

4.3.8 Energieeffizienzpotenziale durch verstärkte Kreislaufwirtschaft sowie bessere Material- und intensivere Produktnutzung

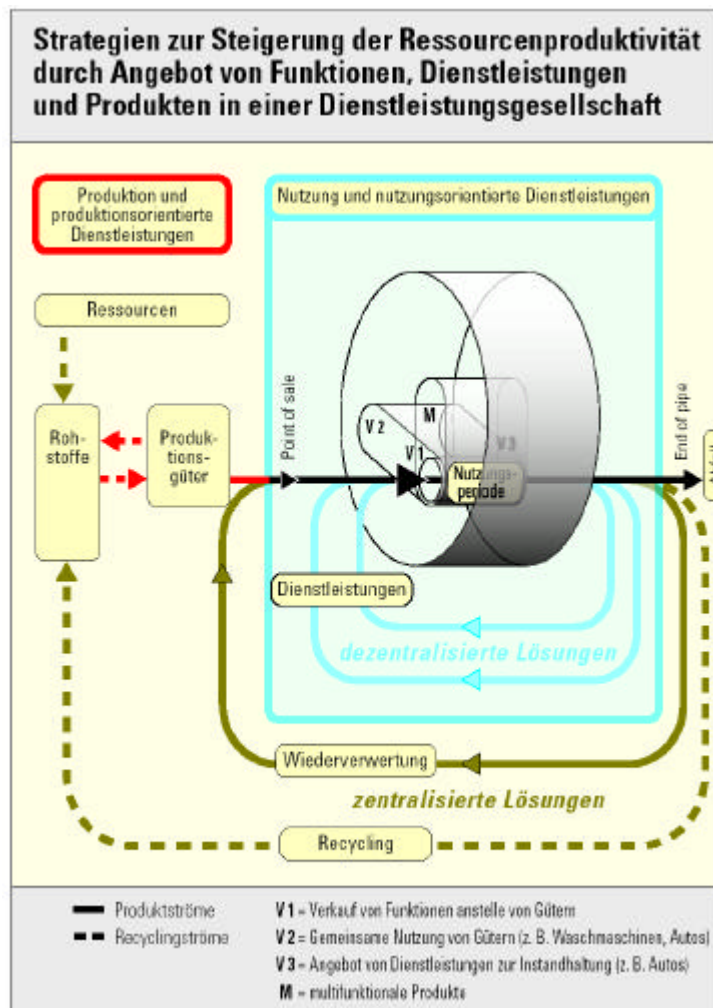
(1164) Die Nutzung von Investitions- und Gebrauchsgütern ist der Ausgangspunkt von Nachfrage nach mehr oder weniger energieintensiv hergestellten und weiterverarbeiteten Werkstoffen, die diesen Investitions- und Gebrauchsgütern ihre erwünschten Eigenschaften und Nutzungsmöglichkeiten eröffnen. Welches Material und welche Materialmenge hierzu eingesetzt wird, ist dem Nutzer häufig nicht bewusst bzw. nicht bekannt, schon gar nicht die bei ihrer Herstellung indirekt benötigten Energiemengen. Zählt man den während der Produktlebensdauer benötigten Energiebedarf, z.B. eines Elektromotors oder eines Gebäudes hinzu, könnte man die insgesamt benötigten Energiemengen zur Herstellung des Produktes und während seiner Nutzungszeit (eventuell einschließlich seiner Entsorgung) addieren und optimieren. Derartige **produktspezifische Energieverbräuche "von der Wiege bis zum Grabe"** eines Produktes liegen allerdings heute nur für wenige langfristige Gebrauchsgüter oder einige Verpackungsgüter vor. Selbst wenn diese Daten für viele Produkte vorlägen, müssten sie doch sektoral aufgeteilt werden, um sie der Struktur energiewirtschaftlicher Analysen anzupassen und Strategien nachhaltiger Materialnutzung unter Energieaspekten analysieren zu können. Es bleibt deshalb zu einer Potenzialanalyse nur die sektoral ausgerichtete Analyse der energetischen Wirkungen verbesserter Materialeffizienz.

(1165) In den vergangenen 20 bis 30 Jahren konzentrierte sich die Energienachfrage- und Technologiepolitik auf bessere Umwandlungswirkungsgrade von Energiewandlern (z.B. von Kesselanlagen, Dampf- und Gasturbinen, Brennern, Elektro- und Verbrennungsmotoren, Brennstoffzellen oder thermischen Solarsystemen), auf die Reduktion von Wärmeverlusten in Gebäuden, von energieintensiven Prozessen und Querschnittstechnologien (wie z.B. Trockner, Zerkleinern, Öfen, Kälte) in Industrie und sonstigem Gewerbe. In diesen Energieanwendungsbereichen wurden erhebliche Energieeffizienzverbesserungen erzielt, so dass sich bei einzelnen Komponenten und Prozess-Stufen der spezifische Energiebedarf energieintensiver Werkstoffe heute teilweise bis auf 10-20 % dem theoretischen Mindestbedarf genähert hat.

(1166) Das **Konzept der Nachhaltigen Entwicklung** und die Notwendigkeit, in allen Energieverbrauchssektoren die CO₂- und andere Treibhausgas-Emissionen langfristig trotz wirtschaftlichen Wachstums erheblich zu reduzieren, rücken nun auch den Materialaspekt und die Frage der weiteren Schließung von Stoffströmen energieintensiver Produkte und Werk-

stoffe sowie **eine höhere Materialeffizienz und intelligente Materialsubstitutionen** in das Blickfeld energiewirtschaftlicher Analysen (Abbildung 4–63).

Abbildung 4–63: Strategien zur Steigerung der Ressourcenproduktivität durch Angebot von Funktionen, Dienstleistungen und Produkten in einer Dienstleistungsgesellschaft



(1167) Denn eine Tonne Stahl- oder Aluminium als Energiedienstleistungsnachfrage unterscheidet sich als **Primär- oder Sekundärmaterialnachfrage infolge eines verstärkten Recyclings** hinsichtlich der Energienachfrage und der Emissionen wesentlich (was leider in den Nachhaltigkeitsszenarien dieses Berichtes nicht berücksichtigt wurde); in Analogie zum aktuellen Verständnis der Energiedienstleistung wurde auch das Konzept der **Materialdienstleistung** entwickelt, welches deutlich macht, dass eine gewünschte Produktfunktion

oft auch mit **spezifisch geringerem Materialeinsatz** geleistet werden könnte.¹ So sind beispielsweise die Stahlbleche heutiger Pkw oder die Glaswandungen heutiger Hohlglasbehälter deutlich dünner als vor 30 Jahren; sie leisten aber die gleichen Funktionen aufgrund verbesserter Materialeigenschaften und verbesserter Konstruktionen (siehe unten).

(1168) Neben den beiden Aspekten der physischen Effizienz – verstärkte Kreislaufführung und verbesserte Materialdienstleistung – kann in vielen Fällen auch die Nutzungseffizienz der Produkte noch verbessert werden, insbesondere durch **Nutzungsintensivierung**, wie sie im Bereich der kurzzeitigen Vermietung von Baugeräten, Reinigungsgeräten oder Güterstraßenfahrzeugen, des aufkommenden Car-Sharings oder der Lohndienstleistungen bei Erntemaschinen bereits beobachtet werden kann. Die Nutzungsintensivierung durch derartige Dienstleistungskonzepte reduziert den ungenutzten Materialkapitalstock einer Volkswirtschaft und damit den entsprechenden Material- und Energiebedarf sowie die zugehörigen Treibhausgasemissionen.²

(1169) Schließlich ist es möglich, durch Werkstoffsubstitution zu weniger energieintensiven Werkstoffen (einschließlich biogener Werkstoffe) und über Lebensdauerverlängerung von Produkten oder kaskadenförmige Nutzung von Produkten, selbst von Verpackungen, den spezifischen Materialbedarf für eine bestimmte Funktion zu reduzieren.³

(1170) Wie diese Gestaltungs- und Wahlmöglichkeiten bei der Erzeugung von energieintensiven Materialien und der Nutzung von Produkten zeigen, sind die Auswirkungen auf einen verminderten Energiebedarf und entsprechende Treibhausgasemissionen unmittelbar einleuchtend. Allerdings gibt es derzeit noch sehr wenige systematische Analysen, die in quantitativen Zahlen über die verbesserte Energieeffizienz – sei es als bereits realisierte Energieeinsparung oder sei es als Energieeinsparpotenzial – dieser fünf o.g. Möglichkeiten berichten. Insofern ist dieses Kapitel ein erster Versuch, das vorhandene energierelevante Wissen zum Thema der Materialeffizienz zusammenzustellen.

¹ Schmidt-Bleek (1994).

² Fleig (2000).

³ Schmidt-Bleek, Tischner (1995).

4.3.8.1 Ausgangslage und bereits erreichte Energieeffizienzgewinne durch Werkstoffkreisläufe sowie Materialeffizienz und -substitution

(1171) Eine genauere Betrachtung der fünf technischen bzw. organisatorischen Optionen Recycling, Materialeffizienz, Werkstoffsubstitution, Nutzungsintensivierung und Lebensdauererweiterung eröffnet eine Fülle von Möglichkeiten, mit denen der spezifische *Energiebedarf je Dienstleistung, welche die Werkstoffe bzw. die Güter für ihren Nutzer erbringen*, reduziert werden könnte. Wenngleich zu diesen Optionen nur wenige quantitative Ergebnisse zu ihrer energiewirtschaftlichen Bedeutung vorliegen, sollen zunächst anhand vorhandener Daten für einige Werkstoffbeispiele diejenigen Energieeinsparungen ausgewiesen werden, die seit den 70er-Jahren durch die o.g. Verbesserungen der Materialnutzung erzielt wurden.

Tabelle 4-99: Heutiger Primärenergiebedarf für ausgewählte energieintensive Massenwerkstoffe, Deutschland um 2000

Werkstoffart	Produktionsmenge 1997	Primärnergie- äquivalente	spezifische PEV- Äquiv.
	Mio. t	1997 in PJ ¹⁾	GJ/t
Rohstahl	Rohstahl: 45,00	ca.510,00 ⁶⁾	11,3
	Eisenguss: 1,40		
Aluminium	Primär: 0,361	ca.59,00	163
	Sekundär: 0,373	ca. 6,00	16,1
Kunststoffe	11,22	ca.810,00 ⁷⁾	ca. 72
Zement	33,40	ca.120,00	3,6
Mauer- und Dachziegel	19,90	ca.40,00	2,0
Bitumen, Asphalt	3,47	ca.150,00 ⁸⁾	43,2
Glas	7,20	ca.100,00	13,9
Papier und Pappe	15,50 ³⁾	ca.250,00	16,1
Kupfer ²⁾	0,544	ca.8,00	17,7
Blei in Rohform ⁴⁾	0,199	ca.2,00	10,0

¹⁾ Strom primärenergetisch bewertet
²⁾ Primär- und Sekundär - Kupfer.
³⁾ Papierverbrauch 1996 (Rücklaufquote);
⁴⁾ Primärmaterial
⁵⁾ inkl. Eigenstrom aus Wasserkraft
⁶⁾ inkl. Roheisenerzeugung und inländische Sinterprodukte
⁷⁾ inkl. Vorprodukte (Prozesskette) und stofflich gebundener Energie
⁸⁾ inkl. stofflich gebundener Energie

Quellen: Statistisches Bundesamt, Umweltbundesamt (1999), Wirtschaftsvereinigung Stahl, Bundesamt für Wirtschaft, Patel u.a. (1999), World Bureau of Metal Statistics (2000), Recycling Magazin 8/2000; IKARUS-Datenbank

(1172) Eine für die zehn energieintensivsten Werkstoffe durchgeführte Abschätzung zum **aktuellen Energiebedarf**, die auch einen hohen absoluten Energiebedarf bei ihrer Herstellung verursachen, ergibt für Deutschland (auf der Basis der Produktion von 1997), dass für ihre Herstellung insgesamt etwa 2055 PJ Primäräquivalente oder rund 14,5 % des deutschen Primärenergiebedarfs benötigt werden, der für 2000 von der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen mit 14 180 PJ angegeben wird (vgl. Tabelle 4–99). Dabei ist allerdings der Aufwand des Sammelns, Sortierens und der Aufbereitung noch nicht enthalten, andererseits aber die stofflich gebundene Energie (bei Kunststoffen und Bitumen).

(1173) Je nach Produktionsmengen und spezifischem Energiebedarf, der zwischen 2 und 160 GJ/t liegt, benötigen die aufgeführten Werkstoffe eine um zwei Größenordnungen unterschiedliche Energiemenge. Beispielsweise liegt dieser Wert bei Kunststoffen (inkl. Vorprodukte und stofflicher Energie) bei über 800 PJ, bei Blei in Rohform (primär) aber lediglich bei etwa 2 PJ. Neben Kunststoffen weisen vor allem die Herstellung von Rohstahl (inkl. Roheisenerzeugung und inländischen Sinterprodukten) sowie von Papier hohe Energiebedarfswerte auf. Diese Reihenfolge wird ergänzt durch die energieintensiven Massenbauwerkstoffe Bitumen/Asphalt und Zement.

4.3.8.1.1 Verstärktes Recycling energieintensiver Massenwerkstoffe

(1174) **Sekundärrohstoffe** haben häufig – inklusive der Recycling- und Transportaufwendungen – einen geringeren spezifischen Energiebedarf als die gleichen aus Primärrohstoffen hergestellten Werkstoffe. Bei seit vielen Jahrzehnten genutzten Werkstoffen hat der Sekundärrohstoffzyklus bereits heute relativ hohe Einsatzquoten erreicht (z.B. Deutschland: Rohstahl: 42 %, Papier: 60 %, Behälterglas: 81 %). Dagegen werden bei jüngeren Werkstoffen relativ geringe Raten genannt (z.B. Kunststoffe: 16 %; vgl. Tabelle 4–100). Hinzukommt, dass viele Anlagen zum Trennen und Sortieren von energieintensiven Werkstoffen, insbesondere von post-consumer-Abfällen, infolge der jungen Technik und relativ kleiner Anlagen energietechnisch bzw. technisch (und kostenseitig) noch nicht optimiert sind.

(1175) Für den Zeitraum von 1975 bis 1995 ergaben Berechnungen für Deutschland, dass der Endenergiebedarf ohne Recycling-Maßnahmen bei ausgewählten Werkstoffen im Jahre 1995 um etwa 235 PJ höher gewesen wäre. Gemessen am gesamten aktuellen Endenergieverbrauch der deutschen Industrie ergäbe sich im Falle des „Null-Recycling“ somit ein um etwa 10 % höherer Wert. Für Westeuropa (EU und Norwegen) liegt der berechnete Wert bei fast 1 060 PJ. Dabei fallen die relativ hohen Werte für Italien und Spanien auf (Eisen/Stahl;

vgl. Tabelle 4–101). Etwas geringer war die Bedeutung des Recycling für den Energieverbrauch in Frankreich und Großbritannien. Im Folgenden seien einige Beispiele des verstärkten Recyclings genannt:

- Das *Altpapierrecycling* wird heute bereits in großem Maßstab betrieben. Inzwischen stellt Altpapier bereits den mengenmäßig bedeutsamsten Rohstoff für die Papierproduktion dar. Die Altpapiereinsatzquote, das Verhältnis von Altpapiereinsatz zur Papierproduktion, liegt heute bei rund 60 %, ¹ variiert aber je nach Papiersorte. Während Zeitungsdruckpapier und Verpackungspapiere fast ausschließlich auf der Basis von Altpapier hergestellt werden, liegt die Quote für die übrigen graphischen Papiersorten derzeit bei 18 %. Der verstärkte Einsatz von Altpapier hat in der Vergangenheit in merklichem Umfang zur Einsparung von Energie beigetragen, z.B. zwischen 1970 und 1998 um über 22 PJ oder 10 % der Branche.

¹ VdP (2001).

Tabelle 4–100: Einsatzquoten von Sekundärmaterialien bei der Produktion heutiger, energieintensiver Massenwerkstoffe in Deutschland

	1974	1980	1990	1995	1997	1999/2000
Energieintensive Konstruktionswerkstoffe						
Rohstahl ¹⁾	28	k.A.	32 ⁶⁾	38	40	42
Aluminium ²⁾	32	36	43 ⁶⁾	42	43	43 ⁴⁾
Kunststoffe ¹²⁾	ca.0	ca.0	ca.1	13	16	20 ⁴⁾¹¹⁾
Energieintensive Massenwerkstoffe						
Zement, Ziegel, Beton ¹⁰⁾	ca.0	ca.0	ca.0	< 10	< 10	< 10
Bitumen als Ausbauasphalt ¹³⁾	ca.0	< 20	50	80	80	80
Sonstige energie-intensive Werkstoffe für Verbrauchs- und Investitionsgüter						
Glas ³⁾	6	20	45	75	79	81 ⁴⁾
Papier und Pappe ⁵⁾	44	42	49 ⁷⁾	58	59	60
Kupfer ⁸⁾				> 50	> 50	> 50
Blei ⁹⁾	44	45	54 ⁶⁾	52	50	55 ⁴⁾
¹⁾ Anteil der Rohstahlerzeugung auf Basis von Stahlschrott ²⁾ Anteil Sekundäraluminium an gesamter Produktion (Output) ³⁾ Verwertungsquote Behälterglas ⁴⁾ 1999 ⁵⁾ Einsatzquote (Altpapierverbrauch in Prozent an der Papier- und Pappeerzeugung; abzüglich AP-Verbrauch für DIP-Stoff-Export) ⁶⁾ alte Bundesländer ⁷⁾ gesamte Bundesrepublik ⁸⁾ Verhältnis der Menge/a an Sekundärkupfer zur gesamten Produktion ⁹⁾ Anteil Sekundärblei an Erzeugung von raff. Blei, ¹⁰⁾ Kiessubstitution, erste Erfahrungen im Hochbau beim Verwaltungsgebäude der DBU 1994 ¹¹⁾ Bezogen auf den Inlandsverbrauch ¹²⁾ Erste große BMBF-Anlage erst ca. 1990; daneben stets Recycling bei Erzeugern und Verarbeitern ¹³⁾ Erste Wiederverwendung auf Teststrecken 1975 (B6 und A5) durch „Repave-Verfahren“						

Quellen: Wirtschaftsvereinigung Stahl, World Bureau of Metal Statistics (2000), Statistisches Bundesamt, BV Glas, Verband Deutscher Papierfabriken, Umweltbundesamt, VDI nachrichten vom 17.11.2000 (Kupfer), Verband Kunststoffherstellende Industrie, Patel u.a., 1999

Tabelle 4–101: Die Bedeutung des Recycling energieintensiver Massenwerkstoffe für den Energieverbrauch der EU

Recycling effect 3 (PJ): Recycling as a structural change + part of activity effect ("each tonne of recycled material compared to zero recycling contributes to recycling") between recycling process(es) and primary process(es), or as intensity effect in the case of additives (glass, cement) (1995/ zero recycling; final energy)										
	1975/1995	1975/1995	1975/1995	1975/1995	1975/1995	1975/1995	1975/1995	1975/1995	1975/1995	1975/1995
	PJ	PJ	PJ	PJ	PJ	PJ	PJ	PJ	PJ	PJ
	Iron/steel	Aluminium	Copper	Zinc	Lead	Paper/ Board	Glass	Cement additives		Total
A	- 5,01	- 2,75	- 2,69	- 0,03	- 0,15	- 9,37	- 0,54	- 2,17		- 22,72
B	- 18,04	0,00	- 11,02	- 0,51	- 0,24	- 2,03	- 0,59	- 4,72		- 37,16
DK	- 7,02	- 0,74	0,00	0,00	0,00	- 2,50	- 0,32	- 1,18		- 11,77
FIN	- 7,77	- 1,78	- 0,15	0,00	0,00	- 3,46	- 0,09	- 0,52		- 13,68
F	- 70,23	- 13,51	- 2,94	- 0,33	- 1,55	- 27,06	- 3,63	- 11,89		- 131,15
D	- 108,92	- 22,29	- 18,73	- 0,93	- 1,36	- 55,89	- 7,70	- 19,13		- 234,95
GR	- 10,08	- 0,48	0,00	0,00	0,00	- 1,90	- 0,10	- 8,32		- 20,88
IRL	- 3,33	0,00	0,00	0,00	0,00	- 0,29	- 0,11	- 0,99		- 4,73
I	- 172,18	- 21,92	- 4,98	- 0,12	- 0,88	- 22,00	- 2,36	- 19,54		- 243,98
L	- 12,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	- 0,68		- 13,60
NL	- 2,81	- 10,21	0,00	0,00	- 0,19	- 13,77	- 1,00	- 1,83		- 29,82
NOR	- 5,40	- 3,83	0,00	0,00	0,00	- 1,60	- 0,11	- 1,05		- 11,98
P	- 4,12	- 0,16	0,00	0,00	0,00	- 1,95	- 0,32	- 4,67		- 11,22
E	- 92,82	- 5,69	- 1,73	- 0,25	- 0,53	- 17,48	- 1,21	- 16,37		- 136,07
S	- 19,51	- 1,22	- 1,22	- 0,01	- 0,48	- 9,28	- 0,32	- 1,46		- 33,50
UK	- 48,72	- 12,22	- 2,18	- 0,10	- 1,58	- 25,98	- 1,38	- 6,78		- 98,94
Total	- 588,9	- 96,81	- 45,64	- 2,27	- 6,96	- 194,48	- 19,79	- 101,28		- 1056,13

Anmerkung: eine negative Zahl bedeutet die Einsparung von Energie

Quelle: Berechnungen des FhG-ISIverbundene Energiebedarf zur Sammlung und Sortierung des Altpapiers hat relativ zur eingesparten Energiemenge nur eine geringe Bedeutung.¹

- Das *Aluminiumrecycling* setzte, trotz des jungen Alters des Werkstoffs Aluminium, wegen seines relativ hohen ökonomischen Wertes bereits sehr früh ein. Aus diesem Grund ist der Außenhandel mit Aluminiumschrotten auch relativ hoch. Nachdem, gemessen an der Gesamtproduktion von Aluminium in der Bundesrepublik, der Anteil von Sekundäraluminium zwischen 1970 und 2001 zunächst wegen der dann einsetzenden Primärproduktion von 45 % (1970) auf unter 30 % (1975) sank, stieg er in der Folge wieder auf knapp 50 % (2001) an. Ohne das Aluminium-Recycling wären im Jahre 2001 in Deutschland zusätzlich 33 PJ benötigt worden.
- Bei *Bitumen* wurden 1995 12 Mio. t Ausbauasphalt im Heißmischgut wiederverwendet: Damit wurde gegenüber der Deponierung als Referenzfall etwa 28,7 PJ Primärenergie eingespart. Die Verwendung von weiteren 3 Mio. t im Straßenunterbau führte zu weiteren Einsparungen von 0,5 PJ; die Gesamteinsparungen liegen derzeit bei 29 PJ gegenüber der Deponierung von Abfallbitumen. Die Anwendung des neuen Verfahrens zur Erneue-

¹ Giegrich, Detzel (1998).

zung einer Straßendecke über Kaltrecycling mit Schaumbitumen vor Ort spart ca. 1,7 GJ/t wiederverwendeten Asphalt ein; die auf diese Weise rezyklierten Mengen sind heute noch gering.

- Durch *Kunststoffrecycling* von ca. 1,5 Mio. t konnten 1995 in Deutschland 14,2 PJ Primärenergie eingespart werden. Vor allem das werkstoffliche Recycling spart Energie ein, wenn das Recyclat die Primärkunststoffe ersetzt und die damit verbundenen Vorketten eingespart werden.¹

4.3.8.1.2 Substitutionen zwischen den Werkstoffen mit unterschiedlichem spezifischen Energiebedarf

(1176) Häufig besteht ein ***Substitutionspotenzial zwischen verschiedenen Werkstoffen***. Da der spezifische Energiebedarf der verschiedenen Werkstoffe sehr unterschiedlich sein kann – insbesondere unter Berücksichtigung der Verwendung natürlicher Werk- oder Rohstoffe – eröffnen sich theoretisch erhebliche Energieeinsparpotenziale durch eine Werkstoffsubstitution. Entscheidungen über die Werkstoffwahl und damit über Substitutionsprozesse erfolgen allerdings in erster Linie unter Kostenaspekten, Gesichtspunkten der Werkstoff- und Nutzungseigenschaften sowie Aspekten des Images und bestehender Modetrends. Eine Nachhaltigkeitspolitik müsste diejenigen Substitutionswege bewusst machen und erleichtern, die unter energietechnischen und -wirtschaftlichen sowie Emissions-Gesichtspunkten einen möglichst geringen Gesamtenergiebedarf und geringe Gesamtemissionen aufweisen. Hierzu zählen auch biogene und biotechnologisch herstellbare Werkstoffe und Produkte (z.B. Holz, Flachs, Stärke, natürliche Fette und Öle). Zuweilen geht es auch um eine weitergehende Substitution wie z.B. der Printmedien durch elektronische Medien (s.u.).

- Bekanntes Beispiel ist die Tendenz des Automobilbaus, aus Gründen der Gewichtseinsparung den Anteil an Kunststoffen in den Fahrzeugen zu erhöhen. Während der Anteil an Kunststoffen im Pkw 1974 noch 6 % betrug, erhöhte er sich auf 13 % im Jahr 1995.² Die Herstellung von Bauteilen aus Kunststoffen benötigt – inklusive der im Werkstoff gebundenen Energie – einen höheren Primärenergieeinsatz als die von Bauteilen aus Alternativmaterialien wie z.B. Stahl, Aluminium oder Glas. Während der Nutzungsphase des Pkw wird aber durch das geringere Gewicht der Kunststoffbauteile Treibstoff einge-

¹ Patel u.a. (1999).

² VKE (2000).

spart, so dass der zur Herstellung benötigte höhere Primärenergiebedarf im günstigsten Fall nach etwa 60 000 km kompensiert wird. Damit sparen Kunststoffe während der angenommenen Betriebszeit eines durchschnittlichen Mittelklassefahrzeugs von 10 Jahren bei einem angenommenen mittleren Kraftstoffverbrauch von 9l/100 km und einer Fahrstrecke von 100 000 km bis 200 000 km mehr Energie ein, als für ihre Herstellung notwendig ist.¹ In einer Hochrechnung wird die jährliche Einsparung des Fahrzeugbestandes in Deutschland mit ca. 17 PJ beziffert, bis 2005 sollen 25 PJ erreicht sein.²

- Der Aluminiumanteil im Pkw hat sich in Deutschland von etwa 55 kg/Pkw auf 110 kg im Jahr 1998 verdoppelt. In der Zukunft wird bis 2005 mit einem Anstieg auf 130 kg, bis 2015 auf 200 kg und danach möglicherweise bis auf 300 kg gerechnet. Hier gilt ähnliches wie für die Kunststoffe: Der Primärenergieeinsatz für Aluminium ist höher als für Stahl. Ab welcher Fahrleistung sich der Einsatz des Aluminiums lohnt, hängt von einer Reihe von Faktoren ab. Für 100 kg Gewichtsverringering beim heutigen Pkw, geht der Treibstoffverbrauch um etwa 0,6 l/100 km zurück.

(1177) Recycling wird auch durch unternehmerische Innovationen unterstützt wie z.B. das Contracting von Teppichen durch Teppichhersteller, die ihre Produktion voll auf das Materialrecycling abstellen können.

4.3.8.1.3 Verminderung des spezifischen Werkstoffbedarfs je Werkstoffdienstleistung

(1178) Mehr Werkstoffeffizienz bedeutet auch, den **spezifischen Werkstoffbedarf** je Werkstoffdienstleistung durch Veränderung von Eigenschaften des Werkstoffes und konstruktive Änderungen des jeweils betrachteten Produktes zu vermindern, z.B. durch geringeren Materialeinsatz im jeweiligen Endprodukt (z.B. Schäumen von Aluminium bzw. Kunststoffen, Zusätze bei Ziegelprodukten, der Zementherstellung oder bei Beton). Dabei bleiben die Funktionen erhalten, die der Werkstoff jeweils zu leisten hat.

- Die Wanddicke der *Weißblech*-Konservendosen ist seit Anfang der 50er-Jahre von 0,28 mm auf heute 0,12 mm verringert worden. Wog die 0,33 l Getränkedose 1950 noch 83 g, so beträgt ihr Gewicht heute noch 32 g. Auch bei der Einsparung des Zinns der Weißblechdosen reduzierte sich der Zinnbedarf von 6g Sn/m² Weißblech auf heute

¹ VKE (2000).

² Heyde, Nürrenbach (1999).

2 g Sn/m². Bei der heutigen Produktion von Weißblechdosen entspricht dies einer Energieeinsparung gegenüber 1970 von 3 PJ.

- Ein erheblicher Materialeffizienzgewinn war z.B. beim *Hohlglas* in den letzten 40 Jahren zu verzeichnen, wo sich das spezifische Gewicht von Hohlglas-Produkten um durchschnittlich 44 % verminderte (z.B. reduzierte sich das Gewicht seit 1970 bei der 0,3 Liter-Bierflasche von 360 g auf 125 g oder bei der Mineralwasserflasche von 570 g auf 295 g. Die wesentliche Gewichtsreduktion wurde in den letzten 15 Jahren aufgrund neuer Technologien wie z.B. die Beschichtungstechnik (Leichtglas) erzielt. Unterstellt man eine durchschnittliche Gewichtsreduktion von 30 % in den letzten 30 Jahren, so errechnet sich daraus ein verminderter Energiebedarf von rund 15 PJ.
- Bei **Papier** wurden im Lauf der Zeit die spezifischen Flächengewichte kontinuierlich gesenkt. Das Flächengewicht von Zeitungsdruckpapier betrug Ende der 60er-Jahre rund 52 g/m².¹ Die Entwicklung zu dem heute durchschnittlichen Flächengewicht von 45 g/m²² entspricht einer Reduktion des Papierverbrauchs um gut 13 %. Eine ähnliche Entwicklung ist auch bei anderen Papiersorten, die z.B. zur Herstellung von Zeitschriften oder Katalogen verwendet werden, festzustellen. Die Hauptmotivation für diese Effizienzgewinne war die Einsparung von Kosten für Papier sowie Transport- und Portokosten für den Vertrieb von Papierprodukten (Zeitungen, Kataloge). Unterstellt man für die graphischen Papiere insgesamt eine Reduktion des Flächengewichts um 13 % in den letzten 30 Jahren, so bedeutet diese Entwicklung eine Energieeinsparung um 15 PJ (ca. 7% des Endenergiebedarfs der Papierindustrie).³
- Nach Angaben der Aluminiumverpackungsindustrie wurde der spezifische Materialeinsatz bei Al-Verpackungen in den letzten 15-20 Jahren im Durchschnitt um etwa 33 bis 40 % reduziert. Legt man einen Verbrauch von 104 500 t (inländischer Verbrauch für Verpackung 1998⁴) zugrunde, entspricht dies einer Einsparung an Primärenergie von 7,8-10,5 PJ. Zu Einsparungen an Aluminium im Bauwesen und im Transportsektor liegen keine Informationen vor.

¹ Nordman (1999).

² Van den Reek (1999).

³ gerechnet mit der derzeitigen Energieintensität der Papierindustrie, einschließlich der Zellstoff-erzeugung im Ausland.

⁴ World Bureau of Metal Statistics (2000).

(1179) Auch bei den Kunststoffen konnten Effizienzgewinne erzielt werden. So ist im Bereich der Kunststoffverpackungen das Gewicht pro Einheit verpackter Ware um im Mittel 28 % zurückgegangen.¹ Dies ist sowohl auf neue Herstellungs- (Metallocene) als auch Verarbeitungsverfahren der Polymere zurückzuführen. Damit lässt sich eine einhergehende Energieeinsparung von ca. 60 PJ berechnen.

4.3.8.1.4 Nutzungsintensivierung von Gebrauchsgütern

(1180) Schließlich lässt sich durch Intensivierung der Nutzung von Gebrauchsgütern die Materialeffizienz verbessern, falls nicht im gleichen Masse die Lebensdauer der genutzten Güter vermindert wird. „Nacheinander nutzen statt besitzen“ setzt den Nutzenaspekt eines Gebrauchsgutes vor den Eigentumsaspekt. Der Begriff der Parallelwirtschaft (Pooling) beschreibt die Idee, Güter aus einem Pool mehreren Nutzern gleichzeitig bzw. gemeinsam zugänglich zu machen.² Bekannte Beispiele für Parallelwirtschaft sind heute das (kurzfristige) Vermieten von Baumaschinen, elektrischen Werkzeugen, Reinigungsmaschinen, Fahrzeugen (darunter das Car-Sharing) und Fahrrädern sowie die Nutzung von Waschsalons oder die gemeinsame Nutzung von Müllfahrzeugen durch mehrere Kommunen bzw. Kreise.

(1181) Der ökologische Nutzen der Parallelwirtschaft durch Mieten und Operating-Leasing liegt in der Verringerung der notwendigen Gütermenge, um die gesellschaftlichen Bedürfnisse zu befriedigen. Darüber hinaus ermöglicht die Nutzung in Parallelwirtschaft einer größeren Konsumentengruppe den Zugang zu ökologisch effizienten Gütern (z.B. 3-Liter-Autos im Car-Sharing, die an den konkreten Mobilitätsbedarf angepasste Größe des Pkws oder die an die konkrete Frachtmenge angepasste Größe eines benötigten Lkws oder hocheffiziente Bau- oder Erntemaschinen). Auch der Rückgang der Kfz-Nutzung durch Car-Sharing oder Lkw-Leasing ist in die ökologische Bewertung dieses Konzeptes mit einzubeziehen, da die Autos nicht jederzeit spontan („für den Brötcheneinkauf“) zur Verfügung stehen und die Logistik durch die jeweilige Lkw-Bestellung besser geplant wird.³ Grundsätzlich wären auch derartige Nachfrageeffekte in den Nachhaltigkeits-Szenarien dieses Berichtes mit zu berücksichtigen.

¹ vgl. Association of Plastics Manufacturers in Europe: Plastics – Contributing to environmental protection. Veröffentlicht unter <http://www.apme.org>.

² Hockerts (1995).

³ Mejkamp (1994).

- Beispiel Car-Sharing: Im Karlsruher Stadtmobil teilen sich etwa 1 400 Personen 200 Pkw, Kleinbusse und Transits. Unterstellt man, dass einige Teilnehmer sich einen Car-Sharing-Vertrag teilen, d.h. nicht alle 1 400 Mitglieder alternativ einen eigenen Wagen besitzen würden, sondern vielleicht nur 1 000 Personen, dann beträgt das Verhältnis der Nutzungsintensivierung etwa 1 : 5. Die Herstellung von 800 Pkw würde etwa 40 TJ erforderlich machen (einschließlich der energieintensiven Materialien).¹ Bei zwei bis fünf Prozent des deutschen Pkw-Bestandes im Car-Sharing-Betrieb würden 45 bzw. 110 PJ eingespart.
- Die Nutzung nicht an den Bedarf angepasster Wohnungen verursacht vor allem bei Single-Haushalten älterer Menschen eine hohe ungewollte Wohnflächeninanspruchnahme. Erfahrungen von Wohnungstausch-Service-Firmen berichten von einem durchschnittlichen Flächengewinn pro Wohnungstausch von 20 m²²; bei 500 Wohnungen entspricht dies einer Energieeinsparung allein bei der Nutzung von 6,5 TJ pro Jahr.

(1182) Den o.g. Aspekten sind folgende Barrieren gegenüberzustellen: Viele Konsumenten, Betriebe und Verwaltungen brauchen die Gewissheit (oder meinen, sie haben zu müssen), jederzeit auf ein Gebrauchsgut zurückgreifen zu können. Für sie bedeutet die gemeinsame Nutzung mit anderen im Privatbereich eine Einschränkung der persönlichen Freiheit oder im Betrieb zusätzliche Kosten für Planung, Bestellung und eventuell Abholung (falls die Geräte oder Fahrzeuge nicht geliefert werden). Zudem ist die Freude bzw. das Image (Firmenwagen) vieler Konsumenten, Betriebe und Verwaltungen am Eigentum von Gebrauchsgütern nicht zu unterschätzen. Die soziale Abgrenzung durch Prestigekonsum und -eigentum spielt eine erhebliche Rolle in der Erklärung des Investitions- und Nutzungsverhaltens. Auch kann die Macht der Gewohnheit und traditioneller Betriebspraxis, bestimmte Gebrauchsgüter zu besitzen, einer Umstellung auf neue Nutzungskonzepte und Pooling entgegenstehen. Schließlich kann eine negative Bewertung durch das soziale Umfeld, welches das Merkmal Eigentum sehr hoch bewertet, eine Umstellung vom Kauf auf Mieten oder Operating-Leasing verhindern.³

¹ VW (2002) vgl. Volkswagen, <http://www.volkswagen-umwelt.de/live> .

² Vogel, Liedtke (1998).

³ Zanger, Drengner, Gaus (1999).

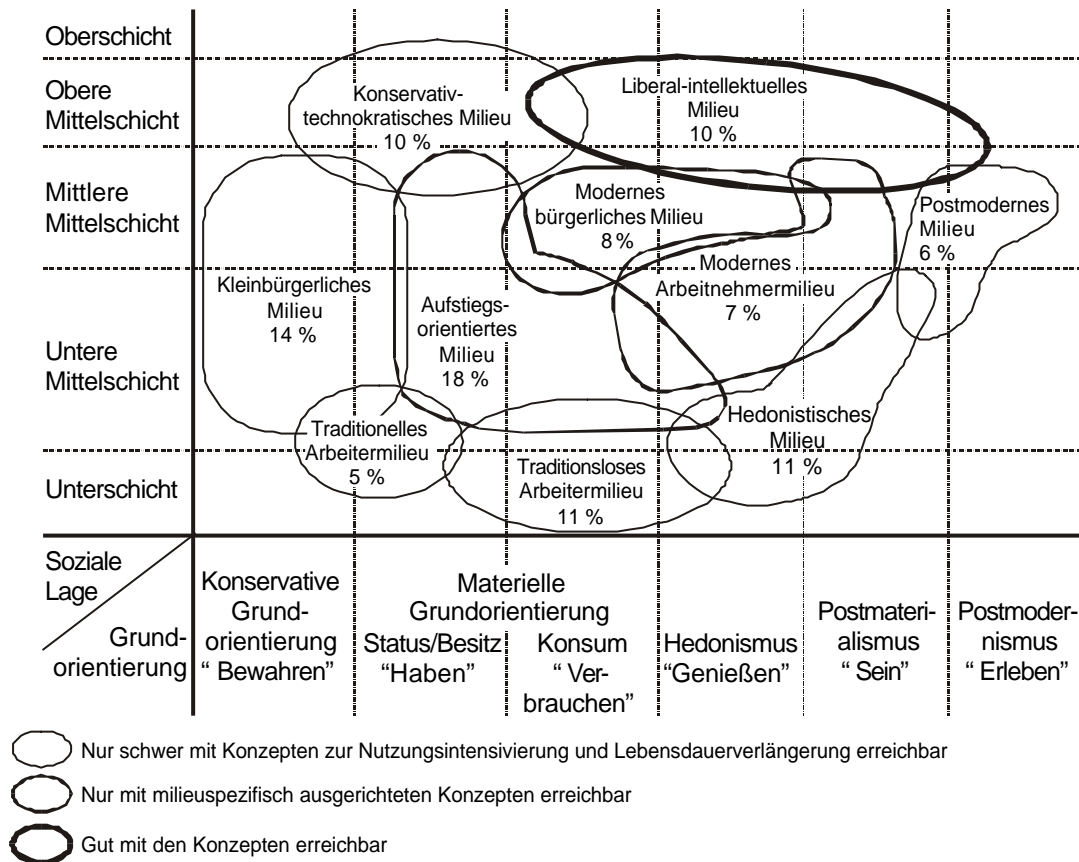
4.3.8.1.5 Lebensdauererlängerung von materialintensiven Gütern

(1183) In einer zunehmend erlebnis- und hedonistisch-orientierten Konsumwelt und einer auf Umsatz, schnellen technischen Fortschritt und zuweilen gezielten Verschleiß bedachten Wirtschaft erscheint die Frage der Lebensdauererlängerung von Gebrauchs- und Investitionsgütern eine völlig unangemessene Fragestellung. Hinzu kommt die berechnete Frage, ob die erreichbaren Energieeinsparungen durch eine Produktlebensverlängerung (z.B. eines Kraftfahrzeuges von 12 auf 18 Jahre) nicht mehr als kompensiert wird durch die nicht realisierten Energieeinsparungen infolge einer verspäteten Nutzung höherer Energieeffizienz der nächsten Produktgeneration (z.B. eines 7 l/100 km statt eines 8 l/100 km Pkw).

(1184) Die längere Produktnutzungsdauer erfordert entweder ein technisch hochwertiges Produkt (und damit verbunden höhere Investitionsaufwendungen) und/oder eine höhere Eignung bzw. Bereitschaft des Nutzers zur Pflege, Wartung, Reparatur, Ersatzteilhaltung und Inkaufnahme der Einschätzung seitens Dritter, nicht modern und finanziell liquide zu sein. Während im Investitionsgüterbereich zunehmend mittels Lebenszykluskosten-Analysen die unter Kostengesichtspunkten optimale Nutzungsdauer angestrebt wird (und es einige Spezialmärkte und -Unternehmen wie z.B. Remanufacturing von Werkzeugmaschinen gibt), sind im Gebrauchsgüterbereich der privaten Haushalte der Lebensstil, die Ausbildung und das Einkommensniveau von Bedeutung: eine hohe Resonanz für die Pflege und Reparaturen von zeitlosen und hochwertigen Gebrauchsgüter haben nach Fleig¹ nur etwa 20 % der Bevölkerung (das kleinbürgerliche Milieu und das traditionelle Arbeitermilieu); eine offene Haltung gegenüber der Nutzungsintensivierung und Lebensdauererlängerung, falls denn entsprechende Angebote gemacht werden, könnte man allenfalls in zwei weiteren Milieus mit knapp 20 % der Bevölkerung finden (modernes Arbeitnehmersmilieu und liberal-intellektuelles Milieu, vgl. Abbildung 4–64).

¹ Fleig (2000).

Abbildung 4–64: Soziale Milieus zur Identifikation von privaten Haushalten mit Bereitschaft zur Nutzungsintensivierung und Lebensdauerverlängerung



Quelle: Fleig 2000

(1185) Der quantitative Einfluss der Lebensdauerverlängerung ist bisher auf den Energiebedarf praktisch nicht untersucht. Immerhin arbeiten etwa 1,5 Mio. Erwerbstätige, d.h. gut 4% aller Erwerbstätigen, im innerbetrieblichen Reparaturdienst größerer Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes sowie in den Handwerksbereichen Schlossereien, Schreinereien, Glasereien, Elektro (meist im Gebäudebereich).¹ Genauere Angaben, um zu energierelevanten Aussagen zu kommen, gibt es nur für wenige Fallbeispiele des Remanufacturing und einzelner Gebrauchsgüter, woraus sich aber nicht die energiewirtschaftliche Relevanz der Lebensdauerverlängerung als eine verallgemeinerte Aussage ableiten lässt. Auch die Secondhand-Gebrauchtwagen und Flohmärkte sind quantitativ nicht erfasst, um zu energiewirtschaftlichen Schlussfolgerungen zu kommen.

¹ Mikrozensus (1996).

- Bekannteste Beispiele zur Wiederverwertung von komplexen Produkten finden sich im Automobilbau (Motoren, Lkw-Reifen). Auch bei den Zulieferern wird dieses Konzept verfolgt, z.B. bei Bosch. Der Einsatz der Bosch-Austausch-Starter und -Generatoren spart – im Vergleich zu neuen Aggregaten – jährlich etwa 1 800 Tonnen Eisen und Stahl, 450 Tonnen Aluminium und fast 100 Tonnen Kunststoffe. Die jährliche Einsparung an elektrischer Energie beträgt rund 85 GWh.

4.3.8.1.6 Integrale Effekte am Beispiel von Verpackungsmaterialien 1991-2000

(1186) Der Verbrauch von Verpackungen ist zwischen 1991 und 2000 gewichtsmäßig um rund 10 % zurückgegangen (vgl. Tabelle 4–102). Der spezifische, auf das Bruttoinlandsprodukt bezogene Verbrauch hat sich sogar um über 20 % verringert. Dies ist einmal auf eine bessere Werkstoffeffizienz durch geringere Werkstoffdicken zurückzuführen, zudem haben die Verpackungsverordnung von 1991 und die Einführung des Grünen Punktes mit seinen Lizenzentgelten auf Verpackungen auch zu einem materialsparenden Verpackungsdesign geführt¹. Schließlich ist auch eine Werkstoff-Substitution erkennbar. „Schwere“ Werkstoffe wie Glas und Stahl sowie das energieintensive Aluminium haben überdurchschnittlich verloren, was nicht allein auf effizientere Materialnutzung zurückzuführen sein dürfte.

¹ DSD (1996).

Tabelle 4–102: Entwicklung des Verpackungsverbrauchs in Deutschland, 1991-2000

	1991	2000 ¹⁾	Anteile 2000	Veränderung
	1.000 t	1.000 t	%	% / a
Verpackungsmaterialien, die der Verpackungsverordnung unterliegen				
Glas	4.637	3.690	26%	- 2,5%
Weißblech	555	430	3%	- 2,8%
Aluminium	72	52	0%	- 3,6%
Kunststoff	1.628	1.447	10%	- 1,3%
Papier, Pappe, Karton	5.395	5.296	38%	- 0,2%
Verbunde	725	738	5%	0,2%
Summe	13.012	11.653	83%	- 1,2%
Sonstige Verpackungsmaterialien				
Feinblech	410	309	2%	-3,10%
Holz, Kork	2.184	2.131	15%	- 0,3%
Sonstige Verpackungen	16	16	0%	0%
Gesamtsumme	15.622	14.109	100%	- 1,1%
Bruttoinlandsprodukt ²⁾ in Mrd. Euro	1.712	1.965		1,50%
Verpackungsintensität t/Mio. Euro	9,15	7,18		- 2,7%
¹⁾ Pognose bei Verpackungsverbrauch bzw. vorläufige Daten beim BIP				
²⁾ in Preisen 1995				

Quellen: UBA (2001); Eigene Berechnungen

4.3.8.2 Übersicht über Technologielinien und Angaben zu spezifischen Reduktionsmöglichkeiten des Energiebedarfs (Zeithorizont 2030)

(1187) Für die fünf o.g. technischen Optionen wurden spezifische Energiebedarfsminderungspotenziale für die kommenden drei Jahrzehnte ermittelt. Dabei muss allerdings bedacht werden, dass in den Nachfrageannahmen für die Werkstoffherstellung auch in der Referenzentwicklung der Energiebedarfsnachfrage bereits ein materialtechnischer (autonomer) Fortschritt implizit mitberücksichtigt wurde, der bei den folgenden Überlegungen explizit gemacht wird. **Erst ein über diesen autonomen Trend der Materialeffizienz hinausgehender technischer Fortschritt wirkt sich somit als weiteres Energiesparpotenzial aus.** Deshalb muss auch im Folgenden zwischen einer Referenzentwicklung und einer durch Nachhaltigkeitspolitik induzierten Materialnachfrage und Produktnutzungsintensität unterschieden werden.

4.3.8.2.1 Verstärktes Recycling energieintensiver Werkstoffe

(1188) Hierbei geht es insbesondere um Einsicht in die **Dynamik des „Aufkommens von genutzten energieintensiven Massenwerkstoffen** nach Abschluss ihrer Nutzungsphase,

was bei Zeitungspapier nach zwei Wochen sein mag, bei Pkw nach 12 bis 15 Jahren und bei Stahlbauschrott oder PVC-Baumaterial nach 30 bis 60 Jahren. Wenn relativ junge Werkstoffe nach der Nutzungsphase anfallen, sind häufig Sortier-, Trenn- und Aufbereitungsverfahren sowie die erforderliche Messtechnik zunächst nicht vorhanden – ganz im Gegensatz zum „alten“ Werkstoff Stahl. Grundsätzlich ist es vorstellbar, dass in einigen Jahrzehnten der Bedarf an Primärmaterial energieintensiver Werkstoffe relativ gering ist gegenüber dem heutigen Bedarf – dem heutigen Inlandsverbrauch –, weil ein erheblicher Anteil im Nutzungs- und Sekundärkreislauf geführt wird und nur jene Mengen an Primärmaterial neu dem Kreislauf zugeführt werden müssen, die sich aus technologischen oder Kostengründen oder wegen Produktnettoexporten nicht wieder in den Kreislauf einbeziehen lassen.

- Beim Werkstoff *Papier* besteht in der Bundesrepublik das größte Wachstumspotenzial für den Altpapiereinsatz bei den graphischen Papiersorten (abgesehen vom Zeitungsdruckpapier). Einzelne Papierwerke stellen heute bereits SC- und LWC-Papiersorten mit einem deutlich höheren Altpapieranteil her als im Durchschnitt üblich.¹ Hier erscheint bis 2030 eine Altpapiereinsatzquote von bis zu 50 % erreichbar.² Die ausreichende Akzeptanz von altpapierhaltigen Papierprodukten in Bereichen, die bisher von altpapierfreien oder -armen Papiersorten dominiert werden, stellt dabei einen kritischen Faktor dar. Im Referenzfall könnte bereits eine Einsatzquote von 30 % realisiert werden. Durch eine derartige Steigerung des Altpapierrecyclings gegenüber einer frozen-structure-Entwicklung könnte der Endenergiebedarf in 2030 um rund 23 PJ gesenkt werden. Ein weiter forciertes Recycling bis auf 50 % Altpapiereinsatzquote (im Nachhaltigkeitsfall) wäre gleichbedeutend mit einer weiteren Energieeinsparung von 18 PJ. Dabei wird eine Steigerung der Papierproduktion von 18,2 Mio. t in 2000 auf 31 Mio. t im Referenzszenario und 25,5 Mio. t im Nachhaltigkeitsszenario unterstellt.
- Im Bereich *Stahl* wurde im Rahmen der IKARUS-Projektion bei insgesamt abnehmender Gesamtstahlerzeugung von einer Zunahme der Produktion von Elektrolichtbogenstahl ausgegangen: bis 2005 wird ein Anstieg um 16 % auf knapp 12 Mio. t, bis 2020 ein Zuwachs um mehr als die Hälfte auf knapp 16 Mio. t erwartet. Damit wird also ein bedeutender Wandel in der Stahlerzeugungsstruktur infolge des weiter zunehmenden Stahl-

¹ Krauthauf, Stöckler (1999).

² Nathani (2002).

schrott-Recyclings erwartet. Hier liegen zugleich recht große Energieeinsparpotenziale, die bis 2030 zwischen 30 bis 60 PJ liegen könnten.

- Wegen der in Zukunft im Inland zurückgehenden Primär-Al-Produktion ist für die Recyclingintensität der Anteil des Verbrauchs von *Sekundäraluminium* am gesamten Aluminiumverbrauch ein geeigneter Indikator (1989: 31,6 % und 1999: 38,3 %). Die sich ergebende Energieeinsparung wird allerdings nicht in Deutschland, sondern vor allem in den Ländern der Primäraluminium-Erzeuger realisiert. Wegen der globalen Auswirkungen des Treibhauseffektes ist eine solche grenzübergreifende Betrachtung dennoch wichtig. Wegen der hohen Zunahme des Aluminiumbedarfs werden zuweilen dynamische Recyclingquoten bevorzugt, die angeben, wie viel eingesetztes Material für einen gegebenen Verwendungszweck zurückkommt. Diese Recyclingquote hängt von der Verweildauer des Produktes beim Endnutzer ab (z.B. Pkw: 95 %, Bauwesen: 85 %; im Verpackungsbereich: 41 %) ¹. Unter der Annahme eines Verbrauchsanstiegs (einschließlich der Exporte von Halbfabrikaten) von 2,3 Mio. t in 1998 auf rd. 4 Mio. t im Jahre 2030, würde sich einmal ein weiter steigendes Schrottaufkommen und ein „autonomes“ Ansteigen des Anteils an Sekundäraluminium am Verbrauch von den genannten 38,3 % im Jahr 1999 auf über 50 % im Jahr 2030 ergeben – entsprechend einer (Primär-) Energieeinsparung von gut 70 PJ gegenüber einer konstanten Struktur von heute, die aber zu zwei Dritteln im Ausland und zu etwa einem Drittel im Inland (23 PJ) realisiert würde. Im Nachhaltigkeitsszenario wird angenommen, dass die oben erwähnten dynamischen Recyclingquoten für die verschiedenen Endnutzungsarten noch einmal substantiell gesteigert werden (ohne Zunahme der Exporte an Altschrotten). Dies setzt allerdings auch voraus, dass die anfallenden Schrotte sinnvoll eingesetzt werden können, was derzeit durch die Begrenzung von Sekundäraluminium auf Gusslegierungen nicht immer gegeben ist. Der Anteil von Sekundärmaterial im Verbrauch könnte sich dann noch einmal steigern auf 60 % mit einer Einsparung von 60 PJ (hiervon weitere 20 PJ im Inland).
- In Bezug auf *Kunststoffe* wird nur etwa ein Drittel des Gesamtaufkommens an Altkunststoffen dem Recycling zugeführt. Dies lässt die Vermutung zu, dass noch ein erheblicher Spielraum besteht, um Wertstoffkreisläufe zu schließen. Hierbei sind Anstrengungen vor allem beim Sammeln und Sortieren der Kunststoffe nötig. Die zukünftigen Entwicklungen in Technik und Wirtschaft werden die Bedeutung des Kunststoffrecyclings wesentlich prägen. Es ist sehr wahrscheinlich, dass die Kosten des Kunststoffrecyclings als Ergeb-

nis der FuE-Bemühungen, weiterer Lernprozesse und der Automatisierung sinken werden. Dies könnte die Akzeptanz des Recyclings von Kunststoffen deutlich erhöhen. In einer Best-Case-Annahme wurde eine Verdreifachung der durch Kunststoffrecycling 1995 eingesparten Energie von 14,2 auf 43,1 PJ für 2005 dargestellt², für die Periode bis 2030 wird die Schätzung auf 30 bis 90 PJ erhöht (inklusive stofflich gebundener Energie).

- Bis 2005 wird sich die Menge des anfallenden Ausbausphalts nicht nennenswert ändern. Mit weiteren Verfahrensverbesserungen ist sowohl beim Recycling als auch bei der Neuproduktion von Asphalt zu rechnen,³ so dass die durch die Wiederverwendung von 1 t Ausbaumaterial erzielbaren Einsparungen ebenfalls in der heutigen Größenordnung liegen werden. Sofern eine Recyclingrate von nahe 100 % erreicht wird, sind somit Einsparungen in Höhe von 30 PJ/a zu erwarten. Dies entspricht ca. 15 % der für die Neuproduktion von Asphalt erforderlichen Primärenergie.

4.3.8.2.2 Intensivere Substitution unter den Werkstoffen

(1189) Erste Substitutionen von petrochemisch basierten Verbrauchsstoffen oder Werkstoffen zu biogen basierten Werkstoffen sind in den letzten 20 Jahren aus verschiedenen Gründen realisiert worden. Durch die Fortschritte der Biotechnologie und der Gentechnik ist absehbar, dass sich dieser Prozess beschleunigen könnte. Hierzu liegen noch zu wenig Informationen vor, um eine Schätzung vornehmen zu können. Aber im Bereich der Metalle gibt es einige Beispiele:

- Gemessen am Durchschnitt einer Vielzahl von Mittelklasselimousinen wurde in einer Planungsstudie das Gewicht der Rohkarosserie um 25 % reduziert und wesentliche Strukturwerte wie die Torsions- und Biegesteifigkeit um 80 % bzw. um 52 % verbessert. Verglichen mit aktuellen Fahrzeugkomponenten konnten Gewichtsreduzierungen bei verschiedenen Türkonzepten (Tailored Blanks) bis zu 27 %, bei Motorhauben bis zu 32 %, bei Kofferraumdeckeln bis zu 29 % und bei Heckklappen bis zu 26 % erreicht werden. Die ermittelten Kosten lagen dabei im Vergleich zu den konventionellen Teilen etwa auf dem gleichen Niveau. Auch beim Fahrwerk konnten mit dem Lotus-Unique-System Ge-

¹ Quelle: Aluminiumverband (<http://www.aluinfo.de>).

² Patel u.a. (1999).

³ Junghänel (1996); Deutscher Asphaltverband (<http://www.asphalt.de>): Herr Els, persönliche Mitteilung, 14.9.1998.

wichtseinsparungen von 34 % und Kosteneinsparungen von 22 % erzielt werden. Gewichtsmäßig steht hierbei die Stahllösung den aluminiumintensiven Systemen nicht nach. Zudem sind die Kosten deutlich geringer. Unterstellt man eine Gewichtsreduktion von 15 bis 25 % bis 2030, so ergeben sich Energieeinsparungen allein bei der Herstellung von 5 Mio. Pkw pro Jahr von etwa 30 bis 50 PJ, wobei diese Zahlen genauer bzgl. der Wechselwirkungen mit anderen Effizienzeffekten zu prüfen sein werden. Hinzu kommen bei einer Jahresfahrleistung von 11 000 km ca. 250 bis 500 PJ/a Kraftstoffeinsparungen dieser 5 Mio. Pkw.

- Bisher hat der zunehmende Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien eher zu einer Zunahme des Papierverbrauchs geführt. Bei einigen Papiersorten ist jedoch auch ein Verbrauchsrückgang festzustellen (z.B. für Formulare und Vordrucke). Zukünftig bieten IuK-Technologien jedoch auch ein hohes Potenzial zur Einsparung von Papier, beispielsweise wenn zunehmend
 - elektronisches Dokumentenmanagement die Papierablage verdrängt,
 - über Email oder ähnliche Kanäle kommuniziert wird,
 - der Zugang zu Informationen aller Art (Zeitungs-, Zeitschriften- oder Kataloginhalte, Nachschlagewerke) über neue Medien wie CD-ROMs und vor allem das Internet anstatt über papierbasierte Medien erfolgt,
 - die Verdrängung von Anzeigenblättern durch Internet-Marktplätze erfolgt oder
 - die Produktion überzähliger Druckerzeugnisse durch Printing-On-Demand vermieden werden kann.¹

Das künftige Umsetzungspotenzial dieser Maßnahmen ist mit hohen Unsicherheiten verbunden. Das Potenzial zur Verringerung des Papierverbrauchs hängt dabei stark von den jeweiligen Papierprodukten und vom Verhalten der Akteure ab. Nach ersten vorläufigen Schätzungen ist für die Bundesrepublik ein gegenüber der Referenzentwicklung um rund 20 % geringerer Verbrauch graphischer Papiersorten (ohne Kopierpapiere) denkbar.² Eine Untersuchung des für Westeuropa vorhandenen Potenzials zur Einspa-

¹ Nathani (2002); van den Reek (1999).

² Nathani (2002)

rung graphischer Papiersorten, die auch die oben genannten Effizienzmaßnahmen einschließt, nennt einen Schätzwert von 25 %, der bis 2015 realisierbar sei.¹ Bei einigen Druckerzeugnissen (z.B. technischen Handbüchern, Nachschlagewerken oder Verzeichnissen) kann bereits im Referenzszenario von einer Substitutionswirkung in der Größenordnung von 3 % ausgegangen werden, die mit einer Endenergieeinsparung von rund 11 PJ verbunden wäre. Geht man von einem durch geeignete Maßnahmen weiter erschließbaren Substitutionspotenzial von rund 12 % aus, so ließe sich der Energiebedarf um weitere 44 PJ verringern.

- Anwendungen im Transportsektor werden als der zukünftige Wachstumsmarkt für *Aluminium* gesehen, ein Bereich, wo der Einsatz von Aluminium aus ökologischer Sicht sinnvoll ist, da hier die Kraftstoffersparnis bei der Fahrzeugnutzung hinzukommt. Im Transportsektor nimmt der Anteil von Aluminium weiter zu. In 20 Jahren wird mit bis zu 200 kg Aluminium im Auto gerechnet. Es ist aber nicht offensichtlich, dass die Substitution von Stahl zu weiteren Einsparungen führt: dies hängt stark von der Konkurrenzentwicklung zwischen beiden Materialien ab und den Fortschritten, den beide beim spezifischen Energieeinsatz von Primär- und Sekundärprozess, beim Anteil an Recyclingmaterial und bei der wechselseitigen Reduktion an Material für den gleichen Einsatz im Auto erzielen können. Zudem können weitere Materialien wie Kunststoffe die Komplexität der Analyse und die Vielfalt der Optionen steigern. Die wirtschaftliche Nutzung der Sekundäraluminium-Gusslegierungen muss insbesondere ergänzt werden durch neue Technologien, die erlauben, andere Legierungen als Gusslegierungen aus Sekundärmetall herzustellen. Unter dieser Annahme könnten bis 2030 Einsparungen von 27 GJ Kraftstoffeinsparung oder 750 l über die Lebenszeit des Autos erzielt werden (150 000 km, 12 Jahre). Gemessen an einer jährlichen Produktion in Deutschland von 5 Mio. Einheiten könnten in der Referenzentwicklung über 120 PJ netto eingespart werden (Zunahme Energieverbrauch NE-Metallsektor, Abnahme Stahlsektor durch Produktionsrückgang, Abnahme Transportsektor). Ein Teil dieser Einsparung wird jedoch bereits in der Referenzentwicklung realisiert, insbesondere dann, wenn ein zusätzlicher Einsatz von 100 kg Aluminium im Pkw in den nächsten 15-20 Jahren tatsächlich erreicht wird, da dies bereits eine Folge der Vereinbarungen zwischen der Europäischen Kommission und den Autoherstellern zur Senkung der CO₂-Emissionen ist.

¹ van den Reek (1999).

Im Nachhaltigkeitsszenario für Aluminium wird angenommen, dass es gelingt, strukturell noch leichtere Materialien einzusetzen. Derzeit wird an noch leichteren Alternativen zum Aluminium auf der Basis des (allerdings noch energieintensiveren) Magnesiums geforscht. Hierzu gehört zum einen die Entwicklung von Hightech-Magnesiumlegierungen für den Einsatz im Transportsektor. Magnesium ist das leichteste metallische Strukturmaterial mit einer Dichte $1,8 \text{ g/cm}^3$ (zum Vergleich Aluminium: $2,7 \text{ g/cm}^3$, Stahl: $7,8 \text{ g/cm}^3$). Zum anderen werden ultra-leichte „super-zellulare Metalle“ mit hoher Porosität, geringer apparenter Dichte und ausgezeichneter Fähigkeit, Schocks zu absorbieren, entwickelt. Diese Materialien sind auch mit geringem Aufwand recycelbar. Die apparente Dichte von solchen ultra-leichten zellularen Magnesiumlegierungen liegt im Bereich von $0,05 \text{ g/cm}^3$. Beim Einsatz solcher leichten Materialien bis 2030 könnte – selbst unter Berücksichtigung der möglicherweise noch einmal deutlich höheren Energieintensität der Grundmaterialien wie Magnesium – der Energieeinsatz unter den übrigen Bedingungen wie beim Referenzszenario um weitere 120 PJ gesenkt werden (Nettoeinsparung).

- In Zukunft wird man in vielen Fällen die biogen erzeugten Werkstoffe mit günstigem spezifischem Gewicht (z.B. Kokosfasern) oder günstigen Eigenschaften (z.B. Flachs als Fasermaterial) anwenden – insbesondere, wenn die Gentechnik spezifische Eigenschaften noch verstärkt.¹

4.3.8.2.3 Verminderung des spezifischen Werkstoffbedarfs je Werkstoffdiensleistung

- Eine zukünftig effizientere Nutzung von Papier ist in verschiedenen Bereichen möglich. Im Bürobereich sind vor allem die Verringerung von Fehldrucken und die doppelseitige Nutzung des Papiers zu nennen. Letzteres kann durch einen verstärkten Einsatz von Druckern und Kopierern mit Duplexfunktion erreicht werden. Die bisherigen Erfahrungen haben gezeigt, dass der effiziente Umgang mit Papier bisher in den Unternehmen keine hohe Aufmerksamkeit erfährt. Erfahrungen einzelner Unternehmen zeigen jedoch, dass der Papierverbrauch bereits mit organisatorischen Veränderungen deutlich reduziert werden kann. So konnten die British Telecom und AT&T ihren spezifischen Papierverbrauch innerhalb weniger Jahre um 15 % bzw. 30 % senken.¹ Im Rahmen einer 1994 vom WWF in den Niederlanden gestarteten Aktion konnten die beteiligten Unternehmen ihren Papierverbrauch innerhalb eines Jahres um 10 % reduzieren, ohne Investitionen zu

¹ CARMEN (2002) mdl. Mitteilung. www.carmen-ev.de.

tätigen. Weitere Einsparungen des Papierverbrauchs sind durch die weitere Verringerung des spezifischen Flächengewichts erzielbar (z.B. des Kopierpapiers von 80 g/m² auf 70 g/m²). Bereits im Referenzfall lässt sich eine Steigerung der Werkstoffeffizienz um 4 % sicher realisieren. Damit ließen sich rund 15 PJ Endenergie einsparen. Eine weitere Steigerung der Materialeffizienz um 8 % käme einer Verringerung des Energiebedarfs um knapp 30 PJ gleich.

- Auch beim Verpackungsdesign sind weitere Effizienzsteigerungen möglich. Untersuchungen zeigen, dass Unternehmen, die sich dieser Thematik annehmen, in relativ kurzer Zeit spezifische Verringerungen des Verpackungsverbrauchs um 20 bis 30 % erreichen können.²
- Ein weiteres Materialeffizienz- und Energieeinsparpotenzial wird bei Flaschen für Softdrinks und manchen Bierflaschenarten gesehen; allerdings ist Leichtglas derzeit noch teurer als die herkömmlichen Hohlgläser. Unterstellt man eine weitere Materialeffizienz um 15 bis 20 % binnen der nächsten 20 bis 30 Jahre, so würde sich der absolute Energiebedarf bei gleichem Hohlglasbedarf um etwa 5 bis 6 PJ vermindern.
- Für Aluminium dürften im Bauwesen und speziell beim sich schnell entwickelnden Einsatz von Aluminium im Transportsektor weitere Materialeffizienzpotenziale bestehen. In den kommenden 30 Jahren wird in diesen Bereichen mit Materialeinsparungen von 20 % (Referenzszenario) bis 30 % (Nachhaltigkeitsszenario) gerechnet. Unter der Annahme, dass es sich bei einem Drittel des eingesparten Materials um Sekundäraluminium handelt, beträgt die Verringerung des Energieeinsatzes im Referenzszenario 80 PJ bzw. zusätzlich etwa 40 PJ im Nachhaltigkeits-Szenario.

4.3.8.2.4 Nutzungsintensivierung

(1190) Diese technische Option ist heute zweifellos noch wenig untersucht, so dass man in vielen Fällen mit Annahmen die Potenziale schätzen müsste. Beispiele liegen wahrscheinlich vermehrt im Bereich der Massenwerkstoffe bei langfristigen Gebrauchsgütern und bei Wohnungen.

¹ Robins/Roberts (1996).

² IIED (1995); Abramowitz, Mattoon (1999).

- Bei 10 000 bzw. 25 000 Wohnungswechseln älterer Singlehaushalte pro Jahr ergäbe sich bis 2030 bei einem Flächengewinn von 20 m² je Wechsel ein Energieeinsparpotenzial von 3,9 bis 9,7 PJ allein für die nicht benötigte Heizenergie.

(1191) Ein weiteres Beispiel, das Car-Sharing, wurde schon genannt. Allgemein erheben sich bei der Nutzungsintensivierung durch Mieten und Leasing rechtliche Probleme der Gewährleistung und der Behebung von Schäden. Produktbegleitende Informationssysteme, die den Gebrauch des Mietgegenstandes durch den Nutzer aufzeichnet, wäre z.T. eine technische Lösung.

4.3.8.2.5 Lebensdauererlängerung

(1192) Mangelnde Reparaturmöglichkeiten, bewusst einkalkulierter Verschleiß bei Gebrauchsgütern und nicht mehr lieferbare Ersatzteile machen bei vielen Gebrauchsgütern eine längere Nutzungsdauer unmöglich. Auf dieses Problem weisen Verbraucherverbände bei gegebenen Anlässen häufiger hin. Die energiewirtschaftlichen Konsequenzen dieser Strategie auch von Nutzungskaskaden sind heute – mit wenigen Ausnahmen¹ – nicht untersucht. Allerdings sind auch die Lebensstile verschiedener sozialer Milieus nicht auf langlebige Gebrauchsgüter ausgerichtet, wie Sperrmüllsammlungen häufig belegen. Vom Steuerrecht her bedingte Abschreibungszeiträume können die vom Nutzer präferierten Nutzungszeiten beeinflussen, oder sie verleiten zu kurzen Kapitalrücklauferwartungen, die von den langlebigeren Investitionsoptionen wegen etwas höherer Investitionskosten nicht erfüllt werden können, aber wegen ihrer längeren Nutzungszeiten auch nicht erfüllt werden brauchen. Gewiss wird man an langfristige Gebrauchsgüter auch bestimmte Anforderungen stellen müssen, wie z.B. die Austauschbarkeit der Elektronik oder modischen Trends unterliegenden äußeren Gehäusen.

4.3.8.3 Zusammengefasste Energieeffizienzpotenziale

(1193) Wenngleich manche Angaben in Kapitel 4.3.8.2 relativ unsicher sind, werden in diesem Abschnitt die o.g. Energieeinsparpotenziale in der Referenz- und einer Nachhaltigkeitsvariante zusammengefasst. Diese Zusammenstellung, die in vielen Matrixelementen der Tabelle 4–103 keine konkreten Angaben machen kann, gibt eine erste Information, in welchem Ausmaß man in Zukunft aufgrund der vier technischen Optionen in den kommenden drei

¹ Fleig (2000).

Jahrzehnten vielleicht mit Energieeinsparungen rechnen könnte. Wegen fehlender Informationen zur Lebensdauererlängerung wurde dieser Aspekt nicht in die Tabelle aufgenommen. Summiert man die Einsparpotenziale des Referenz-Szenarios auf und gewichtet sie mit dem Faktor 0,9 wegen der gegenseitigen Wechselwirkungen und unterstellt eine Halbierung der Substitutions-/Effizienzeffekte beim Pkw durch Aluminium bzw. weniger Stahlbedarf/a, so ergeben sich Energieeinsparungen in der Größenordnung von 465 PJ, d.h. etwa 5 % des heutigen Endenergiebedarfs. Das zusätzliche Potenzial durch eine bewusste Nachhaltigkeitspolitik liegt in der gleichen Größenordnung. Dies bescheinigt der Materialeffizienz angesichts der wenigen untersuchten Fälle einen merklichen Einfluss auf die Nachfrage nach Energiedienstleistungen, seien es Materialmengen oder Wohnflächen.

(1194) Soweit die bisherigen Erkenntnisse es erlauben, ergeben sich die größten Energieeinsparpotenziale bei der **Fahrzeugherstellung und -nutzung**, wobei hier lediglich der Pkw als größter Energieverbraucher im Verkehrsbereich angeschaut wurde. Weitere größere Potenziale haben die **Papier- sowie Kunststoffbereiche**. Hinsichtlich der fünf diskutierten Optionen der Materialeffizienz scheint die spezifische Gewichtsreduktion, aber auch die Materialsubstitution von besonderer Bedeutung zu sein, zumal in dem letztgenannten Technologiefeld die biogen erzeugten Materialien, auch infolge noch nicht analysierter gentechnischer und biotechnologischer Fortschritte, noch nicht untersucht wurden. Möglicherweise ist auch der Bereich der **Nutzungsintensivierung** wegen der geringen Fallzahl unterschätzt; dagegen mag die häufig genannte Option des Materialrecycling eher begrenzt sein bei vielleicht 300 PJ.

(1195) Zweifellos sind die in Tabelle 4–103 genannten zusammenfassenden Zahlen unvollständig und in ihrer partialanalytischen Darstellung schnell missverständlich, aber die vielen nicht untersuchten Fälle der Matrix zeigen, dass durch neue Materialeigenschaften, durch Materialsubstitution und durch Nutzungsintensivierung (als eine unternehmerische und gesellschaftliche Innovation) erhebliche Energieeffizienzpotenziale in den kommenden drei Jahrzehnten erschließbar erscheinen.

Tabelle 4–103: Einfluss von Materialeffizienz und intensivere Produktnutzung auf den zukünftigen Energiebedarf bis 2030, Referenz und Nachhaltigkeits-Szenario (Partialanalysen in der Matrix)

	Zusätzliches Energieeinsparpotenzial 2030 in PJ durch								Summe ³⁾	
	Verstärktes Recycling		Geringerer spez. Materialbedarf		Materialsubstitution		Nutzungsintensität		Referenz-	Nachhaltig-
Werkstoff / Produktgruppe	Referenz-	Nachhaltig-	Referenz-	Nachhaltig-	Referenz-	Nachhaltig-	Referenz-	Nachhaltig-	Referenz-	Nachhaltig-
	szenario	szenario	szenario	szenario	szenario	szenario	szenario	szenario	szenario	szenario
Stahl	30	60							30	60
Aluminium	23	43			100 ¹⁾	240 ¹⁾			123	283
Kunststoff	30	90			10	20			40	110
Zement/ Beton										
Ziegel										
Bitumen, Asphalt	15	30							15	30
Glas			5	6					5	6
Papier/ Pappe	23	41	15	30	11	55			49	126
Straßenfahr- zeuge										
- Herstellung			30	50					75	160
- Nutzung			250 ¹⁾	500 ¹⁾			45	110	250	500
Baubereich, Maschinen/ Anlagen			80	120					80	120
Bürogeräte										
Haushalts- geräte										
Wohnungen							4	10	4	10
Summe³⁾, gerundet	121	234	380	706	121	315	49	120	/	/
Gewichtet mit 0,9¹⁾	109	237	242	435	70	188	45	110	465²⁾	970²⁾

¹⁾ bei Aggregation nur zu 50 % berücksichtigt
²⁾ gerundet
³⁾ Partialanalysen