine lebenszyklusweite systemübergreifende Optimierung der Rohstoffeinsätze, -verarbeitung, -mische sowie Recycling / Kaskadennutzung ausgerichtet ist. Eine Optimierung von Teilsystemen blendet nämlich häufig negative Effekte in anderen Bereichen aus.

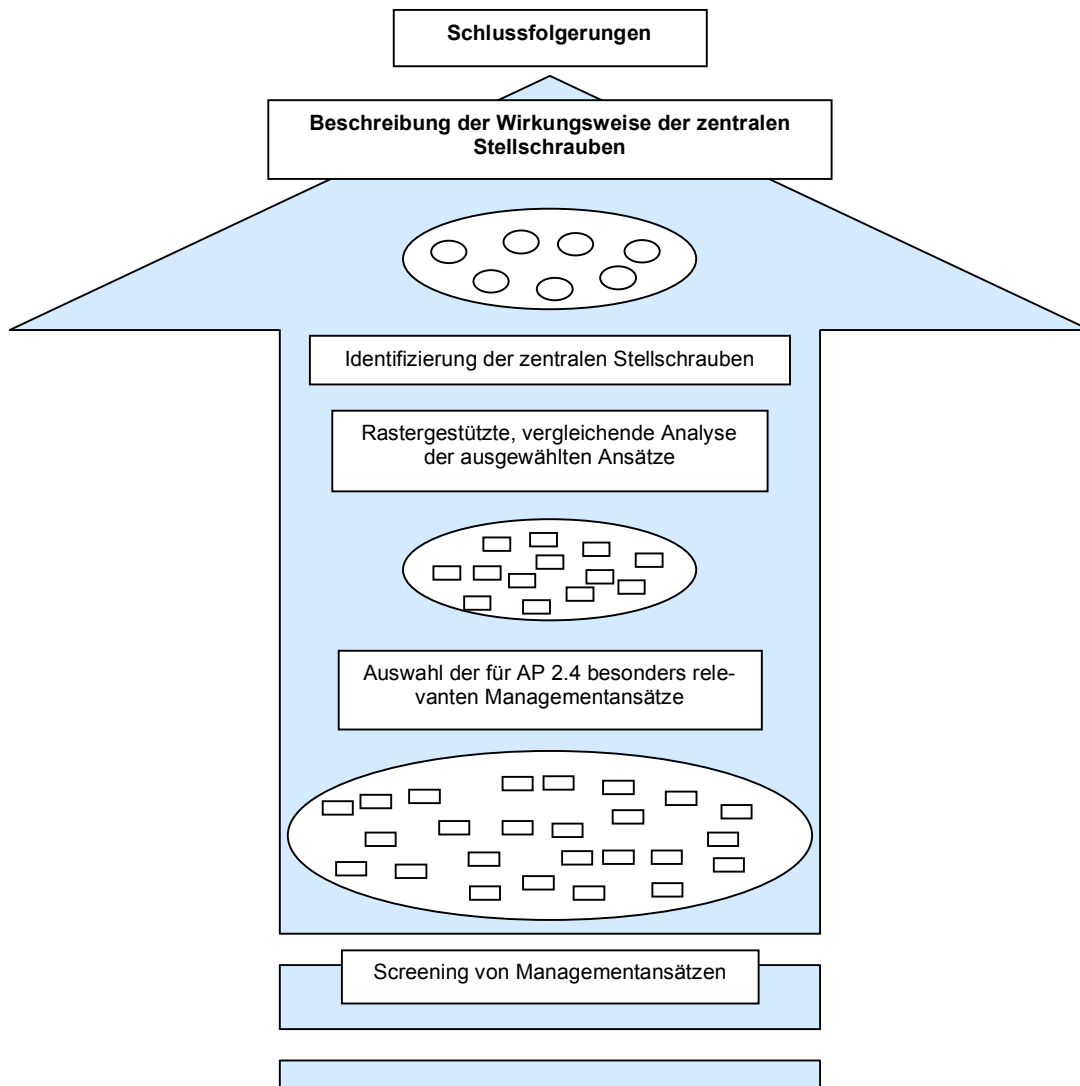
Ein Übergang in eine dematerialisierte Wirtschaft bei ähnlicher Dienstleistungsdichte benötigt auch Übergangstrategien im Bereich langlebiger Infrastrukturen. Hier ist es wichtig, mögliche Entwicklungen einschätzen zu können und diese in die Unternehmens- und Produktstrategie zu implementieren. Das bedeutet auch, dass Investitionen Flexibilität bezüglich ressourceneffizienterer Technologien ermöglichen sollten. Langfristige Festlegungen sind nach Möglichkeit zu vermeiden, da sie die Anpassungsfähigkeit deutlich einschränken.

## **6 Organisatorische und institutionelle Innovationen zur Ressourceneffizienzsteigerung**

Die Identifikation für die Wirkung auf die Ressourceneffizienz wichtiger organisatorischer und institutioneller Stellschrauben führt zu Antworten auf die Kernfrage „Welche zentralen Ansatzpunkte für organisatorische und institutionelle Innovationen finden sich im unternehmerischen Handeln, die die Ressourceneffizienz erfolgreich steigern können?“ (Kristof / Welfens / Türk / Walliczek, 2006; Welfens / Walliczek / Kristof / Türk, 2006).

Um eine Antwort auf diese Kernfrage zu finden, wurde die in Abb. 6 dargestellte Vorgehensweise gewählt. Aus der Vielzahl unterschiedlichster Managementansätze wurden ca. 20 Managementansätze und -instrumente identifiziert, die auf eine nachhaltige und / oder exzellente Unternehmensführung fokussieren. Die ausgewählten Ansätze wurden nach einem einheitlichen Raster gescreent. Auf der Basis der Screeningergebnisse erfolgte die vergleichende Auswertung der 20 Ansätze mit dem Ziel, instrumentenübergreifende, zentrale Ansätze zur Steigerung der Ressourceneffizienz innerhalb von Unternehmen zu identifizieren (Stellschrauben). Sieben Stellschrauben waren das Ergebnis der vergleichenden Analyse.

Abb. 6: Vorgehensweise zur Analyse organisatorischer und institutioneller Innovationen



Quelle: Kristof / Welfens / Türk / Walliczek, 2006

## 6.1 Zentrale organisatorische und institutionelle Ansatzpunkte zur Ressourceneffizienzsteigerung

Viele Instrumente und Konzepte, die für das nachhaltige und Excellence Management entwickelt und genutzt werden, bergen das Potenzial, Ressourceneffizienzsteigerungen innerhalb eines Unternehmens, und zum Teil auch in Wertschöpfungsketten, zu initiieren. Dazu gehören auch Ansätze, die auf den ersten Blick das Thema Ressourceneffizienz nicht zentral adressieren (z.B. Qualitätsmanagement, Nachhaltigkeitsberichterstattung usw.).

Aus den Instrumenten, die zur Steigerung der Ressourceneffizienz in Unternehmen beitragen können, konnten sieben wichtige Stellschrauben, die die sieben wichtigsten Ansatzpunkte pointieren, identifiziert werden:

- **Stellschraube 1 – Handlungsorientierte Status-Quo-Analyse:** Ansätze, die an der Erhebung des Status Quo ansetzen und zugleich für die sich daraus entwickelnden Konsequenzen handlungsleitend wirken, verfolgen die Grundidee, dass die Erkenntnis des Ausgangspunktes und der damit verbundenen Probleme, Nachteile, verschenkten Möglichkeiten etc. zu Änderungswünschen und infolgedessen auch zu Veränderungsaktivitäten führen.
- **Stellschraube 2 – Kontinuierliches datenbasiertes Informationsmanagement:** Die Grundidee besteht darin, Entscheidungsträgern kontinuierlich Informationen über die Umweltauswirkung und Effizienzpotenziale von Organisationen, Prozessen oder Produkten / Dienstleistungen in aufbereiteter Form zur Verfügung zu stellen, um deren Entscheidungsfindung zu verbessern.
- **Stellschraube 3 – Zielausrichtung:** Grundidee ist die freiwillige Verpflichtung von Unternehmen auf bestimmte, i.d.R. über den gesetzlichen Mindeststandards liegenden Zielen. Oftmals verbunden ist damit die Intention, eine Alternative zu den – als zumeist weniger flexibel und als kostenintensiver angesehenen – gesetzlichen Regulierungen zu bieten bzw. diese zu verhindern.
- **Stellschraube 4 – Produkt- / Dienstleistungsbewertung und -entwicklung:** Die Erfassung der aktuellen Umweltwirkung und der daraus abzuleitenden gezielten Verbesserung der Produkte und Dienstleistungen ist die Grundidee. Die Produkt- / Dienstleistungsbewertung und -entwicklung setzt also bei der Kernkompetenz des Unternehmens an.
- **Stellschraube 5 – Qualitätsmanagement:** Ziel ist es, die Qualität der betrieblichen Abläufe, Prozesse sowie der Produkte / Dienstleistungen zu verbessern. Dies kann je nach Ausprägung sowohl Produktion und Produktqualität, als auch Kundenorientierung oder das Qualitätsmanagement selbst betreffen.
- **Stellschraube 6 – Unternehmensübergreifende und interne Lernprozesse:** Die gezielte Nutzung der Potenziale der Mitarbeiter/-innen und der Netzwerke rund um das Unternehmen über die Erschließung der unternehmensübergreifenden und internen Lernpotenziale ist das Ziel.
- **Stellschraube 7 – Nachhaltigkeitsorientierte ganzheitliche Managementsysteme:** Ziel ist, in Unternehmen integrierte Managementsysteme aufzubauen bzw. die bestehenden integrierten Systeme zu optimieren, die im Sinne eines strategischen Nachhaltigkeitsmanagements auf die Verbesserung von Effektivität und Effizienz industrieller Wertschöpfungsketten abzielen – bei der gleichzeitigen Verminderung negativer Auswirkungen der Produktion auf die Umwelt.

## 6.2 Ressourceneffizienzwirkungen der organisatorischen und institutionellen Stellschrauben

Qualitative und teil-quantitative Aussagen zu den Ressourceneffizienzwirkungen sind für die sieben Stellschrauben jeweils möglich und können für die Modellbildung und für Szenarien genutzt werden (z.B. ordinale Ansätze). Tab. 21 fasst die Wirkung der sieben Stellschrauben auf die Ressourceneffizienz kompakt zusammen.

Tab. 21: Einschätzung zum Ressourceneffizienzsteigerungspotenzial der organisatorischen und institutionellen Stellschrauben

Stellschraube	Potenzial zur Ressourceneffizienzsteigerung
Handlungsorientierte Status-Quo-Analyse	Notwendige, aber nicht hinreichende Bedingung, da die Erkenntnis, dass etwas zu tun ist, und der Wunsch, etwas zu tun, nicht automatisch verbunden ist mit der Erkenntnis, was zu tun ist, und dem zur Umsetzung nötigen Know-how
Kontinuierliches datenbasiertes Informationsmanagement	Notwendige, aber nicht hinreichende Bedingung, da die Bereitstellung und Darstellung der Material- und Energieflüsse, Umweltkennzahlen und Umweltauswirkungen sowie die Identifizierung von Verbesserungspotenzialen eine Voraussetzung zur systematischen und kontinuierlichen Verbesserung der Ressourceneffizienz ist
Zielausrichtung	Wirkung hängt davon ab, ob Ressourceneffizienz als Ziel jenseits eines „Business-as-usual“-Szenarios definiert wird und wie effektiv die Zielerreichung ist
Produkt- / Dienstleistungsbewertung und -entwicklung	Wirkung hängt davon ab, ob Ressourceneffizienz als Optimierungsvariable definiert wird und ob lebenszyklusweit optimiert wird; da Design, Produktionsprozess, Nutzung und Recycling / Entsorgung berücksichtigt werden, ist eine hohe Eingriffsbreite und -tiefe möglich, wenn der Absatz am Markt gesichert ist
Qualitätsmanagement	Wirkung hängt davon ab, ob Ressourceneffizienz explizit eine Rolle spielt und ob wertschöpfungskettenübergreifend optimiert wird; die zu realisierenden Effizienzpotenziale werden als gering eingeschätzt, da Ressourceneffizienz im Qualitätsmanagement der meisten Unternehmen nur ein Randthema ist und bleiben wird
Unternehmensübergreifende und interne Lernprozesse	Notwendige, aber nicht hinreichende Bedingung, da ohne Lernprozesse eine systematische und strategische Erschließung und langfristigen Realisierung von Ressourceneffizienz nicht möglich ist
Nachhaltigkeitsorientierte ganzheitliche Managementsysteme	Wirkung kann sehr hoch sein, wenn der Ressourcenverbrauch als strategische Stellgröße – in Unternehmen und Wertschöpfungskette – identifiziert wird und die Integration der Managementsysteme erfolgreich ist

Quelle: Kristof / Welfens / Türk / Walliczek, 2006

Wenngleich die Mehrzahl der untersuchten Ansätze Potenziale zur Steigerung der Ressourceneffizienz bergen, so sind diese in den seltensten Fällen explizit und handlungsleitend. Die Potenziale, die die sieben Stellschrauben bieten, müssen deshalb gezielt erschlossen werden.

Um die Potenziale der sieben Stellschrauben heben zu können, müssen Unternehmenskultur und Strategie darauf ausgerichtet sein, innovative Ansätze zu unterstützen und zuzulassen. Die Mitarbeiter/-innen müssen dazu befähigt und gefördert werden, entsprechende Optionen zu erkennen und zu realisieren.

In Anbetracht der Breite, Ansatzpunkte und Verschiedenheit der gefundenen Stellschrauben und der dahinterliegenden Ansätze kann das existierende Instrumenten-

portfolio grundsätzlich als breit genug erachtet werden, Ansätze zur Steigerung der Ressourceneffizienz in den Betrieben erfolgreich zu implementieren. Eine auf die spezifischen Gegebenheiten des Unternehmens jeweils angepasste Auswahl der Instrumente ist aber notwendig.

## 7 Erkenntnisse aus der Analyse im doppelten Gegenstromprinzip

Abschließend ist die Frage zu stellen, was wir durch die Untersuchung im doppelten Gegenstromprinzip gelernt haben. Betrachtet man die Ergebnisse vergleichend, so ergeben sich folgende zentrale Schlussfolgerungen.

Das erste Gegenstrompaar richtet den Blick der Analyse auf die **Ressourcenverbrauchs-Peaks** auf der Ebene der Gesamtwirtschaft, aber auch der Produkte und ihrer Wertschöpfungsketten. Die Ist-Analyse der Ressourcenverbräuche auf gesamtwirtschaftlicher und sektoraler Ebene erlaubt eine klare Analyse der heutigen Produktionsstrukturen in Deutschland und ihrer Ressourcenrelevanz. Die Ermittlung der Multiplikatoren gibt einen Eindruck darüber, wie stark sich eine Ressourceneffizienzsteigerung in einem Sektor im Gesamtsystemzusammenhang auswirken würde. Die Hot Spot Analysen von Produkten in Wertschöpfungsketten auf der Basis von Life-Cycle-Analysen zeigen sowohl die Ressourcenintensität der einzelnen Lebenszyklusphasen als auch die Gewichtung der Lebenszyklusphasen untereinander. Damit wird es möglich, Hot Spot Profile in Wertschöpfungsketten zu erstellen und erste Hinweise auf Effizienzsteigerungspotenziale zu identifizieren. Um die Ergebnisse sowohl der Multiplikatoranalysen als auch der Hot Spot Profile von Produkten in Wertschöpfungsketten besser für Politik, Wirtschaft und Wissenschaft / Forschung nutzen zu können, ist es **dringend notwendig, die Ressourceneffizienzsteigerungspotenziale differenzierter zu analysieren**. Derzeit kann nur auf einige wenige, noch nicht sehr detaillierte Studien zurückgegriffen werden.

Das zweite, quer zum ersten liegende Gegenstrompaar wendet den Blick der Analyse auf die **möglichen Ansatzpunkte zur Steigerung der Ressourceneffizienz**. Zentrales Ergebnis der übergreifenden Analyse des zweiten Gegenstrompaares „Technologien zur Ressourceneffizienzsteigerung“ und „Organisatorische und institutionelle Innovationen zur Ressourceneffizienzsteigerung“ ist außerdem, dass **technologische und organisatorische bzw. institutionelle Innovationen und deren Diffusion in die Unternehmen und Wertschöpfungsketten nicht voneinander zu trennen sind**. Im Zentrum des Interesses stehen derzeit meist die technologischen Innovationen; die für die Umsetzung relevanten nicht-technischen Innovationen werden meist vernachlässigt. Im Schatten des Interesses steht heute oft auch die Diffusion der Innovationen. Eine integrierte und ausgewogene Sicht auf technologische, organisatorische und institutionelle Innovations- und Diffusionsprozesse in Politik, Wirtschaft und Wissenschaft / Forschung wäre ein wesentlicher Erfolgsfaktor für eine erfolgreiche forcierte Umsetzung der Ressourceneffizienzpotenziale.

Die übergreifende Betrachtung beider Gegenstrompaare ergibt die **Schlussfolgerung, dass auf der Basis des heutigen Wissens auf politischer und Unternehmensebene richtungssicher gehandelt werden kann**.

Eine integrierte Berücksichtigung der beiden Gegenstrompaare verbessert die Ergebnisse enorm. Mehr Wissen zu Verbrauchsstrukturen, Hot Spots und Ressourceneffizienzpotenzialen auf gesamtwirtschaftlicher, sektoraler, Wertschöpfungsketten- und Unternehmensebene und Fortschritte bei technologischen, organisatorischen und institutionellen Innovations- und Diffusionsprozessen sind aber wegen der zusätzlichen Synergieeffekte außerdem unerlässlich.



## 8 Forschungsbedarf

Folgende wichtigen Forschungsbedarfe ergeben sich aus den Hot Spot Analysen auf den vier Ebenen (Acosta, 2007; Wallbaum / Kummer, 2006; Ritthoff / Liedtke / Kaiser, 2007; Kristof / Welfens / Türk / Walliczek, 2006; Welfens / Walliczek / Kristof / Türk, 2006):

### Übergreifende Forschungsbedarfe

- Analyse der **konkreten Potenziale zur Ressourceneffizienzsteigerung**
- Analyse der **Triebkräfte und Rahmenbedingungen** für Veränderungen der Hot Spot Strukturen in Sektoren und Wertschöpfungsketten.
- **Informations-, Qualifizierungs- und Weiterbildungsmaßnahmen** für Entscheidungsträger in Politik, Wirtschaft und Verbänden zu den Hot Spots und der Erschließung der Ressourceneffizienzsteigerungspotenziale.

### Ressourcenverbräuche auf gesamtwirtschaftlicher Ebene

- Forschungen zu den **Ressourcenwirkungen der unterschiedlichen Formen des Konsums und seine Rückkopplung zu den Produktionssektoren**, d.h. der Transformation (im umfassenden Sinne) der Konsumgüter in wieder verwertbare Reststoffen innerhalb der Privaten Haushalte (Haushaltsproduktion) mit dem Ziel, die Haushaltsproduktion im vollen Umfang in ihren direkten und indirekten Auswirkungen im Verflechtungszusammenhang mit der industriellen Produktion berücksichtigen zu können.
- **Analyse der Auswirkung der verschiedenen Import- und Exportprodukte** auf den Ressourcenverbrauch mit dem Ziel, Erkenntnisse über die konkreten Produktionsvorleistungen zu gewinnen, damit den Ressourcenverbrauch in In- und Ausland besser reduzieren und die internationale Wettbewerbsfähigkeit steigern zu können.
- **Aktualisierung der TMR-Datenbasis (physische und monetäre Input-Output-Tabellen)**, um die Untersuchung der TMR-Auswirkungen auf der Grundlage von aktuellen physischen Input-Output-Tabellen durchführen und die unterschiedlichen Entwicklungen der monetären und physischen Verflechtung vergleichend untersuchen zu können.

### Wertschöpfungsketten

- **Weiterentwicklung der Methodik** der Hot Spot Analyse auf Ebene der Wertschöpfungsketten (incl. Validierung des Ergebnisses der überragenden Bedeutung der Rohstoffgewinnungsphase für den lebenszyklusweiten Ressourcenverbrauch und der dann mit gewissem Abstand folgenden Nutzungsphase).

- Durchführung von **Hot Spot Analysen von wichtigen Produkten und Dienstleistungen in den zentralen Bedarfsfeldern** und Entwicklung eines übergreifenden **Screeninginstrument**s für die Ressourcenpolitik.
- Analyse der in den einzelnen Lebenszyklusphasen jeweils involvierten Akteure (**Akteursanalysen**) und deren Zusammenwirken (z.B. Informations- und Kommunikationsflüsse, rechtlich-ökonomische Beziehungen, Machtverhältnisse, internationale Verflechtungen).
- Fundierte Untersuchungen zu den **qualitativen und vor allem quantitativen Ressourceneffizienzsteigerungspotenzialen** durch eine bessere Verzahnung von Wertschöpfungsketten.
- Fundierte Untersuchungen zu den für eine Optimierung der Ressourceneffizienz **notwendigen Informations- und Datensystemen in Wertschöpfungsketten** sowie der Entwicklung von Standort- und Wettbewerbsfaktoren ganzheitlich betrachteter Wertschöpfungsketten incl. deren Integration in die Bewertung.

### Technologien

- Forschungen zu den umsetzbaren **Potenzialen zur Ressourceneffizienzsteigerung** – beginnend mit Leittechnologien und darauf aufsetzenden Leitprodukten und Leitdienstleistungen
- Forschungen zu den Optionen, die **Hemmnisse für Ökologisches Produktdesign und die Entwicklung ressourcenschonender Produkt-Dienstleistungssysteme** abzubauen.
- Forschungen an der **Schnittstelle Werkstoffgerechte Konstruktion ↔ Neue Werkstoffe**.
- Forschungen zu den Potenzialen **werk-, grund- und baustoffübergreifender Optimierung** – technologische und institutionell notwendige Infrastruktur.
- Forschungen zur optimierten **Kombination unterschiedlicher Werkstoffe** und zu den Optionen zum **Abbau der Umsetzungshemmnisse**.
- Forschung zu **Systeminnovationen** für ressourcenintensive Bedarfsfelder und Wertschöpfungsketten.
- Forschung zum **Innovationstransfer**, d.h. zu Pfaden innovative, bereits etablierte Technologieanwendungen für neue Anwendungsfelder zu nutzen (z.B. neueste Blechentwicklungen im Automobilbau auch im Maschinen-, Anlagen- oder Schiffsbau zu nutzen).
- Forschung zur Planung und Umsetzung von **umnutzbaren Produktions- und Konsuminfrastrukturen**.
- Technologische **Schnittstellenanalyse bestehender Infrastrukturmuster zwischen Produktions- und Versorgungs-/Entsorgungsinfrastruktur** (vorhandene Infrastruktur z.B. der Energieversorgung oder Anlagenbau bedingt die Anlage einer

spezifischen Prozessstruktur und umgekehrt) bezüglich Ressourceneffizienzpotenziale und mögliche Umstrukturierungen.

- Forschung zu innovativen **Kaskadennutzungssystemen** (z.B. für biotische Rohstoffe / erneuerbare Energien).
- Forschung zu **nachhaltigen und ressourceneffizienzsteigernden Anwendungen von neuen Querschnittstechnologien und ihren Ressourceneffizienzpotenzialen** (Informations- und Kommunikations-, Weiße Bio- und Nanotechnologien) und über den Energieeffizienzbereich hinausgehende **Potenzialanalysen zu den traditionellen Querschnittstechnologien**.
- Forschung zur Nutzung von die Ressourceneffizienzsteigerung unterstützenden **Innovationsmethoden** (z.B. TRIZ) in Forschung, kleinere und mittlere Unternehmen (KMU) und Netzwerken zum Einsatz ressourceneffizienter Technologien.

### **Organisatorische und institutionelle Innovationen**

- **Forschung zu institutionellen und Managementinnovationen:** Die Wirkungsweise der sieben Stellschrauben auf die Ressourceneffizienzsteigerungen ist im Detail zu untersuchen – mit dem Ziel, die Wirkungsweise besser zu verstehen, Verbesserungspotenziale zu eruieren, Lücken zu erkennen und zu schließen. Zu berücksichtigen sind dabei die unterschiedlichen Zielgruppen in den Unternehmen / Unternehmensnetzwerken sowie die exogenen Faktoren und Akteure (z.B. Politik, Verbände, andere Intermediäre), die hemmend und fördernd wirken können.
- **Diffusionsforschung im Bereich Institutionen und Management:** Zu untersuchen ist
- , wie unter Einbeziehung des betrieblichen Alltags und der in den Betrieben bereits zur Anwendung kommenden Instrumente, die sieben Stellschrauben besser genutzt werden können, damit Ressourceneffizienzsteigerungen konkret implementiert werden können.
- **Forschung zum Wertschöpfungskettenmanagement:** Insbesondere vor dem Hintergrund, dass die betrachteten Instrumente und Konzepte primär innerbetrieblich zur Anwendung kommen, sollte untersucht werden, welche Potenziale sie bei einer Ausweitung auf weitere Teile der Wertschöpfungskette bergen. Wichtige Forschungsfragen könnten sein: Einbindung der Zulieferer (incl. Rohstoffentnahme), Kundenintegration, Rolle der Konsumenten.
- **Qualifizierungsforschung:** Wie die handelnden Akteure innerhalb eines Unternehmens bzw. innerhalb von Unternehmensnetzwerken in die Lage versetzt werden können, die vorhandenen Potenziale zu erkennen und zu realisieren, ist auch eine wesentliche Forschungsfrage. Die Rolle von Qualifizierungsmaßnahmen ist zu untersuchen und deren Konzeptionierung anzustoßen.

## 9 Literatur

- Acosta-Fernández, José (2007): Identifikation prioritärer Handlungsfelder für die Erhöhung der gesamtwirtschaftlichen Ressourcenproduktivität in Deutschland; Projektergebnisse im Rahmen des Projekts „Steigerung der Ressourcenproduktivität als Kernstrategie einer nachhaltigen Entwicklung“. Wuppertal: Wuppertal Inst. für Klima, Umwelt, Energie. [www.ressourcenproduktivitaet.de](http://www.ressourcenproduktivitaet.de)
- Autio, Sakari / Lettermeier, Michael (Hg.) (2002): „Ekotehokkuus“ business as future; Dipoli-reports, Espoo (ISSN 1458-4867)
- Kristof, K. / Türk, V. / Welfens, J. / Walliczek, K. (2006): Ressourceneffizienzsteigerungen durch organisatorische und institutionelle Innovationen; Projektergebnisse im Rahmen des Projekts „Steigerung der Ressourcenproduktivität als Kernstrategie einer nachhaltigen Entwicklung“. Wuppertal: Wuppertal Inst. für Klima, Umwelt, Energie. [www.ressourcenproduktivitaet.de](http://www.ressourcenproduktivitaet.de)
- Ritthoff, M. / Liedtke, C. / Kaiser, C. (2007): Technologien zur Ressourceneffizienzsteigerung: Hot Spots und Ansatzpunkte; Projektergebnisse im Rahmen des Projekts „Steigerung der Ressourcenproduktivität als Kernstrategie einer nachhaltigen Entwicklung“. Wuppertal: Wuppertal Inst. für Klima, Umwelt, Energie. [www.ressourcenproduktivitaet.de](http://www.ressourcenproduktivitaet.de)
- Schmidt-Bleek, Friedrich (2007): Nutzen wir die Erde richtig? Die Leistungen der Natur und die Arbeit des Menschen; Frankfurt / M.: Fischer Taschenbuch Verlag
- Schütz, H. / Ritthoff, M. (2006): Informationssysteme zur Erhöhung der Ressourcenproduktivität. Ansätze auf Mikro-, Meso- und Makro-Ebene; Projektergebnisse im Rahmen des Projekts „Steigerung der Ressourcenproduktivität als Kernstrategie einer nachhaltigen Entwicklung“. Wuppertal: Wuppertal Inst. für Klima, Umwelt, Energie. [www.ressourcenproduktivitaet.de](http://www.ressourcenproduktivitaet.de)
- Thomas, Stefan / Barthel, Claus / Bunse, Meike / Irrek, Wolfgang u.a. (2006): Optionen und Potenziale für Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen; Kurzfassung des Endberichts; Wuppertal, Wuppertal Institut im Auftrag der E.ON AG
- Wallbaum, H. / Kummer, N. (2006): Entwicklung einer Hot Spot-Analyse zur Identifizierung der Ressourcenintensitäten in Produktketten und ihre exemplarische Anwendung; Projektergebnisse im Rahmen des Projekts „Steigerung der Ressourcenproduktivität als Kernstrategie einer nachhaltigen Entwicklung“. Wuppertal: triple innova/Wuppertal Inst. für Klima, Umwelt, Energie. [www.ressourcenproduktivitaet.de](http://www.ressourcenproduktivitaet.de)
- Welfens, Jolanta / Walliczek, Katharina / Kristof, Kora / Türk, Volker (2006): Ressourceneffizienzsteigerungen durch organisatorische und institutionelle Innovationen – Anhang; Projektergebnisse im Rahmen des Projekts „Steigerung der Ressourcenproduktivität als Kernstrategie einer nachhaltigen Entwicklung“. Wuppertal: Wuppertal Inst. für Klima, Umwelt, Energie. [www.ressourcenproduktivitaet.de](http://www.ressourcenproduktivitaet.de)