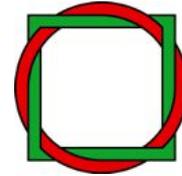




Center for
Environmental
Systems Research



Wuppertal Institut
für Klima, Umwelt, Energie
GmbH

Chancen und Herausforderungen Langfristige Trends effizienter und regenerativer Ressourcennutzung

Prof. Dr. Stefan Bringezu

Center for Environmental
Systems Research
Universität Kassel

Leiter
FG Stoffströme und
Ressourcenmanagement
Wuppertal Institut

Keynote Vortrag beim
Effizienz Forum Wirtschaft

28. Januar 2014
Zeche Westfalen
Ahlen

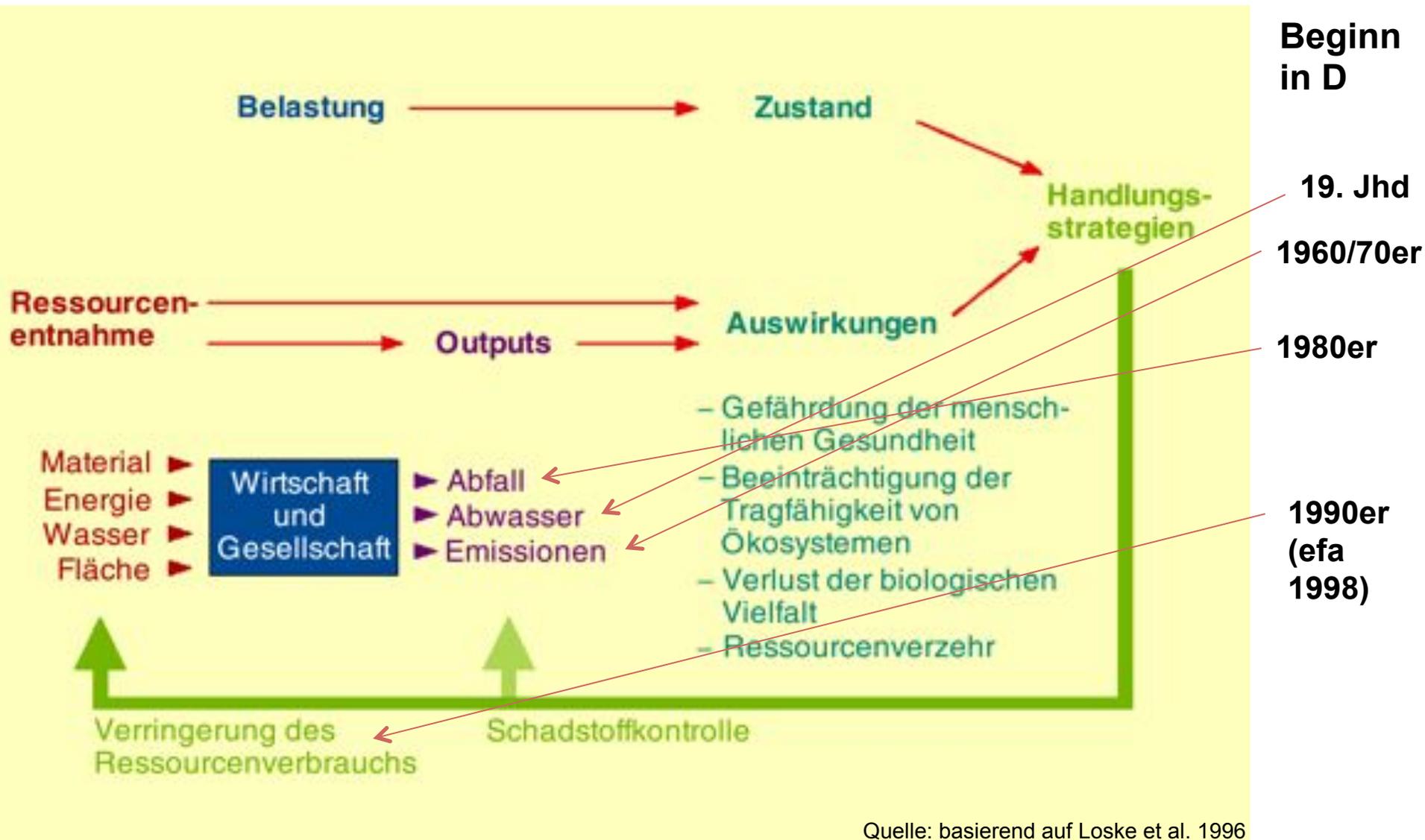
Der Vortrag

- Ressourceneffizienz steigern: Beweggründe und politische Ziele
- Die aktuellen Trends
- Indikatoren des sozio-industriellen Stoffwechsels
- Zukunftsfähiger Metabolismus: Erfordernisse und Optionen
- Strategien zur Erhöhung der Ressourceneffizienz
- Die Rolle des Recyclings
- Langfristoption: Carbon Recycling

- Ressourceneffizienz steigern: Beweggründe und politische Ziele
- Die aktuellen Trends
- Indikatoren des sozio-industriellen Stoffwechsels
- Zukunftsfähiger Metabolismus: Erfordernisse und Optionen
- Strategien zur Erhöhung der Ressourceneffizienz
- Die Rolle des Recyclings
- Langfristoption: Carbon Recycling

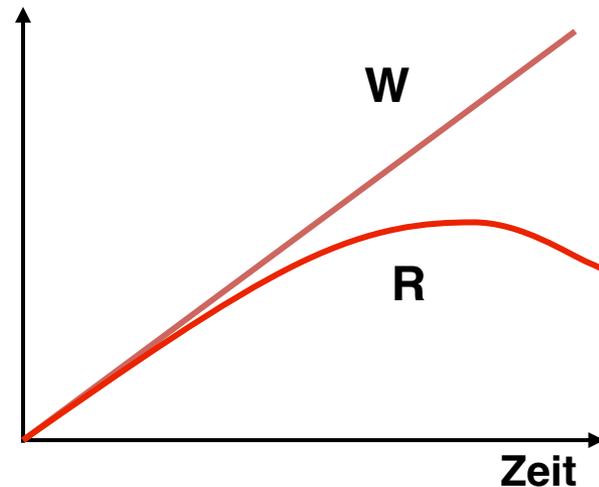
Zur Geschichte umweltpolitischer Maßnahmen

Entwicklung einer erweiterten Systemperspektive



Factor X: Mehr Wohlstand mit weniger Ressourcenverbrauch

Vorschläge von politischen Zielwerten



Idee der
Abkoppelung

- Faktor 4-10: Ziele zur Erhöhung der Ressourcenproduktivität
(Weizsäcker 1995 Faktor 4, nach Schmidt-Bleek 1992 Faktor 10)
- Erste quantitative Ziele: Deutschland (Rohstoffproduktivität Faktor 2, 1994-2020)
Japan (Materialproduktivität 40%, 2000-2010; 2. Fundamental Plan: 3.700 €/t DMI bis 2015)
- Quantitative Ziele bzw. Maßnahmen mittlerweile in:
AT, D, DK, EST, FL, I, J, RUM, S, SLO, HUN, VK, China
- Europäische Kommission: Roadmap Resource Efficiency (9/2011)

Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess) Kabinettsbeschluss Feb 2012

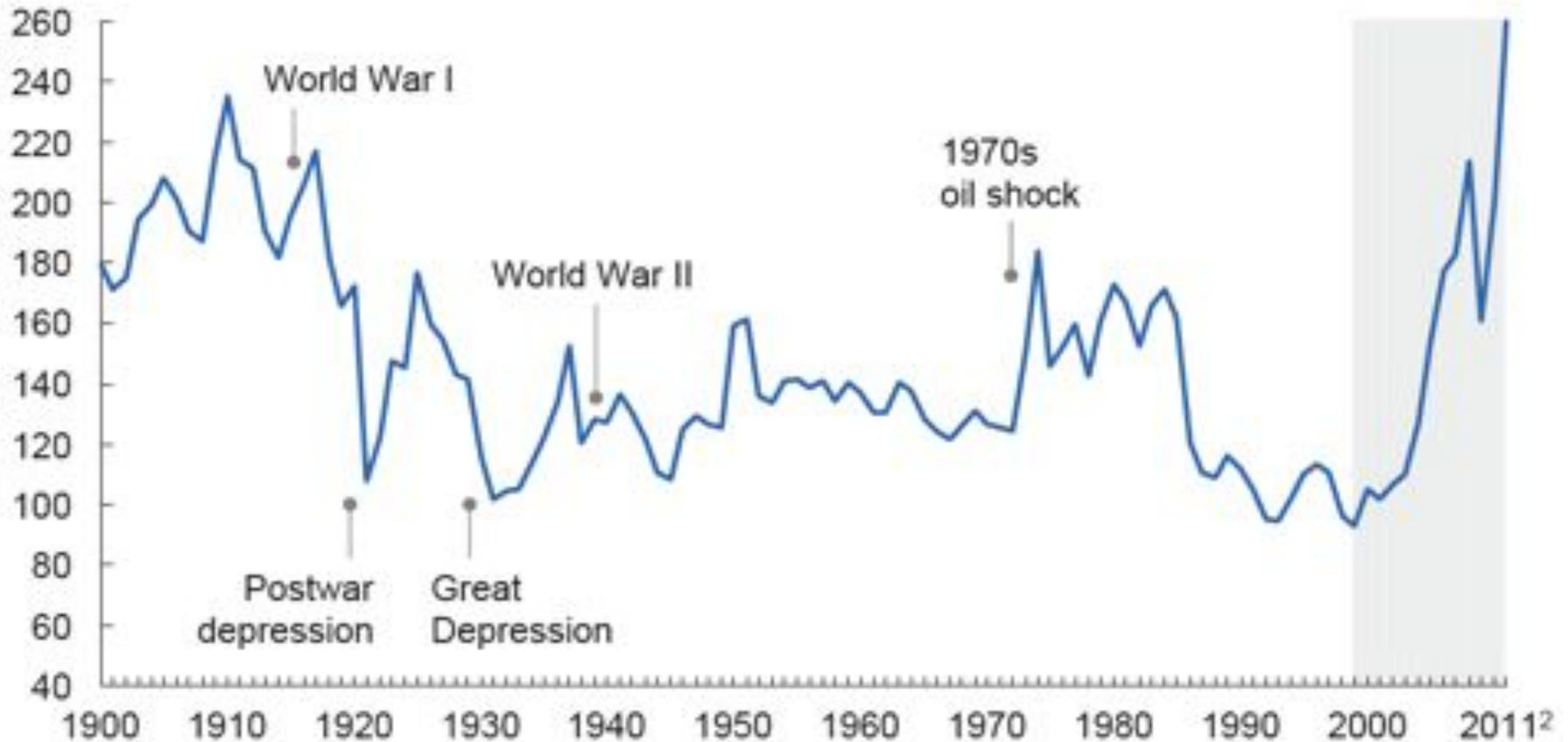
- Ziel Faktor2 bleibt unverändert, Indikator wird schrittweise erweitert bzw. ergänzt
- Handlungsansätze:
 - Nachhaltige Rohstoffversorgung sichern
 - Ressourceneffizienz in der Produktion steigern
 - Konsum auf Ressourceneffizienz orientieren
 - Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft ausbauen
 - Übergreifende Instrumente nutzen (z.B. Subventionen abbauen)

Internationale Aktivitäten zur Förderung der Ressourceneffizienz

- **G8** Deauville: RE + Green Growth (2011)
- **OECD**: Towards Green Growth (2011)
MFA & Resource Productivity, Method Guide (2008)
- **UNEP**: „Towards Green Economy“ (2011)
 - RE: priority area
 - Making the Business Case (demonstration projects)
 - Finance Initiative
 - UNEP/UNIDO Cleaner Production Centres
 - Facilitating Global Partnership (Industry Clusters)
 - Product Assessment (UNEP/SETAC LCA), Zertifizierung
 - Capacity building for policies

Preiseentwicklung für Rohstoffe und Grundwerkstoffe

Commodity Price Index (1999-2001 = 100)

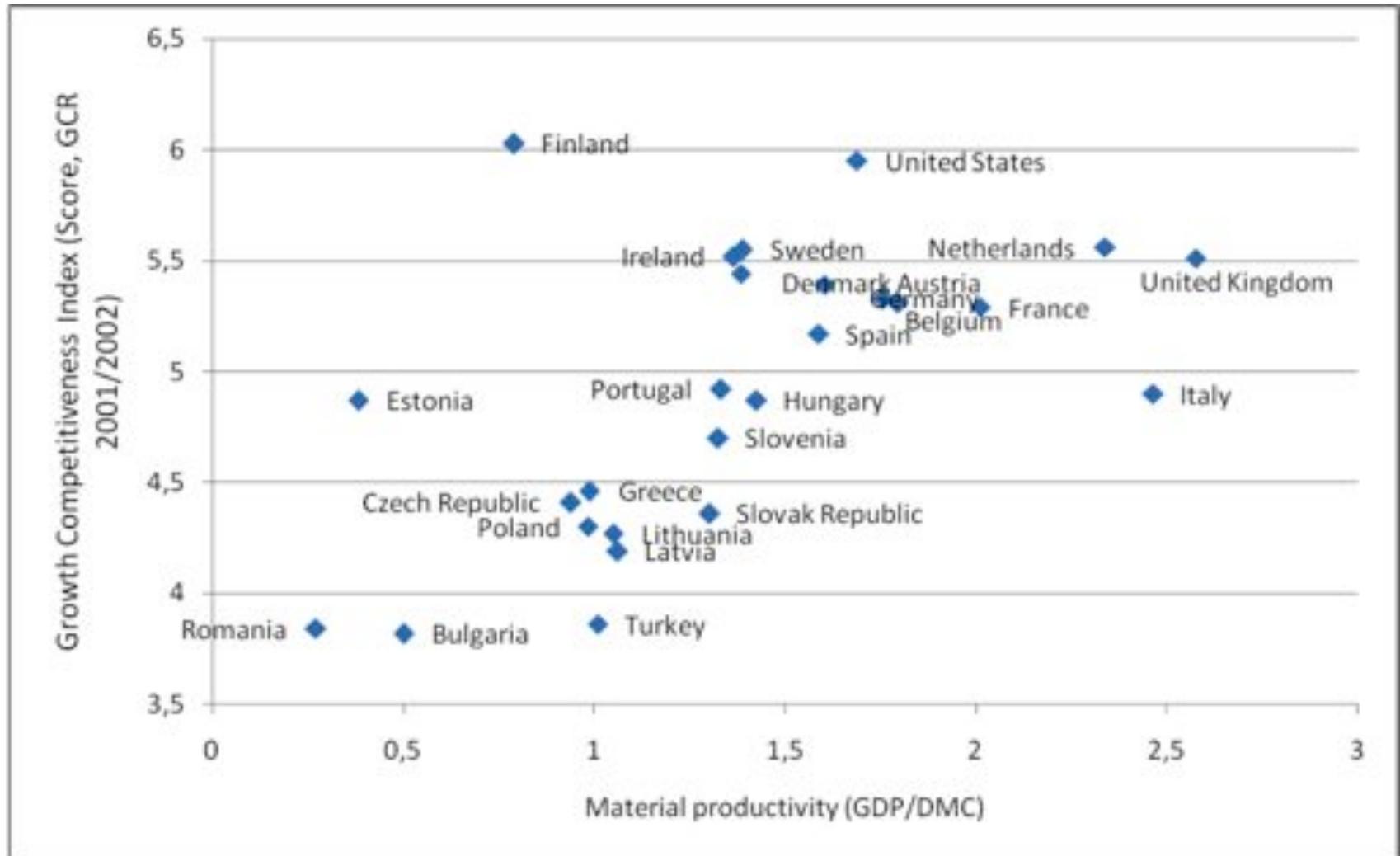


1 See the methodology appendix for details of the MGI Commodity Price Index.

2 2011 prices are based on average of the first eight months of 2011.

Quelle: McKinsey (2011) „Resource Revolution: Meeting the world’s energy, materials, food and water needs“

Die internationale Wettbewerbsfähigkeit von Ländern steigt mit der Materialproduktivität

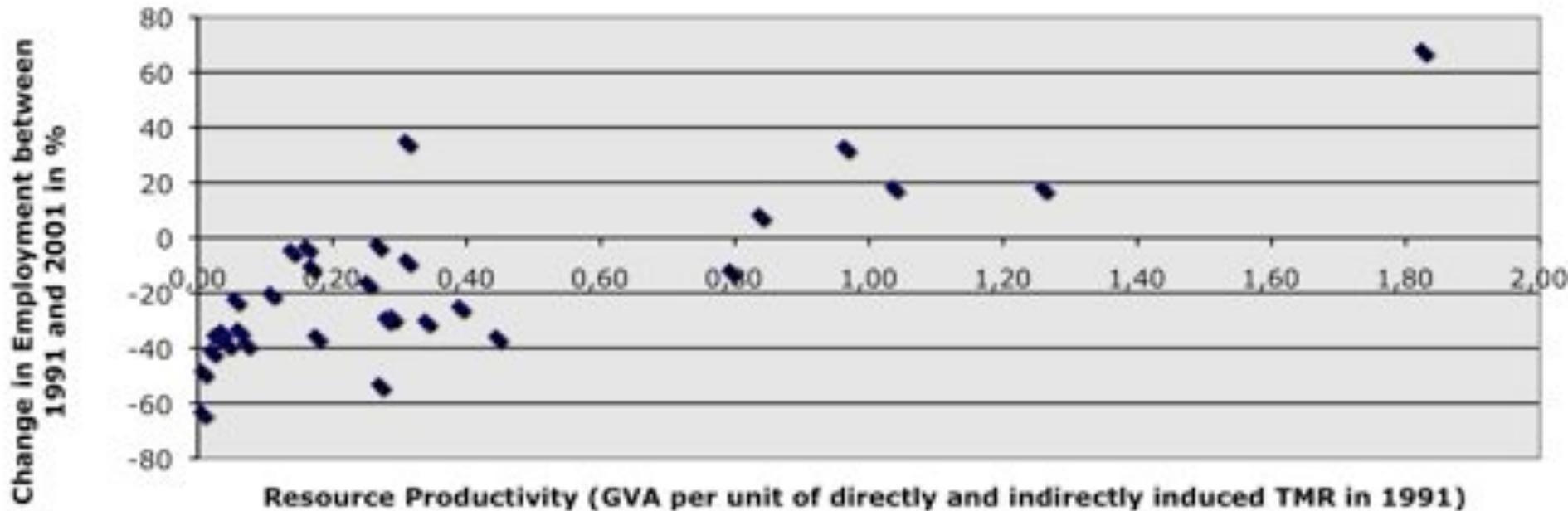


Note: GDP in PPP U.S. \$; t-statistics and F-statistics significant with $p < 0.05$; Source: Bringezu and Bleischwitz (2009)

Beschäftigungschancen steigen mit der Ressourcenproduktivität der Branche

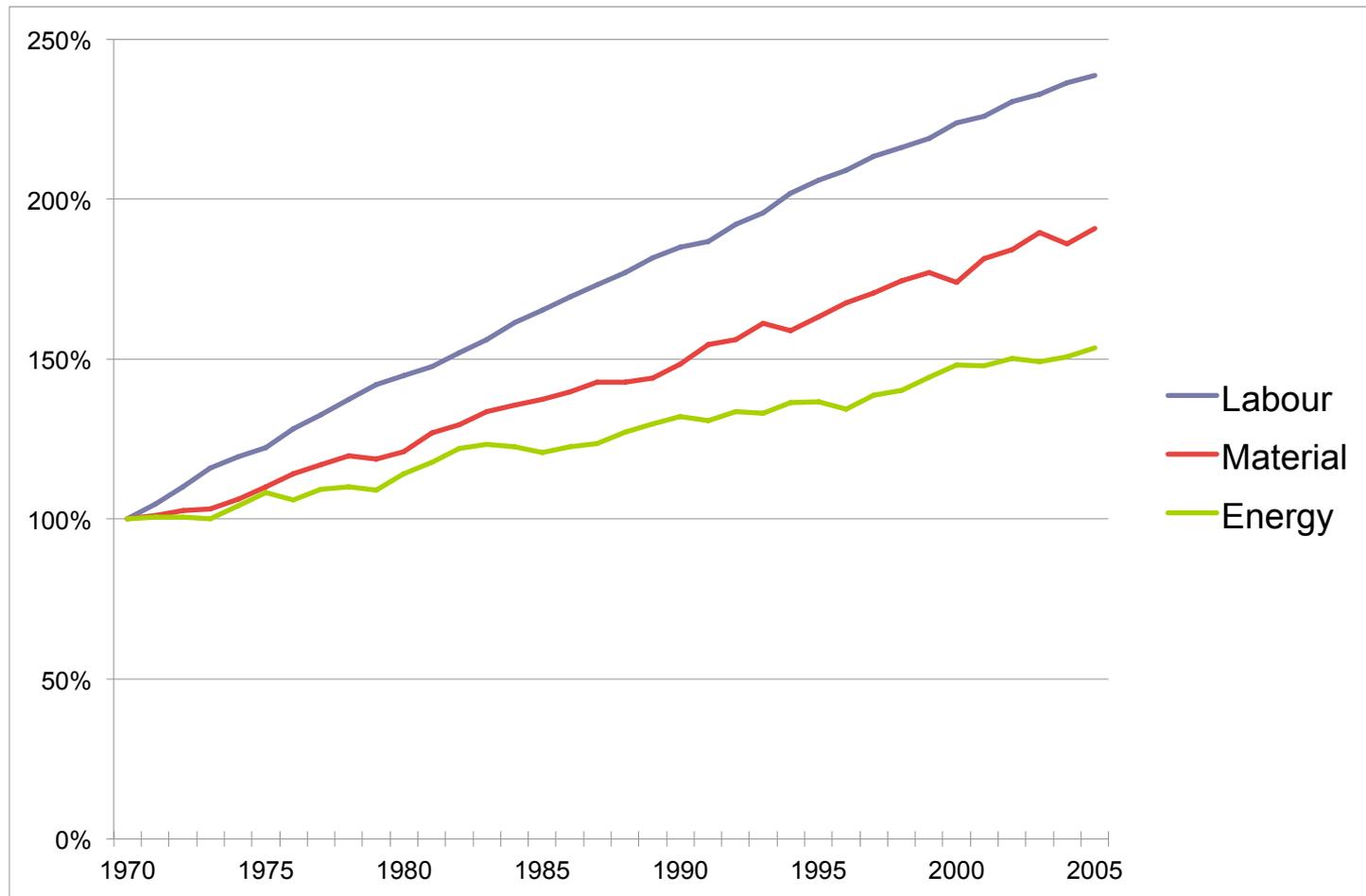
Beispiel Deutschland:

Change in Employment vs Resource Productivity



Note: Spearman rank correlation highly significant: $r_s = 0.6756$, $p < 0.001$. Source: Bringezu et al. 2009

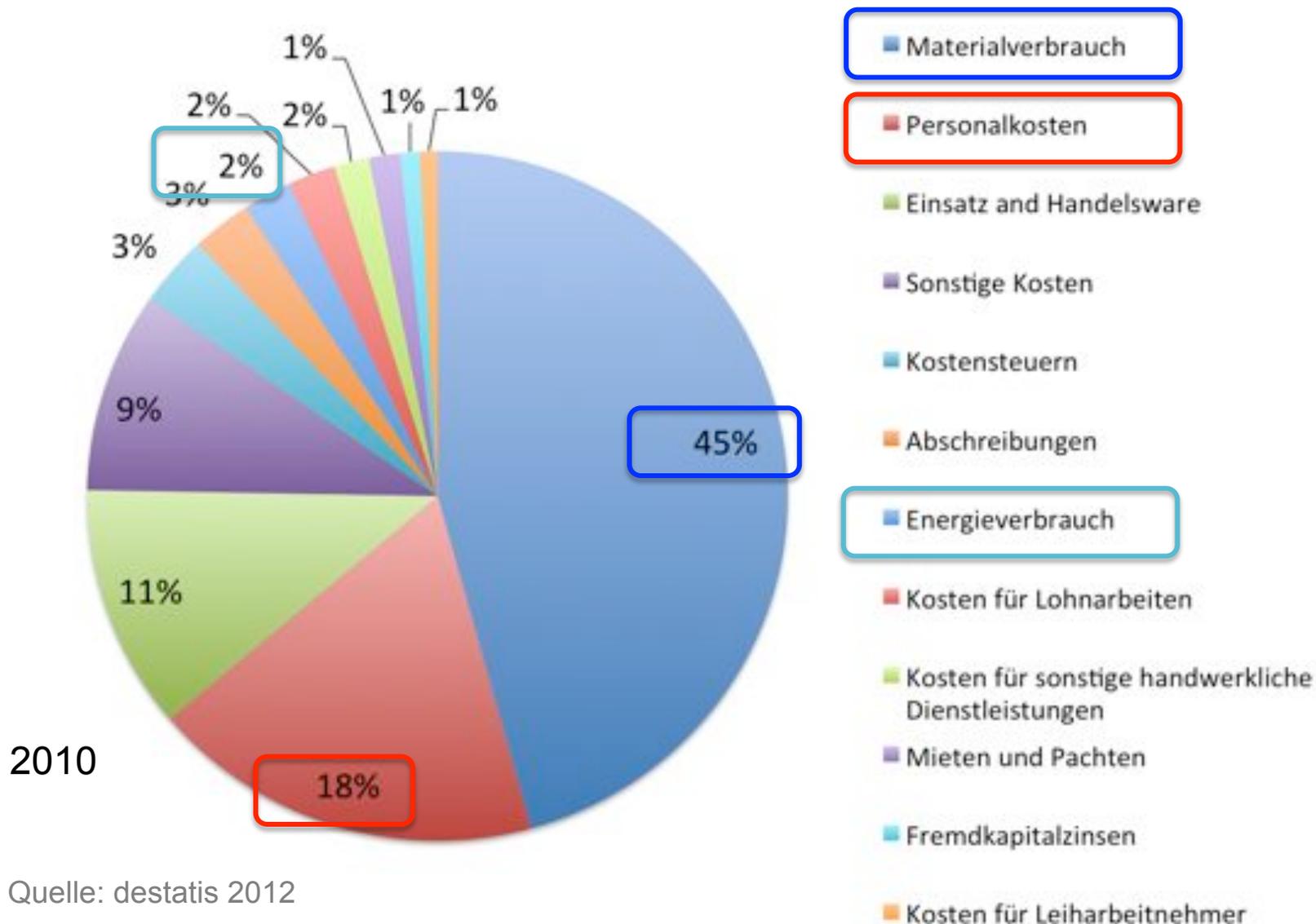
Bislang unterschiedlich entwickelt: Arbeits-, Material- und Energieproduktivität (EU-15)



Source: GDP + working hours: Conference Board and Groningen Growth and Development Centre, Total Economy Database, June 2009; Material: Eurostat statistics; Energy: International Energy Agency.

Kostenstruktur des Verarbeitenden Gewerbes in Deutschland

Materialkosten dominieren



Materialeffizienzmaßnahmen in der Produktion:

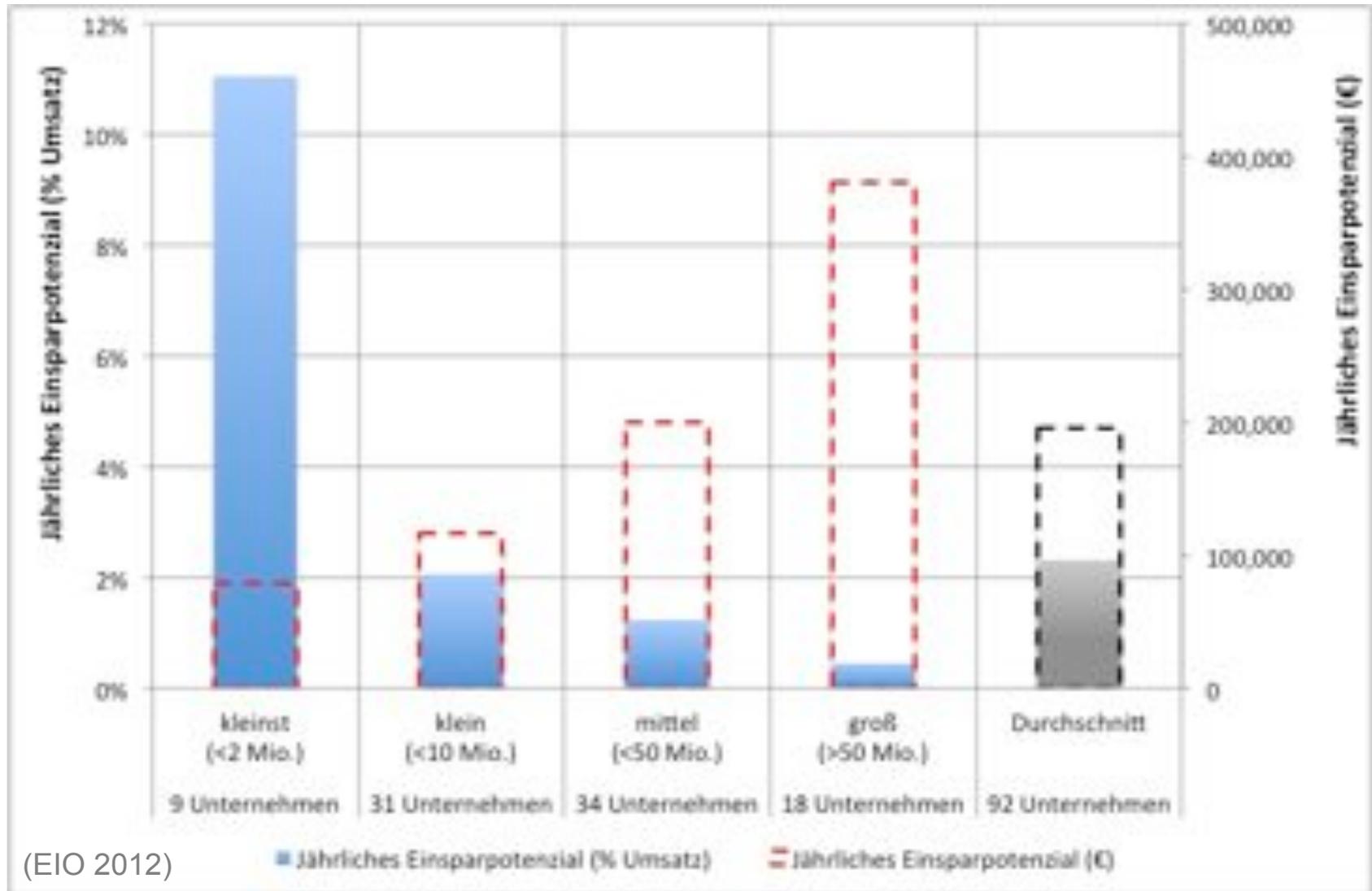
Ressourcen- und Materialeffizienzpotenziale

Studie (Erscheinungsjahr)	Jährliches Einsparpotenzial	Stichprobengröße, Quelle, Branchen, Land
Követ (2012)	134.000 € bis 412.000 €	N=56, „Money back through the window“, Verarbeitendes Gewerbe, Ungarn
BIS (2010)	19.000 £ bis 52.000 £	N=403, ENWORKS, 8 Sektoren, Großbritannien
Schmidt u. Schneider (2010)	210.000 €	N=569, demea, Verarbeitendes Gewerbe Deutschland
Schröter (2012)	7 % des Materialverbrauchs	N=1,484, „MidP“, Verarbeitendes Gewerbe Deutschland
EIO (2012)	196.000 €	N=92, demea, 5 Sektoren aus dem Verarbeitenden Gewerbe Deutschland

Quelle: Eco Innovation Observatory (2012)

Materialeffizienzmaßnahmen in der Produktion

Materialeffizienzpotenziale: Einsparungen (demea)



Materialeffizienzmaßnahmen in der Produktion:

Materialeffizienzpotenziale: Investitionen, Einsparungen, Amortisationszeiten (demea)

- **Im Schnitt pro Unternehmen:**
 - **129,000 €** einmalige Investition
 - **196,000 €** jährliches Einsparpotenzial
 - **13 Monate** Amortisationsdauer

	N	Einmalige Investitionen		Jährliche Investitionen	Jährliches Einsparpotenzial			Amortisations-dauer
		€	% Umsatz	€	€	% Umsatz	€ / MA	Monate
Metallerzeugnisse	28	85,000	3,6%	3,400	120,000	3.9%	3,200	11
Möbeln und sonstige Waren	14	79,000	0,3%	5,100	327,000	1.6%	1,600	4
Nahrungs- und Futtermittel, Getränke	13	429.000*	2,8%	400	247,000	1.2%	1,700	29*
Maschinenbau	27	81,000	0,7%	1,900	207,000	1.9%	4,100	13
Gummi- und Kunststoffwaren	10	53,000	0,5%	-	132,000	1.5%	2,300	6
<2 Mio. € Jahresumsatz	9	43,000	9,3%	5,100	78,000	11.1%	11,900	13
<10 Mio. € Jahresumsatz	31	103,000	1,8%	2,000	117,000	2.1%	2,800	17
<50 Mio. € Jahresumsatz	34	129,000	0,5%	1,200	201,000	1.2%	1,600	11
>50 Mio. € Jahresumsatz	18	216,000	0,3%	4,100	382,000	0.4%	1,100	8
<10 Mitarbeiter	5	49,000	12,5%	1,800	87,000	11.2%	19,200	17
<50 Mitarbeiter	27	55,000	1,9%	3,500	108,000	3.3%	3,200	10
<250 Mitarbeiter	44	153,000	1,0%	500	203,000	1.4%	1,700	15
>250 Mitarbeiter	16	214,000	0,3%	6,200	358,000	0.4%	700	10
Summe / Durchschnitt	92	129,000	1,8%	2,400	196,000	2.3%	3,000	13

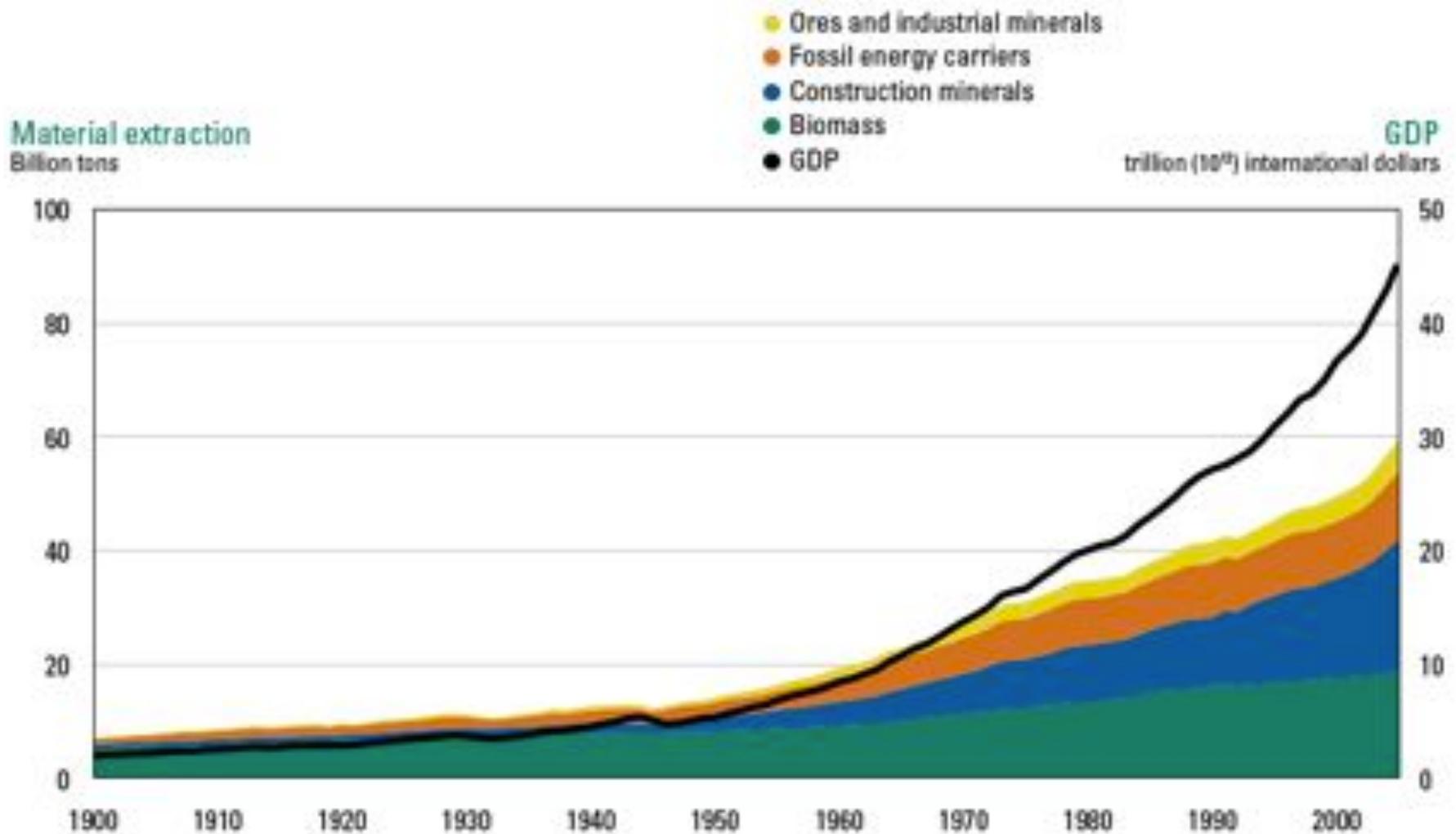
*statistische Ausreißer

Quelle: EIO 2012

- Ressourceneffizienz steigern: Beweggründe und politische Ziele
- **Die aktuellen Trends**
- Indikatoren des sozio-industriellen Stoffwechsels
- Zukunftsfähiger Metabolismus: Erfordernisse und Optionen
- Strategien zur Erhöhung der Ressourceneffizienz
- Die Rolle des Recyclings
- Langfristoption: Carbon Recycling

Wirtschaftswachstum koppelt von Rohstoffextraktion ab

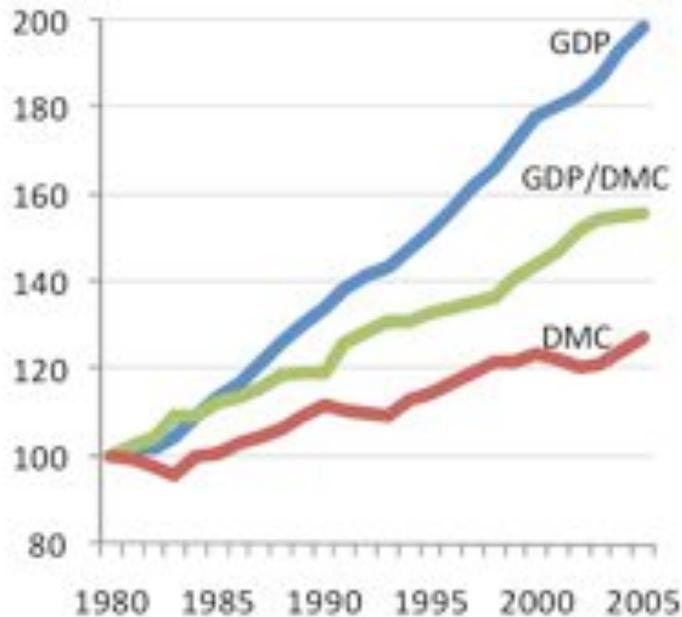
Globale genutzte Extraktion 1900-2008



Source: UNEP (2011) after Krausmann et al. 2009

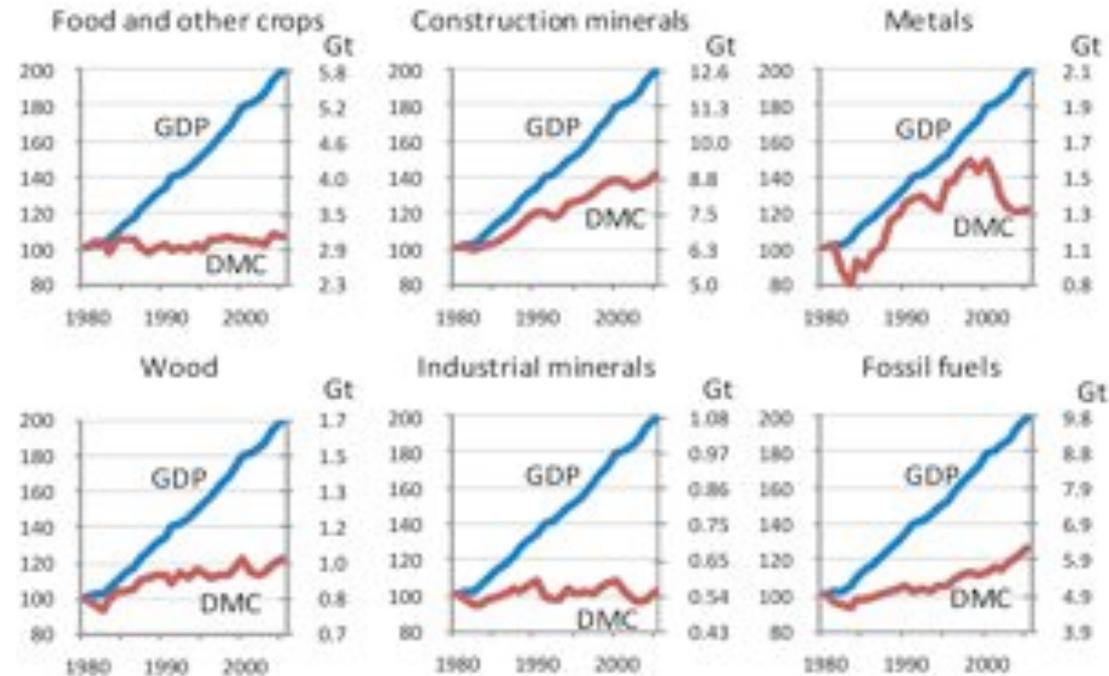
Relative Abkoppelung bei den reicheren Ländern: Inländischer Materialverbrauch wächst schwächer als BIP

Trends, all materials and GDP*, OECD
(1980=100)



* GDP at 2000 prices and PPPs.

Trends by material category and GDP*, OECD
Left axis: 1980 = 100; right axis: Billion tonnes (Gt)**



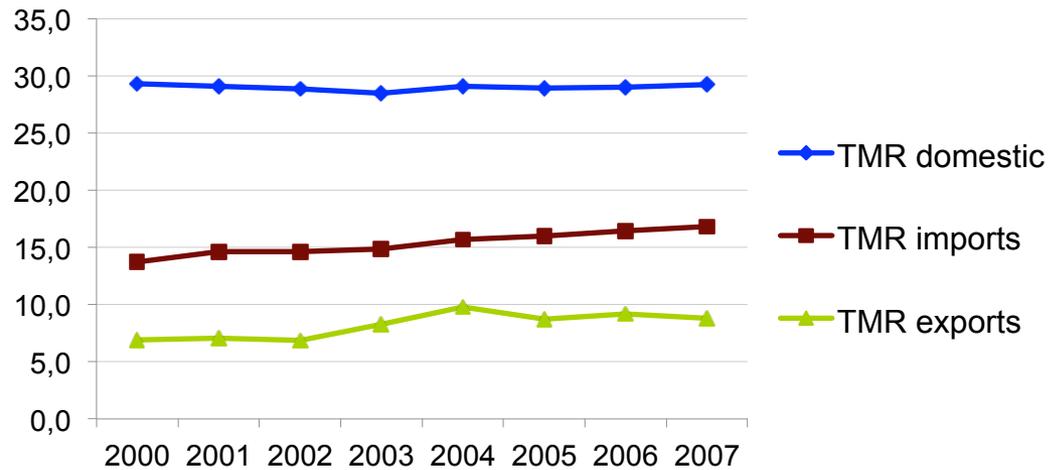
** DMC fits to both axes; GDP fits to left axis only.

Source: OECD MF pilot database (provisional for 2005)

Globaler Materialaufwand der EU wächst

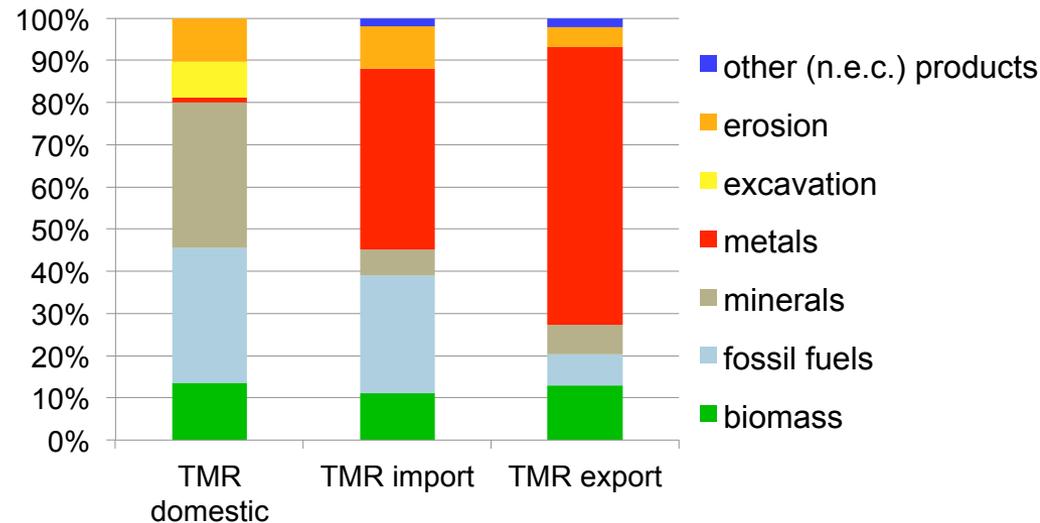
Total Material Requirement TMR

Tonnes per capita



Die EU nutzt zunehmend ausländische Ressourcen

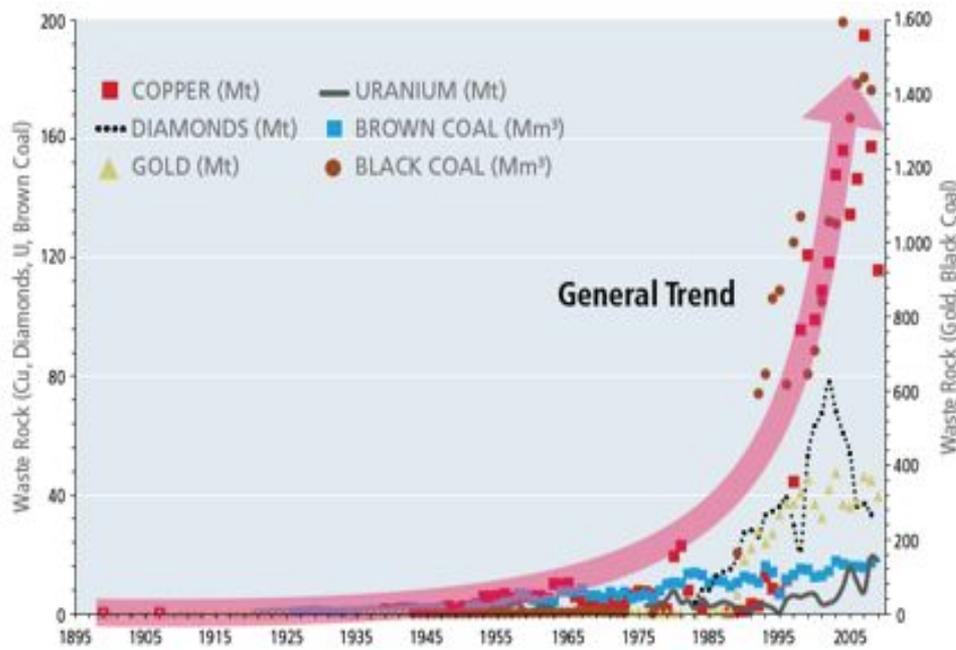
Metallische Ressourcen dominieren den Handel



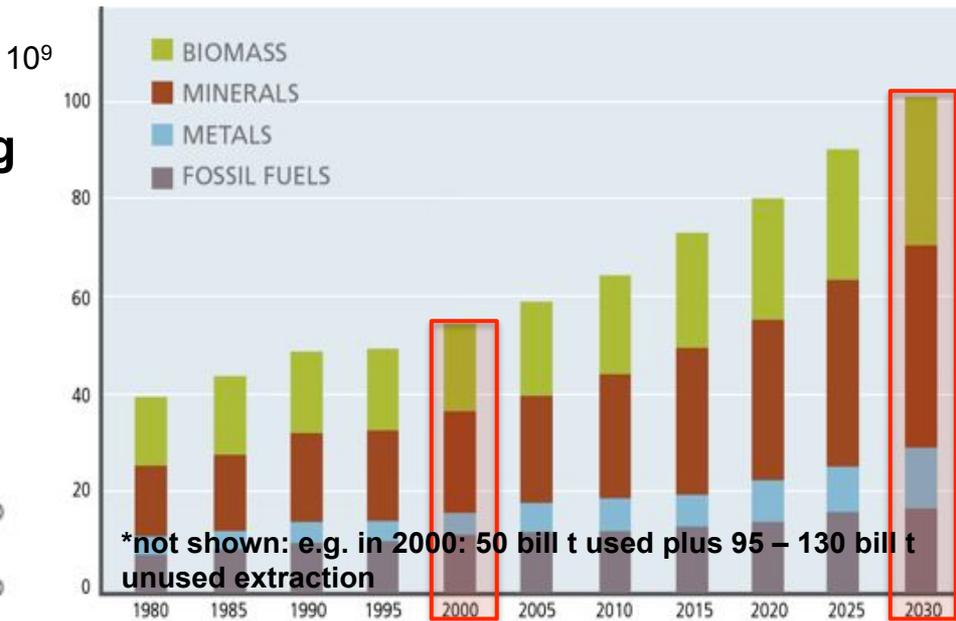
Sources: Schütz/Bringezu, Eurostat

Global wächst die Belastung durch Primärextraktion weiter

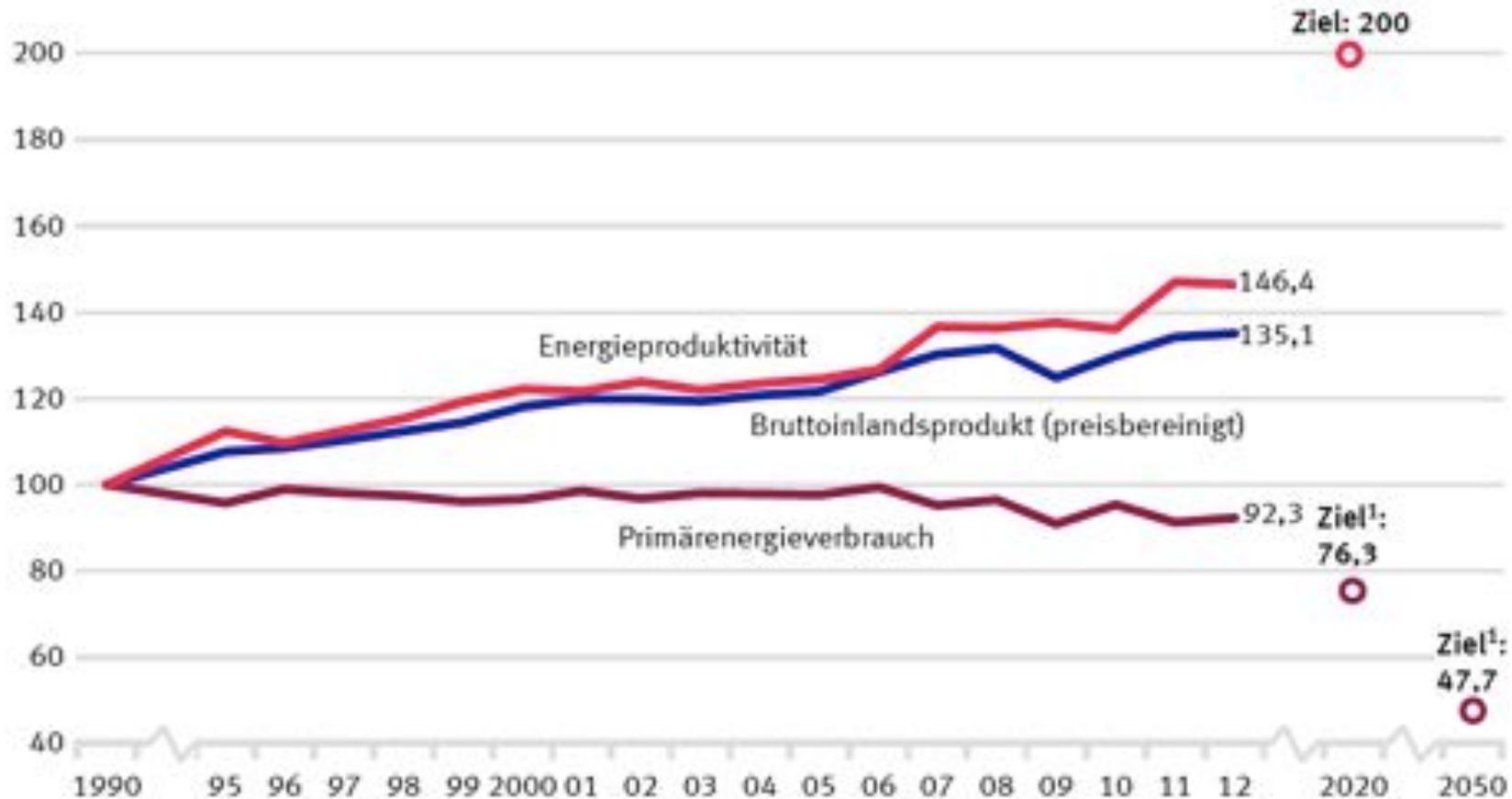
- Von 2000 bis 2030: ca. **Verdoppelung genutzte Extraktion (Rohstoffe)**
- Ungenutzte Extraktion **2-3 mal höher** und steigt überproportional



Sources: Aachen Foundations based on SERI/FoE 2009; Mudd 2009



Energieproduktivität und Wirtschaftswachstum in Deutschland



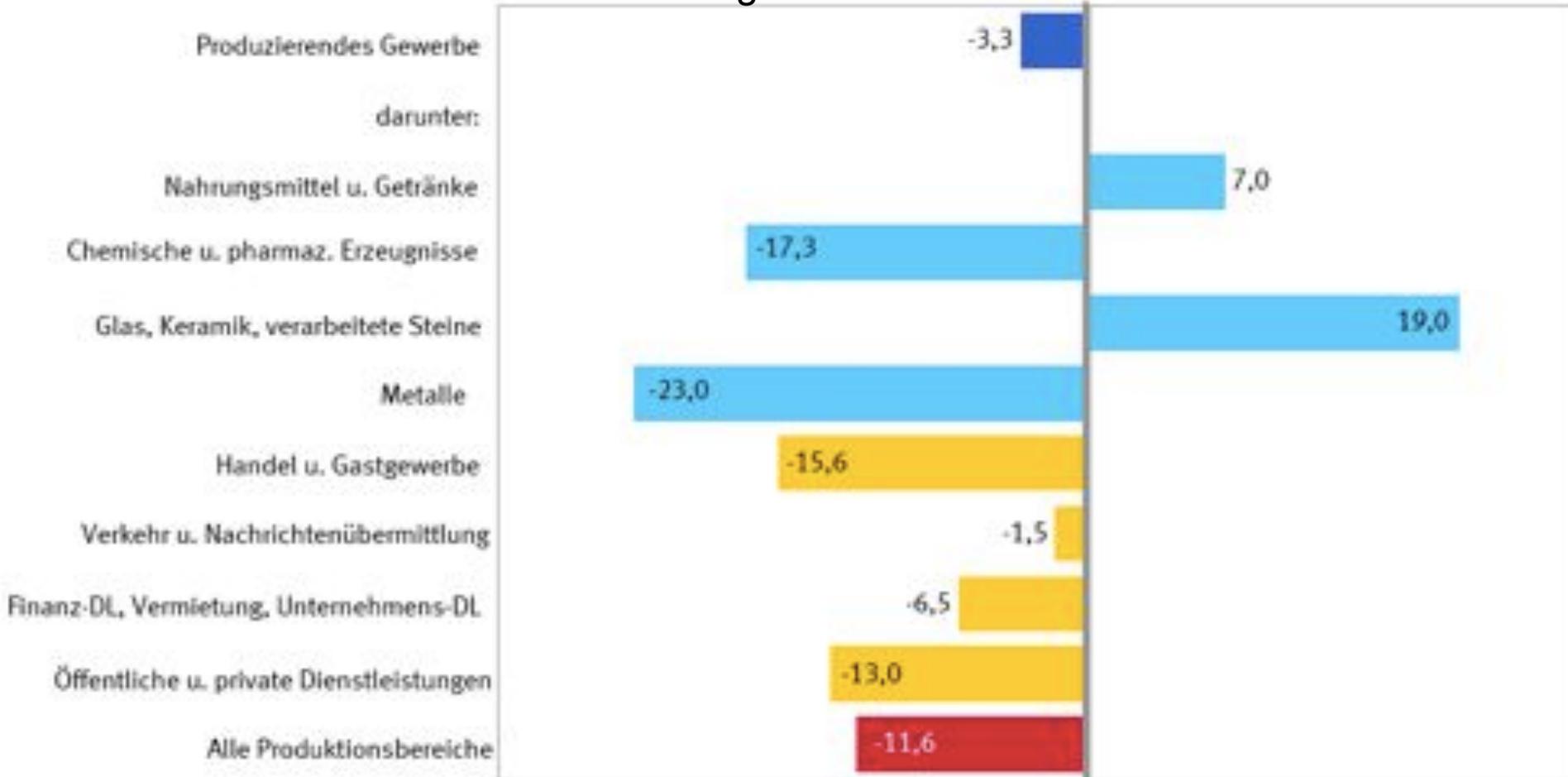
Quelle:
Statistisches
Bundesamt
2013

1 Das Ziel entspricht einer Senkung des Primärenergieverbrauchs um 20 % gegenüber 2008 (76,3) in 2020 bzw. um 50 % gegenüber 2008 (47,7) in 2050 (Energiekonzept).

Quelle: Statistisches Bundesamt, Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V.

Primärenergieintensität* nach Produktionsbereichen

Veränderung von 2000 nach 2009 in %

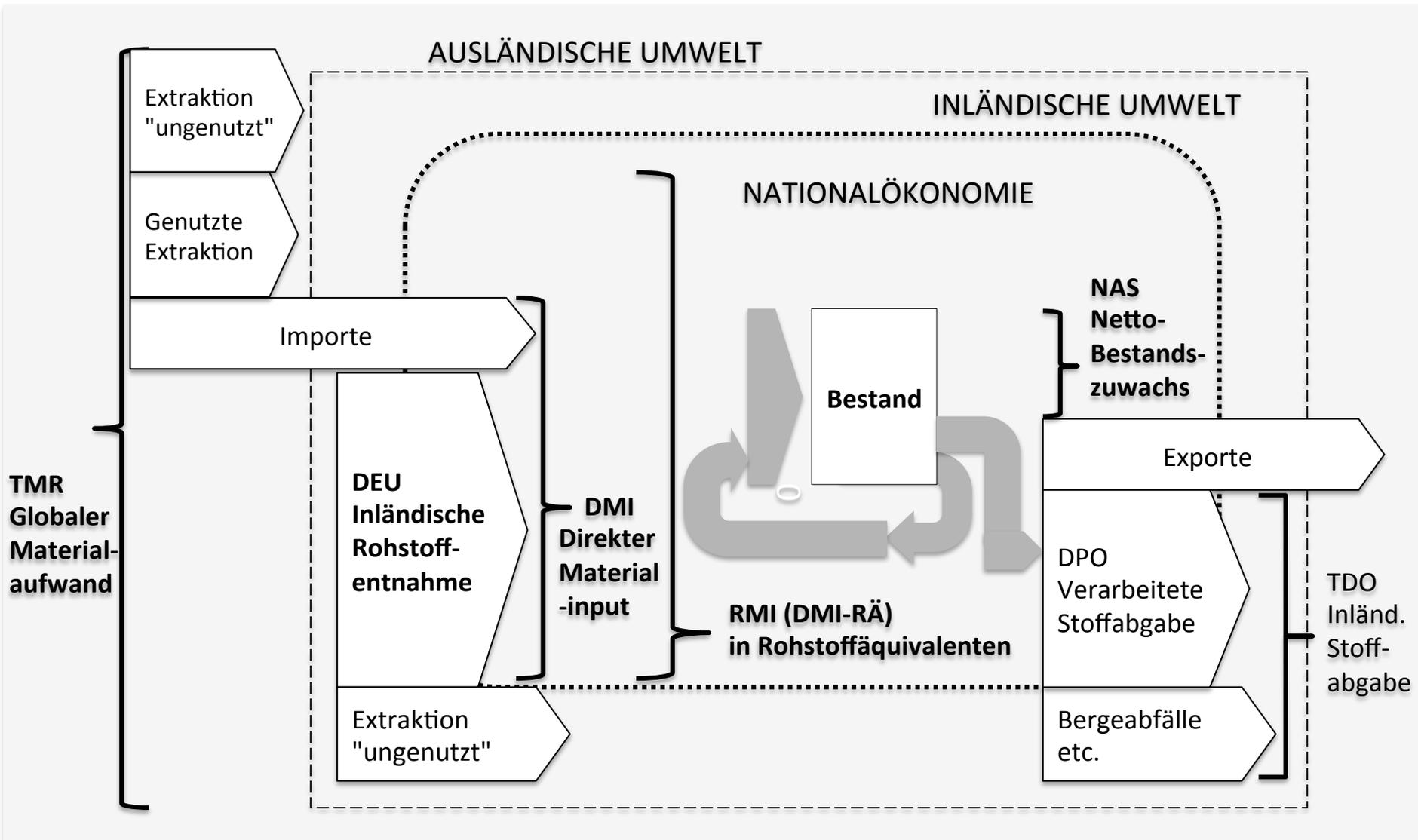


* Energieverbrauch (Mj) je 1 000 EUR Bruttowertschöpfung (preisbereinigt).

Quelle: DESTATIS 2012

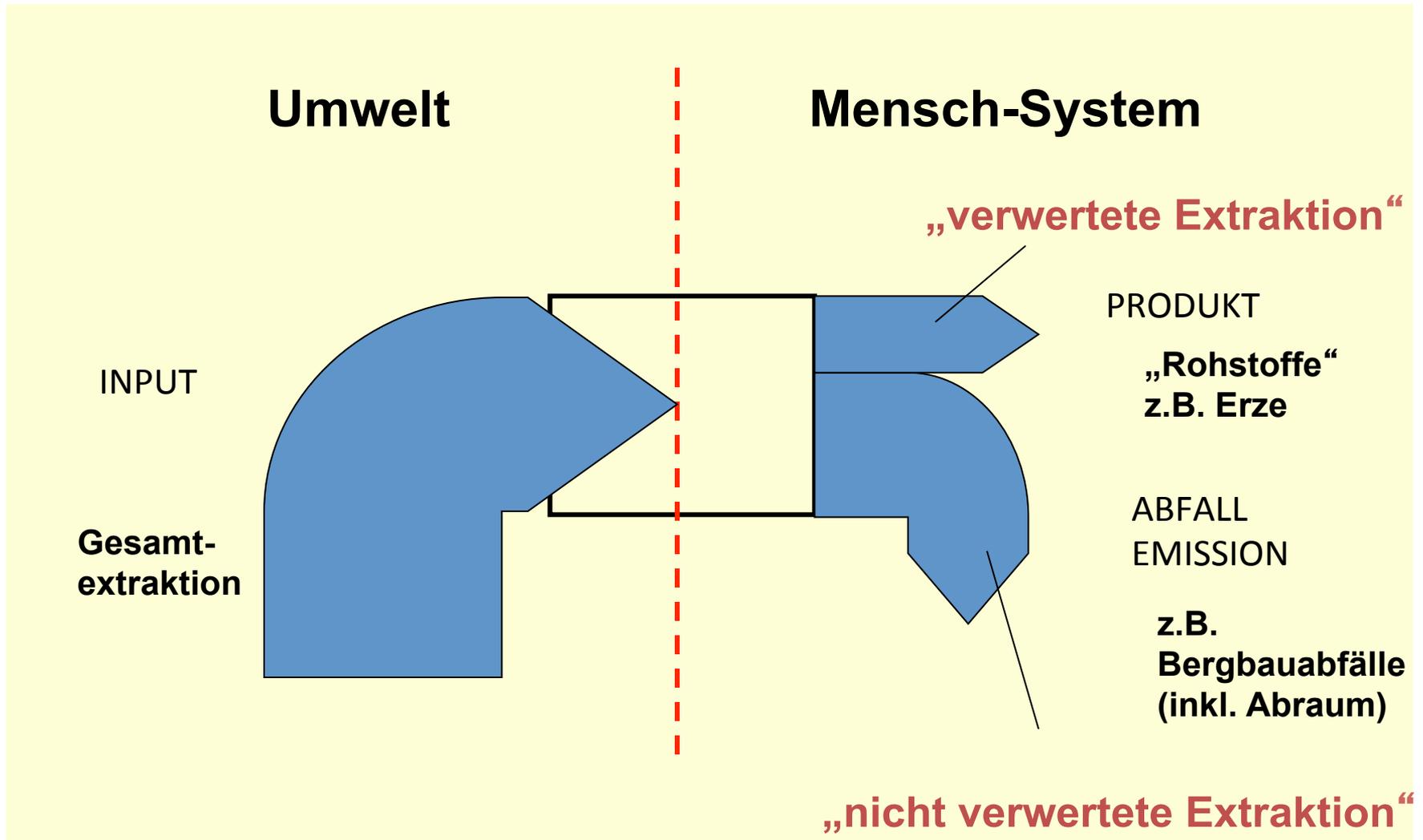
- Ressourceneffizienz steigern: Beweggründe und politische Ziele
- Die aktuellen Trends
- **Indikatoren des sozio-industriellen Stoffwechsels**
- Zukunftsfähiger Metabolismus: Erfordernisse und Optionen
- Strategien zur Erhöhung der Ressourceneffizienz
- Die Rolle des Recyclings
- Langfristoption: Carbon Recycling

Übersichtsschema der ökonomieweiten Materialflussanalyse

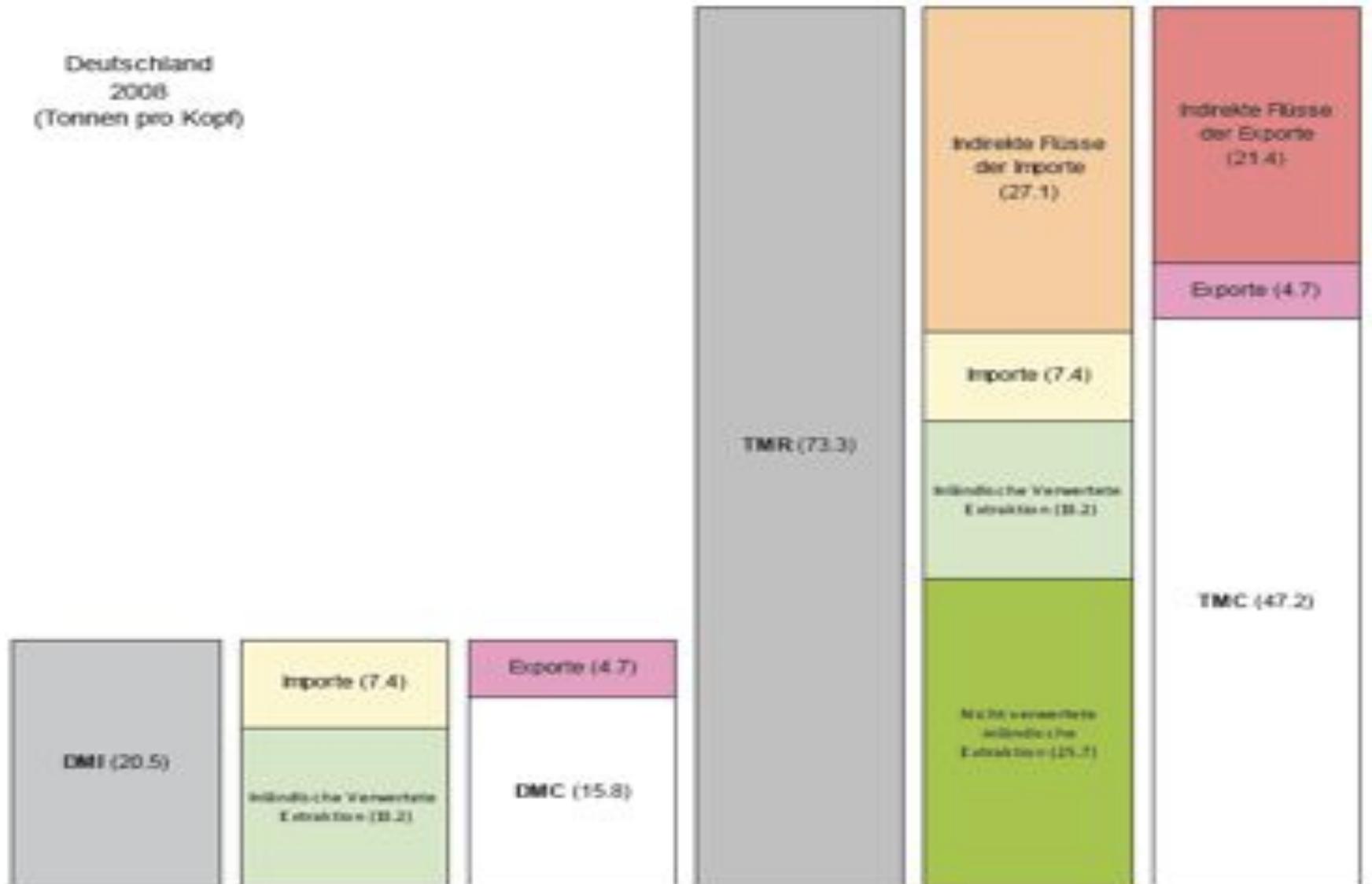


Was ist Primär-Material-Input ?

Ein Fluss über die Systemgrenze von....

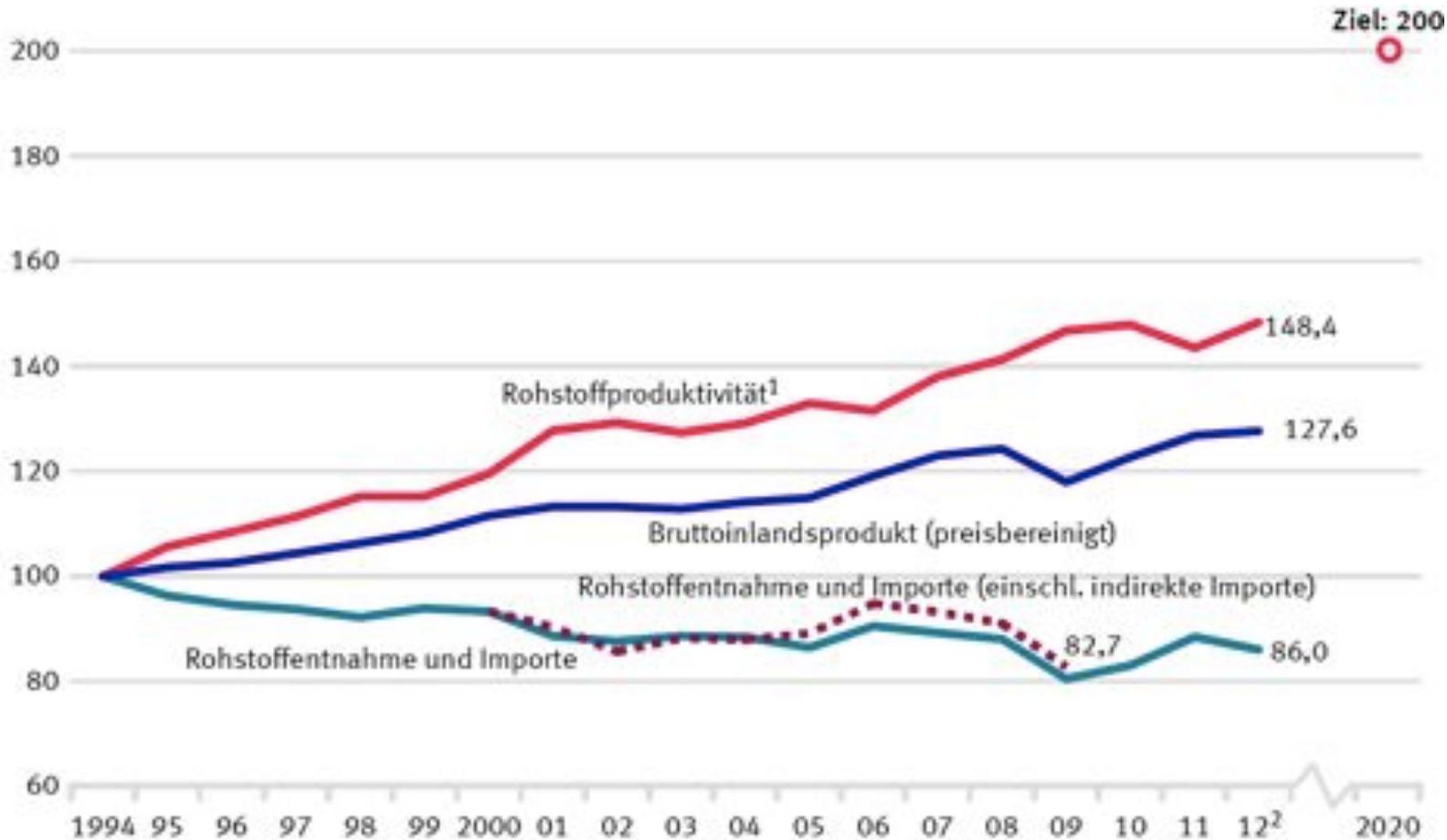


Input- und Verbrauchsindikatoren



Quelle: Wuppertal Institut (H. Schütz)

Rohstoffproduktivität und Wirtschaftswachstum



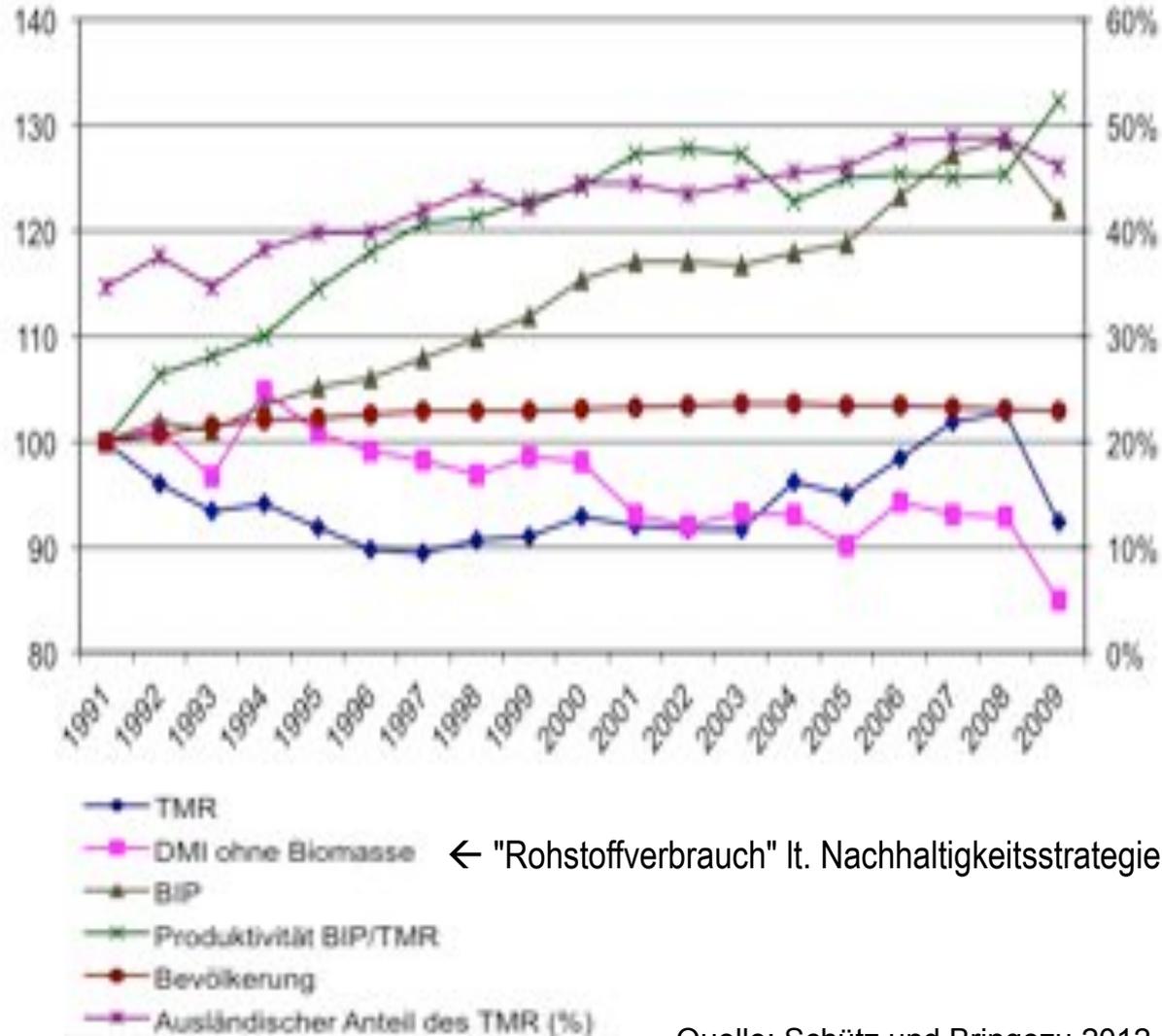
Quelle:
Statistisches
Bundesamt
2013

1 Abiotisch, 2 Vorläufige Daten.

- „Rohstoffproduktivität“ bildet Teil von Gesamter Ressourcenproduktivität ab
- DESTATIS arbeitet an einer schrittweisen Ausweitung

Stofflicher Ressourcenaufwand von Deutschland

- Globaler Materialaufwand (TMR) fiel nach der Wiedervereinigung, stieg dann langsam und brach 2009 konjunkturell bedingt ein
- Anstieg der Ressourcenproduktivität flachte vorher ab
- Vermehrter Einsatz ausländischer Ressourcen



← "Rohstoffverbrauch" lt. Nachhaltigkeitsstrategie

Quelle: Schütz und Bringezu 2012

Auswirkungen verschiedener Zielsetzungen auf den Minderungsbedarf für RMC Deutschlands – **alle Ressourcengruppen**

Gesamtwert IST 2008	Wert global	Wert EU-27	Wert DE
RMC (Mio. Tonnen)	66.775	8.628	1.831
RMC pro Person	9,9	17,3	22,3
Ziel: Rückkehr zum Niveau von 2000 und Gleichverteilung bis 2050 (vs. Halbierung)			
RMC (Mio. Tonnen)	49.923 (24.961)	2.739 (1.370)	374 (187)
RMC pro Person	5,2 (2,6)	5,2 (2,6)	5,2 (2,6)
Minderung RMC	25% (63%)	68% (84%)	Faktor 5: 80% (Faktor 10: 90%)

- bis 2050 wären im Durchschnitt ab 2008 1,9 bis 2,1 % Reduktion pro Jahr erforderlich
- da eine konstante prozentuale Minderung p.a. zu einer absolut immer kleiner werdenden Minderung führt, müsste man rechnerisch mit einer Minderungsrate von 3,7% bis 5,4% p.a. beginnen

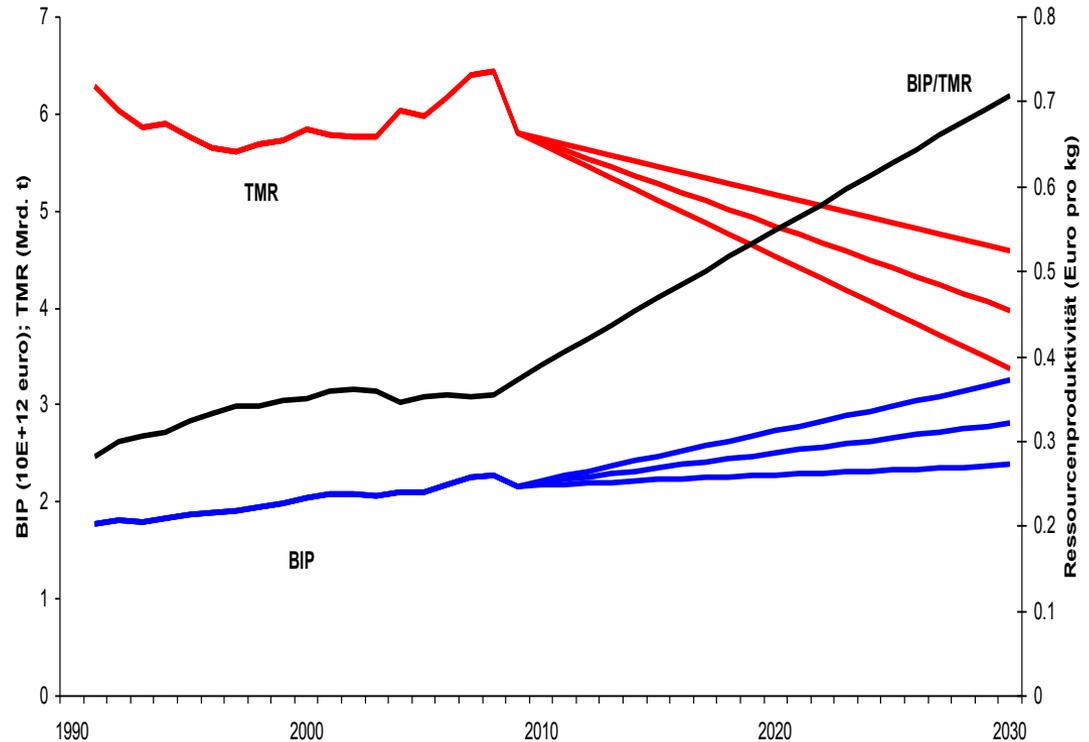
Zum Vergleich: Ziel 10 t TMC_{abiot}/Person würde 68% Reduktion für EU-27 und 77% für D bedeuten

	DMI		RMI		TMR
<i>SUMME</i>	83%	<i>SUMME</i>	83%	<i>SUMME</i>	86%
Sand und Kies	34%	Sand und Kies	29%	Braunkohle	19%
Rohöl, Kondensat und Flüssiggase	10%	Rohöl, Kondensat und Flüssiggase	9%	Sand und Kies	17%
Kalkstein und Gips	8%	Kalkstein und Gips	8%	Steinkohle	9%
Braunkohle	5%	Erdgas	5%	Rohöl, Kondensat und Flüssiggase	6%
Steinkohle	4%	Braunkohle	5%	Eisen	5%
Getreide	4%	Steinkohle	5%	Kalkstein und Gips	5%
Futterpflanzen	4%	Edelmetalle	4%	Kupfer	4%
Natursteine	3%	Getreide	3%	Andere fossile Produkte	3%
Erdgas	3%	Futterpflanzen	3%	Andere Produkte aus Metalle	3%
Holz	3%	Eisen	3%	Getreide	3%
Geweidete Biomasse	3%	Kupfer	3%	Zinn	2%
Eisen	3%	Natursteine	3%	Andere Produkte	2%
		Holz	2%	Holz	2%
				Futterpflanzen	2%
				Andere Produkte aus Biomasse	2%
				Natursteine	2%

**Bedeutsamste Rohstoffe in DMI, RMI und TMR:
Prozentuale Anteile am jeweiligen Gesamtindikator.
EU-27 im Jahr 2008**

Handlungsziel zur Erreichung eines verminderten Ressourcenverbrauchs

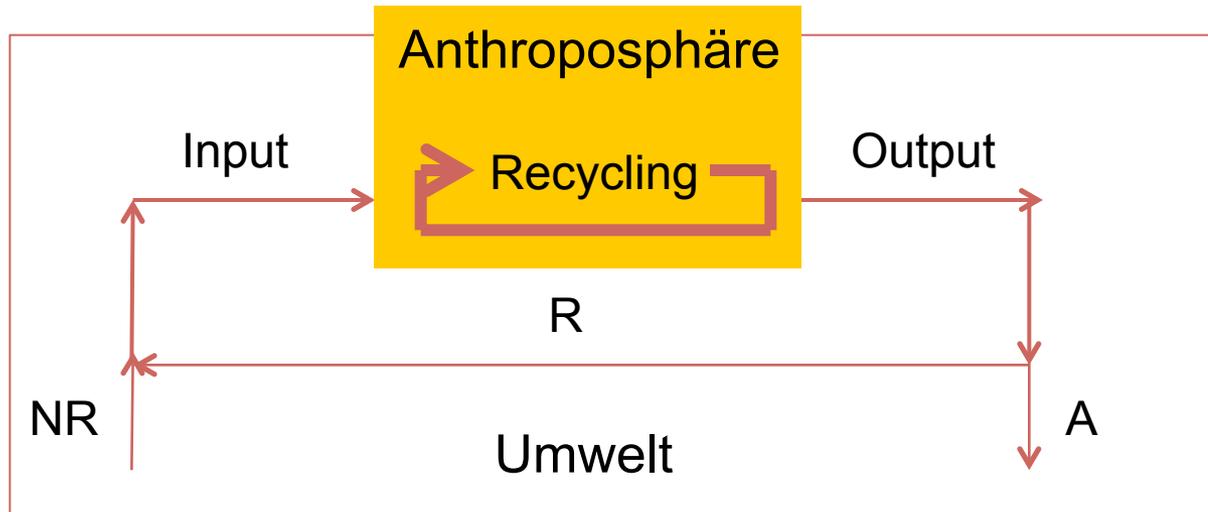
- Verdoppelung der Ressourcenproduktivität (BIP/TMR) von 2010 bis 2030
- Bei gegebener Steigerungsrate der RP würde ein eher moderates Wirtschaftswachstum schneller zu einer absoluter Aufwandsminderung führen



BIP Wachstum p.a.		0.5 %	1.5 %	2.5 %
TMR Reduktion (2008-2030)		42 %	31 %	21 %

- Ressourceneffizienz steigern: Beweggründe und politische Ziele
- Die aktuellen Trends
- Indikatoren des sozio-industriellen Stoffwechsels
- **Zukunftsfähiger Metabolismus: Erfordernisse und Optionen**
- Strategien zur Erhöhung der Ressourceneffizienz
- Die Rolle des Recyclings
- Langfristoption: Carbon Recycling

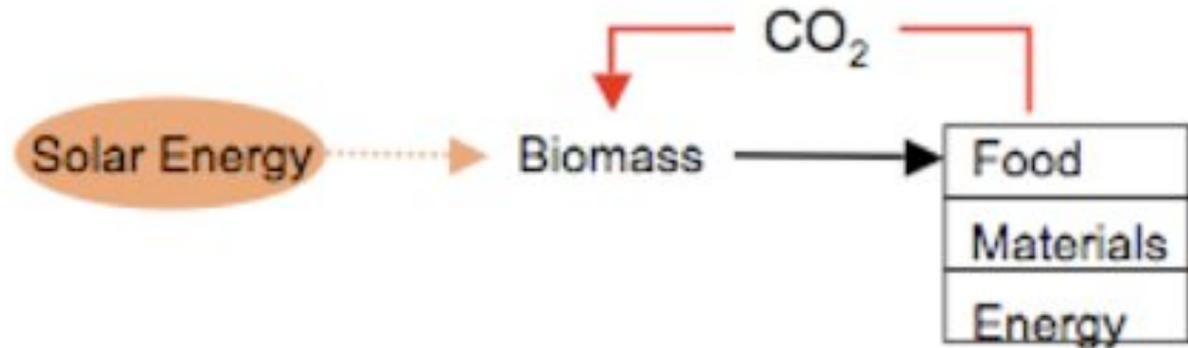
Zielvorstellung eines zukunftsfähigen Metabolismus



- Stoffversorgung beruht zum Großteil auf *innerhalb* der Anthroposphäre regenerierten Stoffflüssen (Recycling)
- Energieversorgung erfolgt über regenerative Quellen (Solar, Wind, etc.)
- Stofflicher Input und Output bleiben unterhalb kritischer Belastungsschwellen
- Die Anthroposphäre wächst nur soweit, dass wesentliche Ökosystemdienstleistungen nicht verloren gehen

Historische Phasen des sozio-industriellen Metabolismus

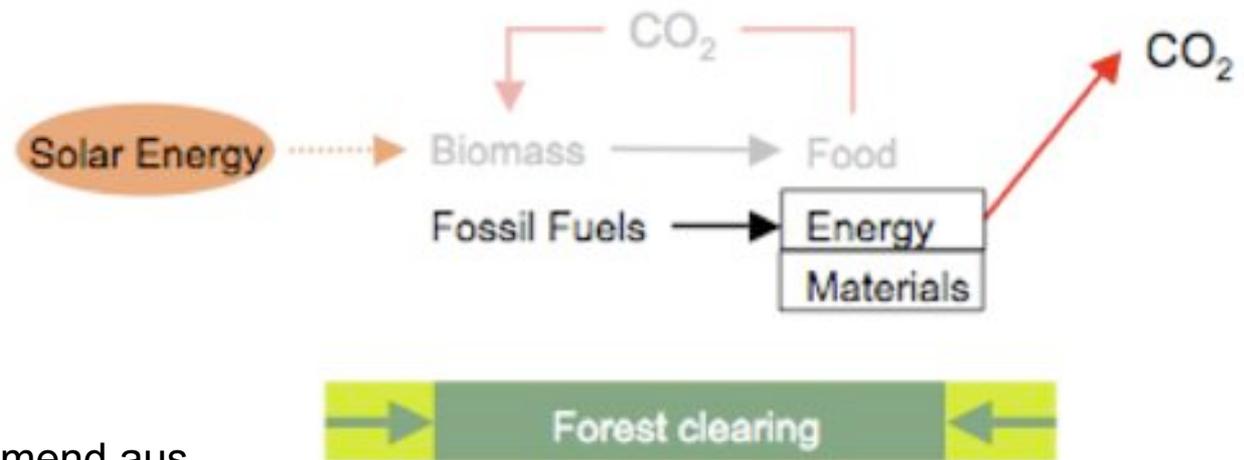
Jäger und Sammler werden sesshaft – Ackerbau beginnt



- Nahrung, Energie und Materialien überwiegend aus Biomasse
- Landschaft wird kolonisiert, „Raum“ geschaffen durch Rodung

Historische Phasen des sozio-industriellen Metabolismus

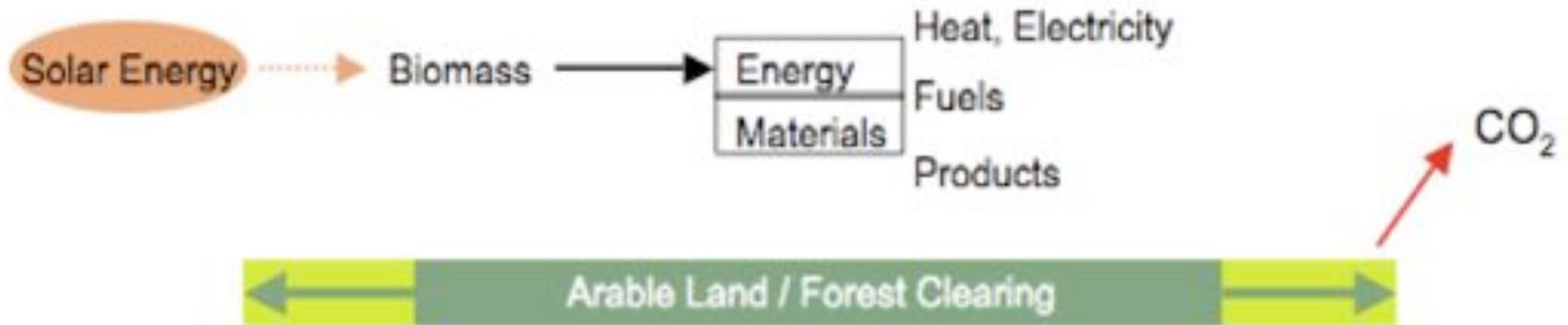
Kohle und Dampfmaschine: die industrielle Ära



- Energie wird zunehmend aus fossilen Quellen gewonnen
- C aus Erdkruste wird in Atmosphäre verlagert
- Wälder erholen sich

Gegenwart

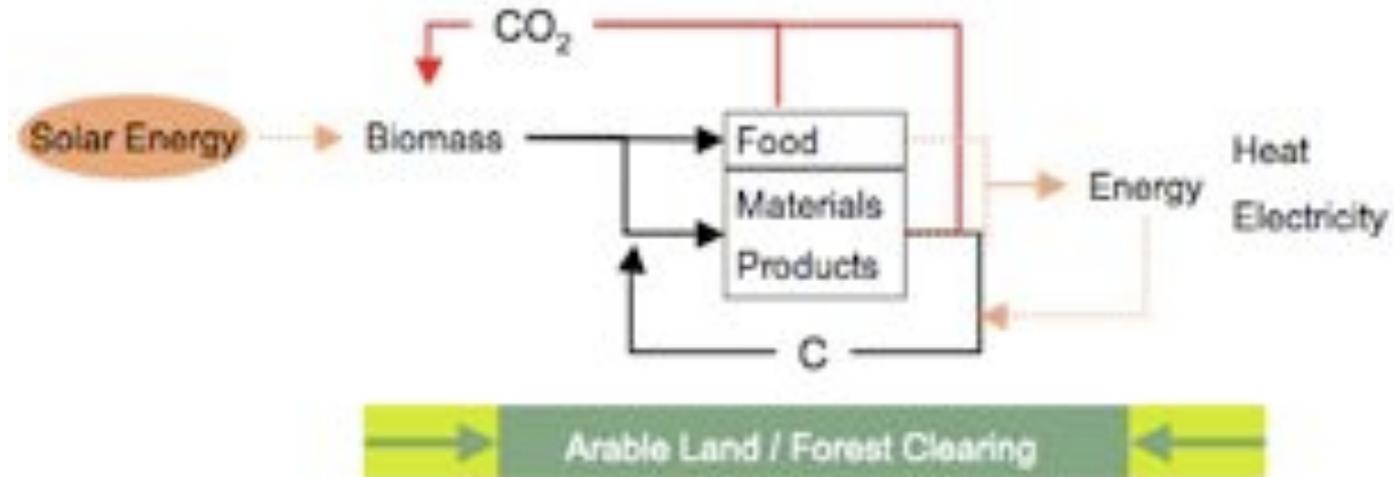
Wachsende Nachfrage nach Non-Food Biomasse



- Wachsende Nachfrage nach Nahrung, Biokraftstoffen und Biomaterialien führt zur Ausdehnung der Ackerfläche
- Dadurch wird – neben den Emissionen fossilen Ursprungs – zusätzlich C in Form von CO₂ freigesetzt

Optionen der Energie- und Rohstoffversorgung

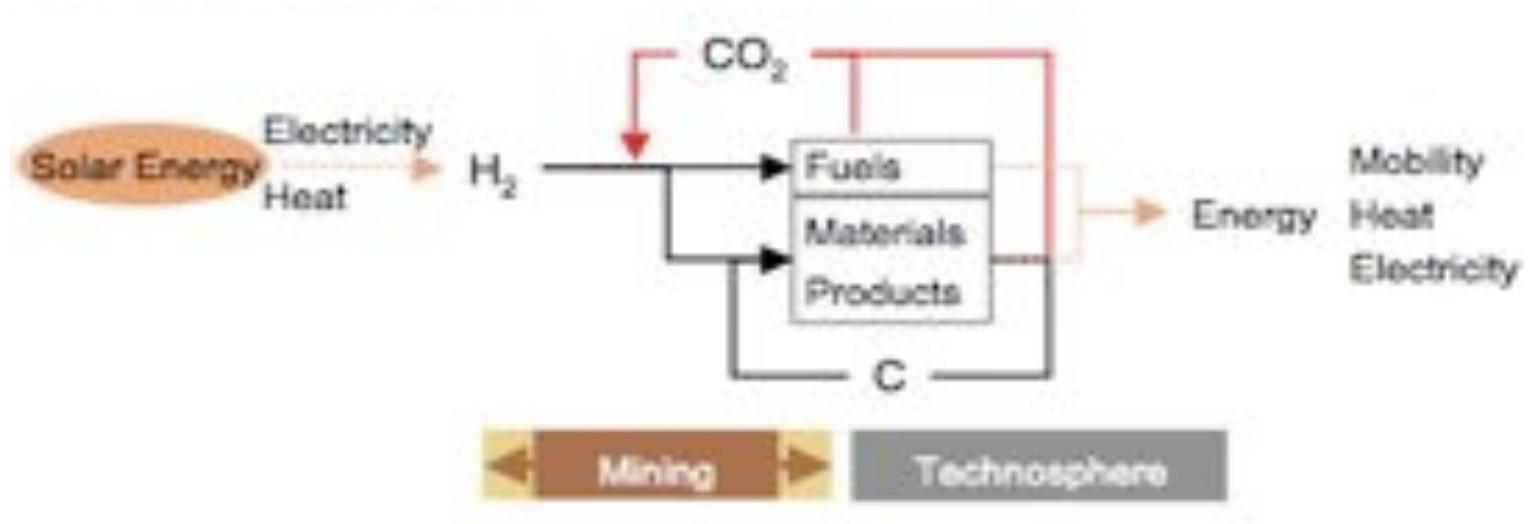
Ressourceneffizienz und Carbon Recycling



- Effiziente Nutzung von Rohstoffen und Produkten mindert Bedarf
- Rückführung von Kohlenstoff (Abfall/Emissionen) als Basis für Grundwerkstoffe
- Entlastung natürlicher Ökosysteme

Optionen der Energie- und Rohstoffversorgung

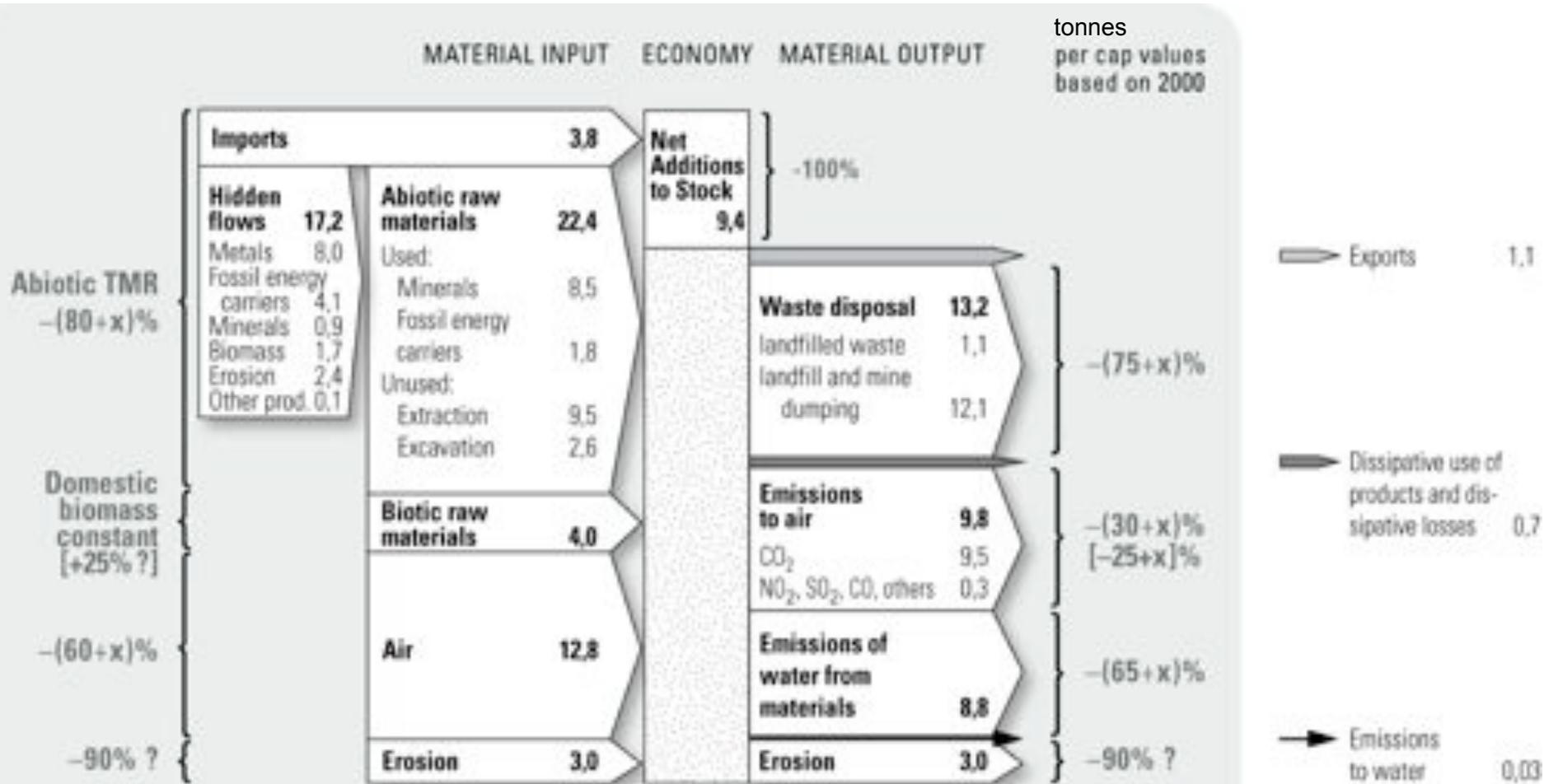
Langfristig: Industrielle Photosynthese



- Aufnahme von CO₂ aus der Luft
- Solarenergie (od. Wind)
- Verstärkte Nachfrage nach Mineralien (für Technologien)

Der sozio-industrielle Metabolismus der EU (Übersicht)

mit Zielen nachhaltiger Entwicklung



Source: Stefan Bringsenz
H. Schütz 2009

- Ressourceneffizienz steigern: Beweggründe und politische Ziele
- Die aktuellen Trends
- Indikatoren des sozio-industriellen Stoffwechsels
- Zukunftsfähiger Metabolismus: Erfordernisse und Optionen
- **Strategien zur Erhöhung der Ressourceneffizienz**
- Die Rolle des Recyclings
- Langfristoption: Carbon Recycling

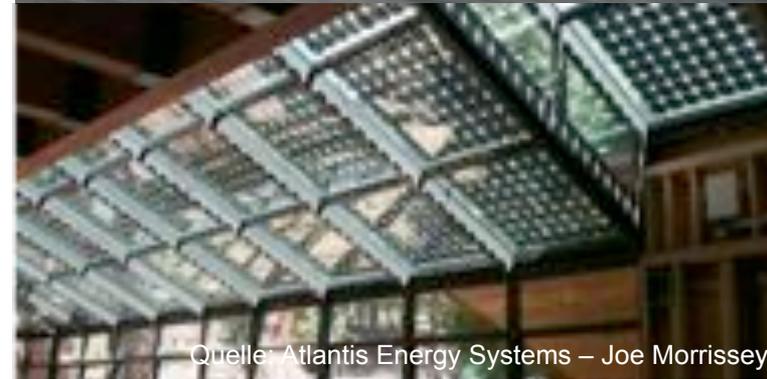
Vier Visionen für ein nachhaltiges Ressourcenmanagement

- Ressourceneffiziente und recyclingbasierte Industrie
- „Steady stocks societies“ (Die "beständige Gesellschaft")
- Solarisierte Infrastrukturen
- Balancierte Bio-ökonomie und Bionikonomie

Source: Bringezu & Bleischwitz 2009



Quelle: ETH



Quelle: Atlantis Energy Systems – Joe Morrissey



Quelle: UNEP 2014

Ressourceneffiziente und recyclingbasierte Wirtschaft

Characteristika

Balance zwischen **De-materialisierung** und **Re-materialisierung**

Wieso Balance?

Wird Material eingespart, fällt weniger rezyklierbarer Abfall an

- **Dematerialisierung** kann unterschiedlich aufgefasst werden
 - a. weniger Materialeinsatz für bestimmte oder alle Produkte (unabhängig von der Art der Materialien, rezykliert oder primär)
 - b. weniger Primärmaterialeinsatz
 - für bestimmte Produkte lebenszyklusweit
 - der gesamten Wirtschaft

Abfallwirtschaft lebt vom Abfall

um so besser, je kontinuierlicher er anfällt

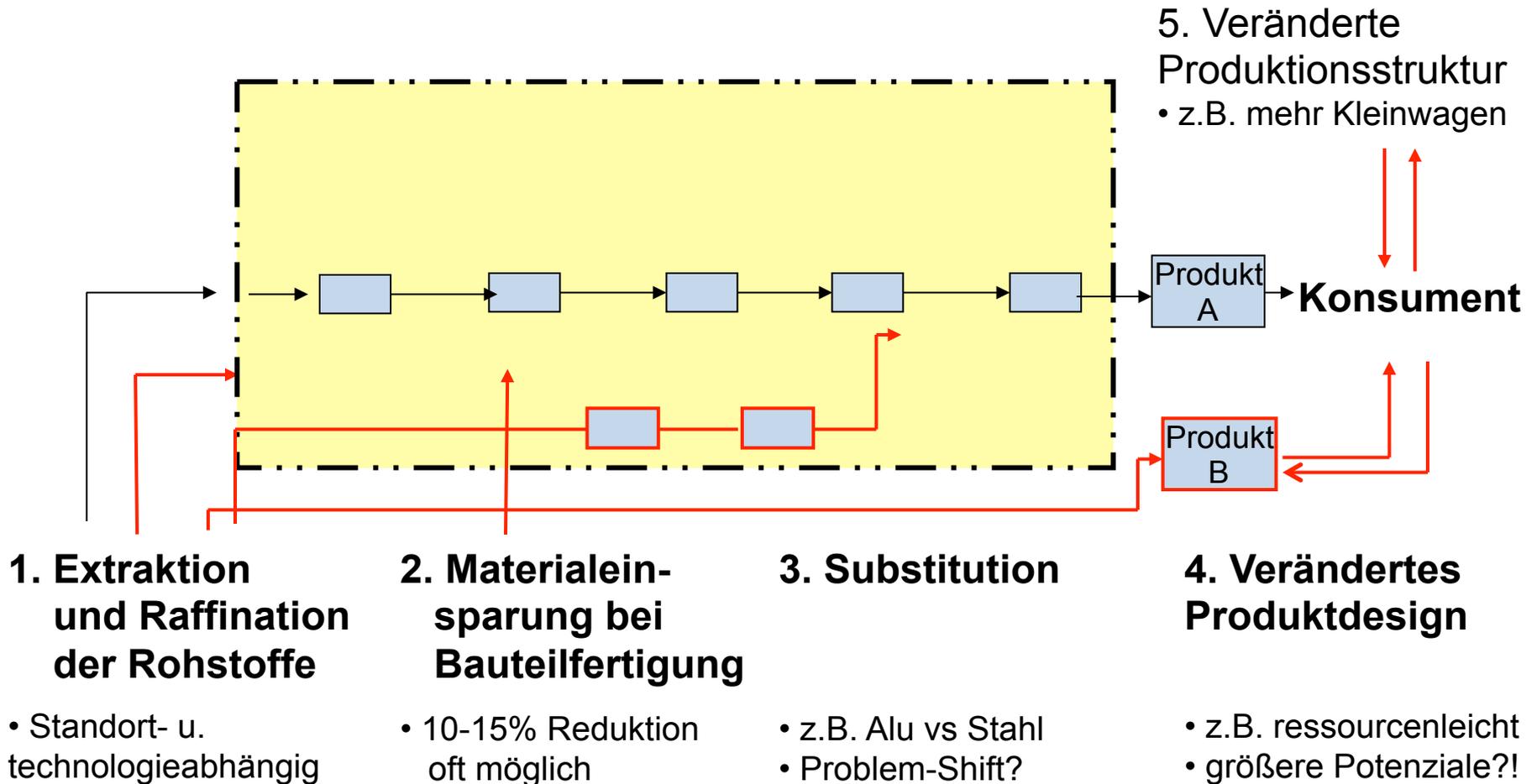
- **Rematerialisierung:** synonym zu Recycling

Dematerialisierung kann Recycling erschweren

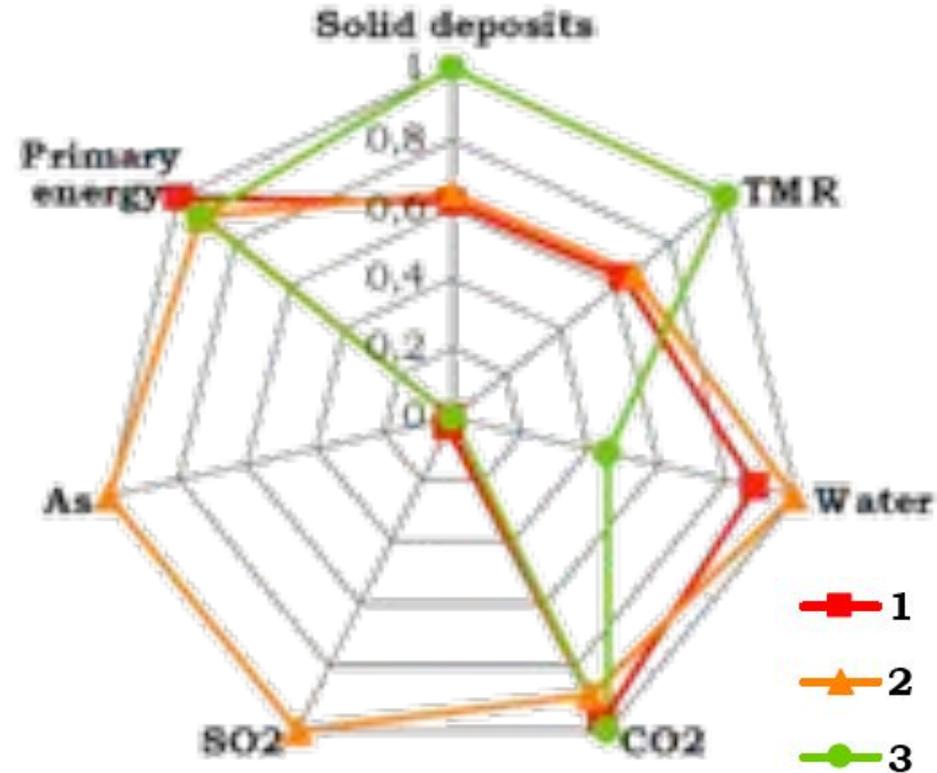
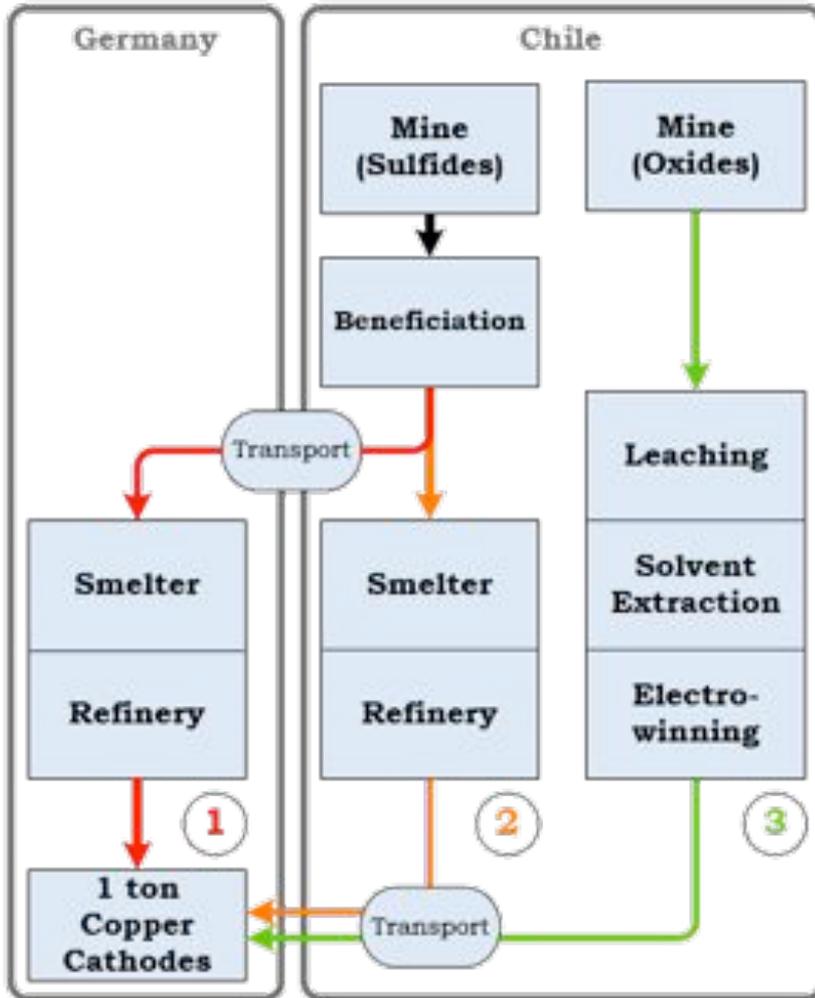
Also besonders nicht Rezyklierbares einsparen

Analyse technologischer Innovationspotenziale: Wo lässt sich der Ressourcenwand wirksam vermindern?

Übersicht einer Produktionskette



Extraktion und Raffination: Vergleich von Produktionsrouten von Kupferin Chile und Deutschland



Je nach Minentyp, Abgrabungs- u. Aufbereitungstechnologie untersch. Umweltbelast.

-> lokale Verbesserungspotenziale
-> Auswahl der Bezugsquellen ?!

Source: Schüller, Estrada, Bringezu 2008

Effizienzsteigerung in Produktion und Logistik

Praxisbeispiele von Material-, Wasser-, Treibstoffeinsparungen



Quelle: Wikimedia - Wikiuka

Polstermöbel
Lackverbrauch: - 20%
bei gleichzeitigem
Qualitätsgewinn



Quelle: Wikimedia - SRuhnke

Komponentenherstellung
Spülwasserbrauch: -84%

Quelle: DEMEA, EFA NRW



Quelle: Bersch & Fratscher GmbH

Farbspritzpistole : - 50%
Farbe und
Lösungsmittel

Getränke
Spülwasserverbrauch: ca.
-40%



Quelle: PhotoDisc

Rohrleitungsbau
Verschnittwiederverwendung
+20%
=> Materialverbrauch -12 t/a



Quelle: PhotoDisc

Internationale Logistik
SkySails : - 50% Diesel



Copyright SkySails

Materialeffizienzmaßnahmen in der Produktion:

Beispiele (Deutscher Materialeffizienzpreis)



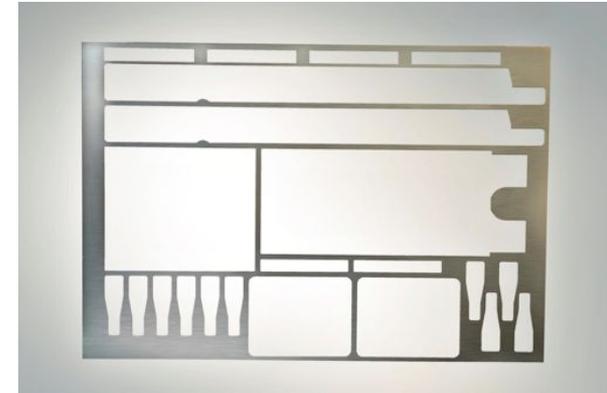
(Quelle: prius consult gmbh)

MKG Metall- und Kunststoffverarbeitungsgesellschaft mbH, Lotte:

Bei LKW-Aufbauten Einsparung von 2 Millionen Nieten/Jahr durch Klebverfahren. Kostenreduktion **8-10%**. (demea)

Deutsche Mechatronics GmbH, Mechernich:

12 % weniger Materialluste durch CAD Zuschnitt. (demea)



(Quelle: Deutsche Mechatronics GmbH)



(Quelle: EFA NRW)

MITEX Gummifabrik Hans-Knott GmbH, Erkrath:

Neue Beschichtung von Walzen, weniger Haft- und Lösemittel und Ausschuss: Pro Jahr u.a. 2,9 Millionen m² Trägerschutzfolie, 1,400 kg Haft- und Lösemittel und 7,600 kg Schneidabfälle eingespart. **Kosteneinsparung von ca. 50,000 € im Jahr.** (demea)

Substitution: Potenziale der Ressourceneinsparung?

Beispiel Automobilbau

Golf A4

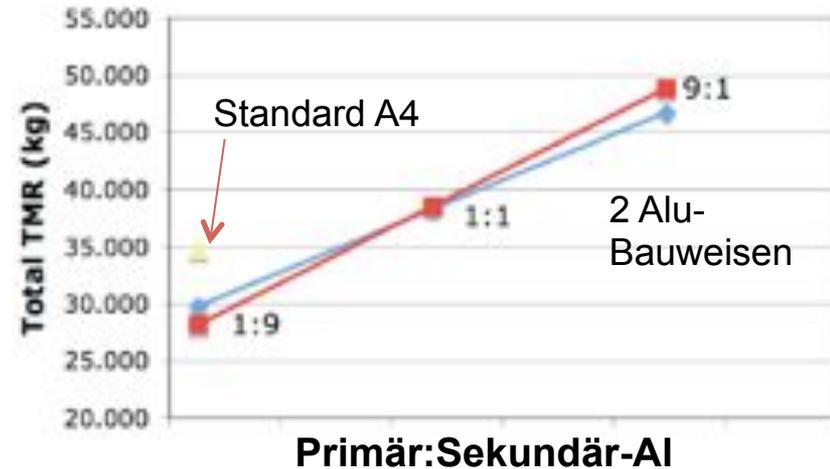


Aluminium vs Stahl

Abhängig vom Primär: Sekundär
Verhältnis bei Al

1:9	15% bis 19% Einsparung TMR gegenüber Stahl
1:1	-9% to - 11%
9:1	-34% to - 41%

➤ Materialsubstitution kann Probleme verlagern



v.d. Sand et al. / WI 2007

- Nur rezykliertes Aluminium schont Ressourcen
- Problem:
 - a) im Automobilbau kann RC-Al bislang nur für Gussteile eingesetzt werden
 - b) Substitution für Einzelprodukte gesamtwirtschaftlich ohne Effekt, solange die Nachfrage das Angebot von RC-Material übersteigt.

Produktdesign: Potenziale der Ressourceneinsparung?

Beispiel Automobilbau

mittelfristig

Loremo:

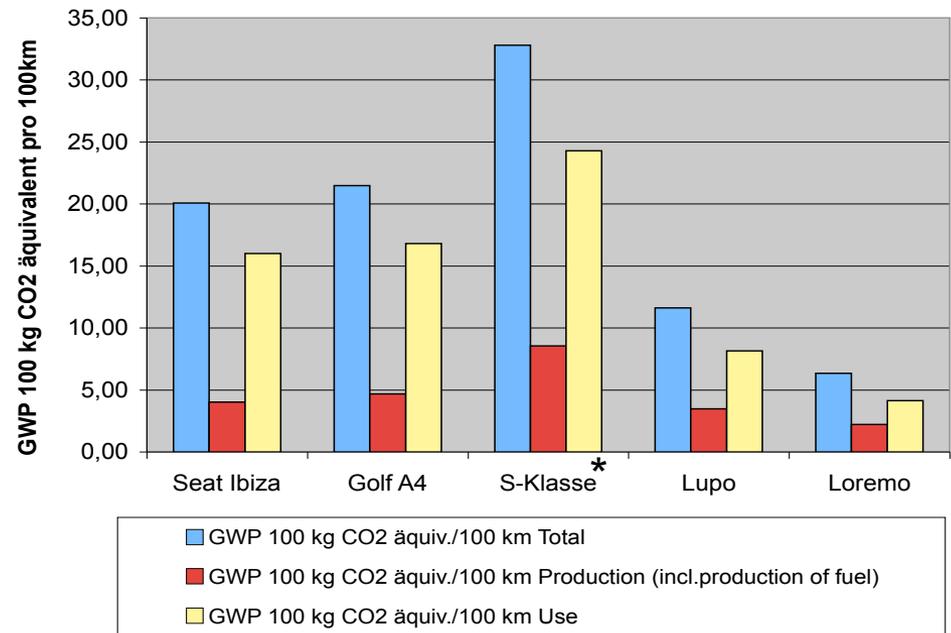
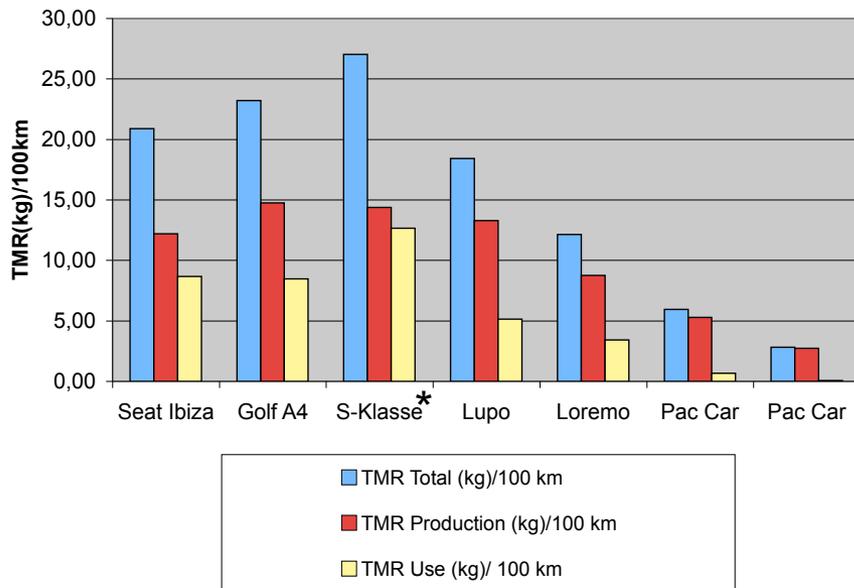
450 kg
1.5 l/100km



langfristig - Extremvariante

PAC Car II:

32 kg
4.8 g hydrogen/100km



* Laufleistung: 300.000 km Daimler Chrysler AG; andere 150.000 km

v.d. Sand et al. / WI 2007

Wo sind die größten Potenziale der Ressourceneinsparung?

Beispiel Automobilbau

Veränderte Produktionsstruktur



Quelle: Wikimedia – Sven Storbeck

100% Lupo

31% Einsparung TMR vs. Status Quo Flotte



Quelle: Wikimedia – LSDSL

100% Loremo

54% Einsparung TMR vs. Status Quo Flotte



Quelle: ETH

100% Pac Car

Bis zu 89% Einsparung TMR vs. Status Quo Flotte

- Dematerialisiertes Produktdesign kann erhebliche Potenziale für Ressourcen- und Klimaschutz erschließen
- Aber: Veränderung der Nachfrage (Re-Bound) kann Effizienzsteigerungen in der Produktion (zum Teil) kompensieren

→ ohne Veränderungen in Produktion und Konsum keine wesentliche Ressourcenentlastung möglich

Immer noch hoch aktuell: Die Idee von MIPS

Material Input pro Service Einheit

$$\text{MIPS} = \frac{\text{Material Input}}{\text{Serviceeinheit}}$$



Friedrich "Bio" Schmidt-Bleek

MI : lebenszyklus-weiter Primärmaterialaufwand

Serviceeinheit: Funktion oder Dienstleistungseinheit von Produkten, Infrastrukturen, Technologiesystemen

Die Service oder funktionale Einheit...

... entspricht dem Zweck, wofür ein Produkt genutzt wird.

Zum Beispiel	kann bereitgestellt werden durch
gereinigte Wäsche	Waschmaschine, von Hand Waschen, neue Textilien kombiniert mit neuen Reinigungsprodukten und -prozessen
Personenkilometer (pkm) Transport	privater Pkw, Mietwagen, Taxi, Bus, Metro, Zug, Fahrrad etc.
Aufbewahrung frischer Lebensmittel	Kühlschrank

Was ist die Service-Einheit eines Kühlschranks?!

Beispiel:

die andere Service-Erfüllungsmaschine - FRIA

... ein Mindestvolumen,
mit einer Maximaltemperatur,
dunkel und in der Nähe der
Küche

- andere technologische Lösungen ermöglichen höhere Steigerungen der Ressourceneffizienz

Kühlkammer, in Außenwand von Gebäuden integriert (Nutzung kühler Außenluft), modular aufgebaut

**→ Halbierter Energieverbrauch
ein Sechstel des TMR im Vergleich zu Kühlschränken**



Quelle: U. Tischner

Anwendung des MIPS-Konzepts: Optimierungsstrategien

Beispiele für Verminderung des Material-Inputs

- Produktdesign (z.B. Leichtbau, Demontierbarkeit, Rezyklierbarkeit)
- Materialwahl (z.B. Auswahl von Rezyklaten, geringe Materialvielfalt)
- Auswahl und Einsatz von Produktionsmitteln (z.B. energieeffiziente Maschinen, Wasserkreislaufführung)
- Verringerung von Verschleiß und Wartungshäufigkeit (z.B. durch korrosionsbeständige und abriebfeste Oberflächentechnologien)
- Verminderung von Transportwegen (z.B. optimierte Logistik)
- Ressourcenleichte Verpackungen (z.B. Mehrwegsysteme)

Anwendung des MIPS-Konzepts: Optimierungsstrategien

Beispiele für die Erhöhung der Service-Einheit

- Gebrauch, Nutzung (z.B. lange Lebensdauer, Mehrfach- oder Zusatznutzen, Sparwaschgänge bei Waschmaschinen, Abschalloptionen für Stand-by-Geräte)
- Wartung, Instandhaltung (z.B. Austauschmöglichkeiten für Verschleißteile, Upgrade-Möglichkeiten)
- Wieder- und Weiterverwendbarkeit (z.B. Mehrfachnutzungen von Messeständen, flexible Innenwände bei Gebäuden, Rücknahme u. Wiederverwendung von Lösungsmitteln)
- Dienstleistungsangebote anstelle von reinem Warenkauf (z.B. Vermietung von Geräten, Maschinen und Fahrzeugen)

- Ressourceneffizienz steigern: Beweggründe und politische Ziele
- Die aktuellen Trends
- Indikatoren des sozio-industriellen Stoffwechsels
- Zukunftsfähiger Metabolismus: Erfordernisse und Optionen
- Strategien zur Erhöhung der Ressourceneffizienz
- **Die Rolle des Recyclings**
- Langfristoption: Carbon Recycling

Welche Produkte können nach ihrem Einsatz potenziell recycelt werden?

Die 12 ressourcenintensivsten Branchen in Deutschland

NACE Rev.1 sect. ¹	Produktionssektor	TMR in 2000	
		in Mio. t	in %
45	Bauleistungen	964	18
15	Nahrungs- und Futtermittel, Getränke	465	9
27	Metalle und Halbzeug daraus	459	9
40	Energie (Elektro, Gas), DL der Energieversorgung	405	8
34	Kraftwagen und Kraftwagenteile	335	6
24	Chemische Erzeugnisse	269	5
29	Maschinen	211	4
10	Kohle, Torf	188	4
1	Erzeugnisse der Landwirtschaft, Jagd	183	3
23	Kokerei-, Mineralölprodukte, Spalt-, Brutstoffe	157	3
26	Glas, Keramik, bearbeitete Steine und Erden	157	3
14	Steine und Erden, sonstige Bergbauerzeugnisse	136	3
	Restliche Produktionssektoren	1.360	26
	Alle Produktionssektoren insgesamt	5.843	100

+	
(+)	Landwirtschaft
++	
-	
+	
-/+	Seifen / Polymere
+	
-	
(+)	Landwirtschaft
-	
+ / (-)	Glas / Keramik
+ / -	Kies / Düngersalze

Übersicht über die Metallgruppen des periodischen Systems

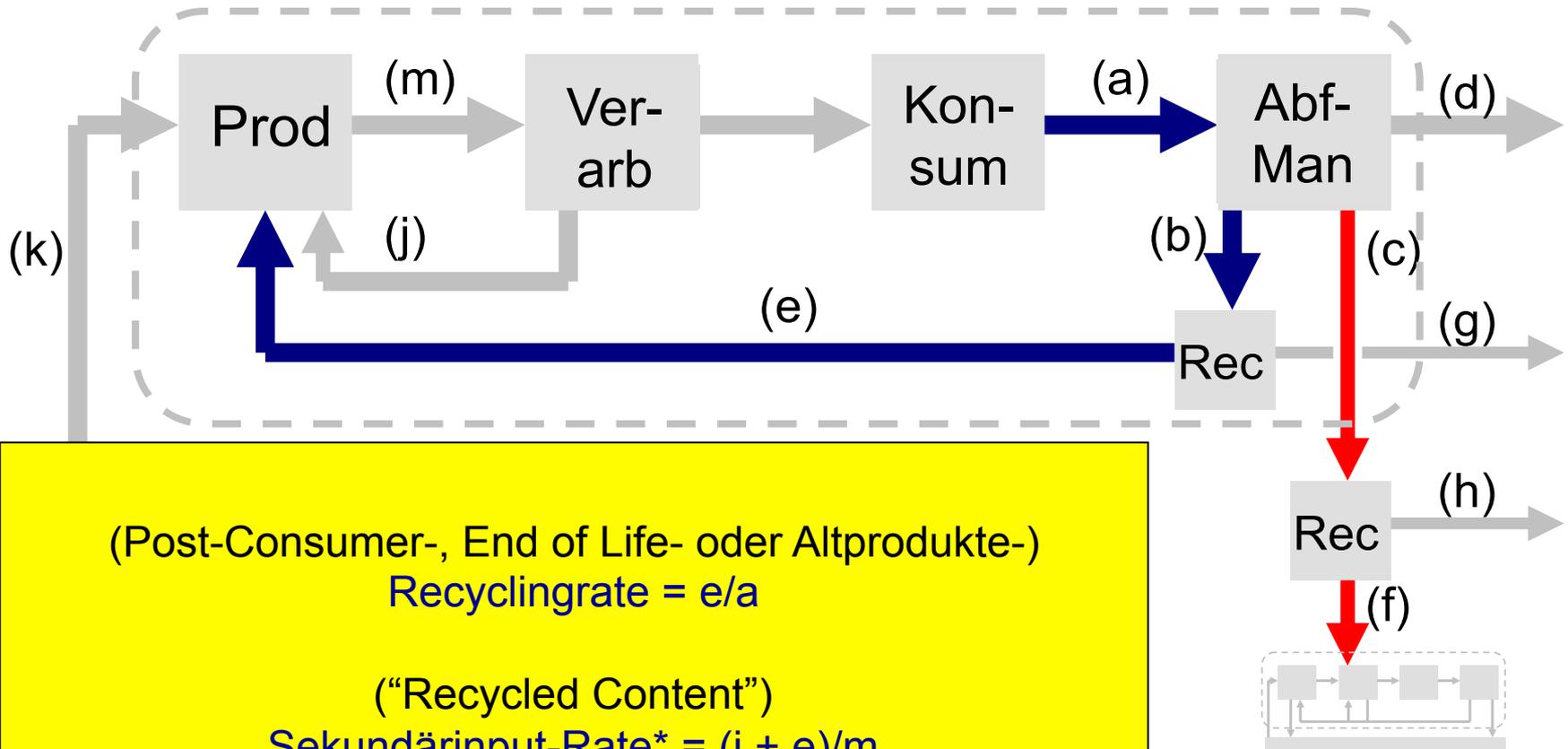
Quelle: UNEP (2011) Berichte des IRP zu Global Metal Flows
siehe <http://www.unep.org/resourcepanel/>

1	H																	2	He																
3	Li	4	Be											5	B	6	C	7	N	8	O	9	F	10	Ne										
11	Na	12	Mg											13	Al	14	Si	15	P	16	S	17	Cl	18	Ar										
19	K	20	Ca	21	Sc	22	Ti	23	V	24	Cr	25	Mn	26	Fe	27	Co	28	Ni	29	Cu	30	Zn	31	Ga	32	Ge	33	As	34	Se	35	Br	36	Kr
37	Rb	38	Sr	39	Y	40	Zr	41	Nb	42	Mo	43	Tc	44	Ru	45	Rh	46	Pd	47	Ag	48	Cd	49	In	50	Sn	51	Sb	52	Te	53	I	54	Xe
55	Cs	56	Ba	57-71		72	Hf	73	Ta	74	W	75	Re	76	Os	77	Ir	78	Pt	79	Au	80	Hg	81	Tl	82	Pb	83	Bi	84	Po	85	At	86	Rn
87	Fr	88	Ra	89-103		104	Rf	105	Db	106	Sg	107	Sg	108	Hs	109	Mt	110	Ds	111	Rg	112	Uub	113	Uut	114	Uug	115	Uup	116	Uuh	117	Uus	118	Uuo

57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
La	Ce	Pr	Nd	Pu	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

- Eisenmetalle
- Nichteisenmetalle
- Edelmetalle
- Spezialmetalle

Indikatoren des Recyclings



(Post-Consumer-, End of Life- oder Altprodukte-)
 Recyclingrate = e/a

(“Recycled Content”)
 Sekundärinput-Rate* = $(j + e)/m$

*Verluste des Prozesses Prod(uktion) werden hier vernachlässigt
 Generell: “Sekundärinput-Rate” = $(j + e)/(k + j + e)$

Source: Graedel et al. 2011

Weltweite Post-Consumer Recyclingraten

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	*	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	**	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Uub	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	(117) (Uus)	118 Uuo

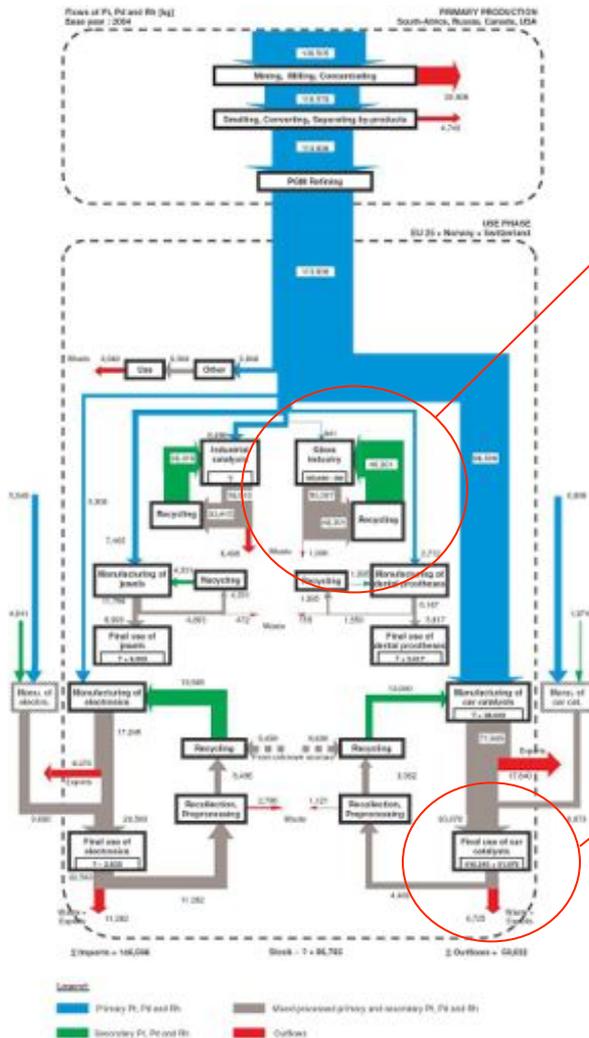
* Lanthanides	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
** Actinides	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr



Source: T.E. Graedel et al., Journal of Industrial Ecology, in press, 2011

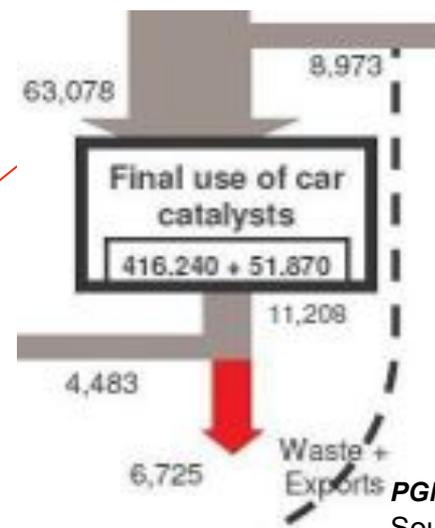
Materialflusssystem: Platin-Gruppen-Metalle (PGM) in Europa

(Platin, Palladium, Rhodium)



PGM in Glasindustrie:

- fast geschlossener Kreislauf
- nur 0,5 % des europäischen Primärinputs



PGM in Autokatalysatoren:

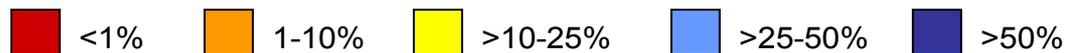
- offenes System
- Austrag durch Exporte von Neu- und Altwagen
- Autoindustrie benötigt 76 % des europäischen Primärinputs

PGM flows in EU 25 + Norway + Switzerland in 2004
Source: Mathieu Saurat and Stefan Bringezu

Weltweite Sekundärinput-Raten

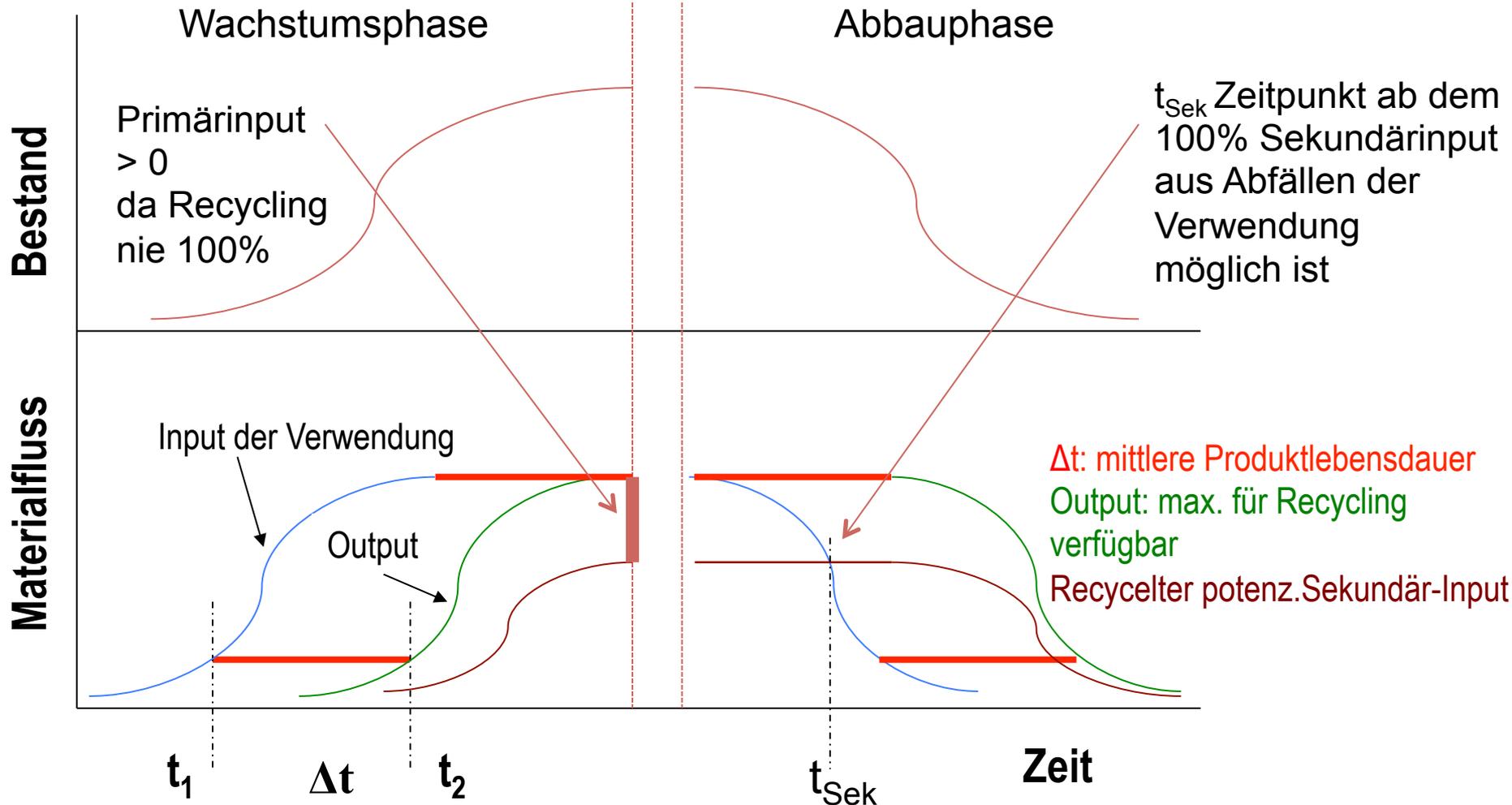
1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	*	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	**	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Uub	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	(117) (Uus)	118 Uuo

* Lanthanides	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
** Actinides	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr



Recycling und Entwicklungsphasen von Produkten

Vereinfachtes Schema



Urban Mining: Neue Geschäftsfelder



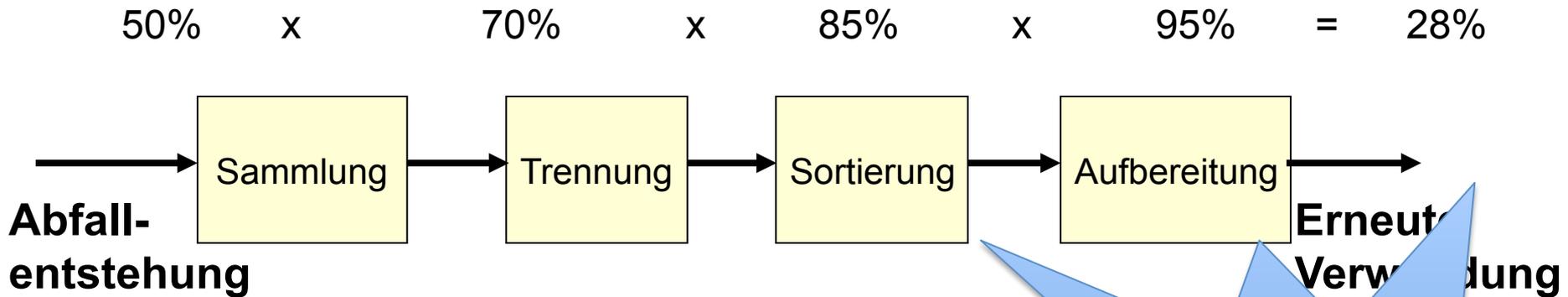
Fotos H. Gugerli, Stadt Zürich, Amt für Hochbauten

1. Demontage: Entfernen verwertbarer Materialien u. potenz. Störstoffe
2. Abbruch
3. RC-Stoffaufbereitung

Prozessschritte des Recyclings

Ursachen für geringe Recyclingraten

Prozesseffizienz: angenommenes Beispiel

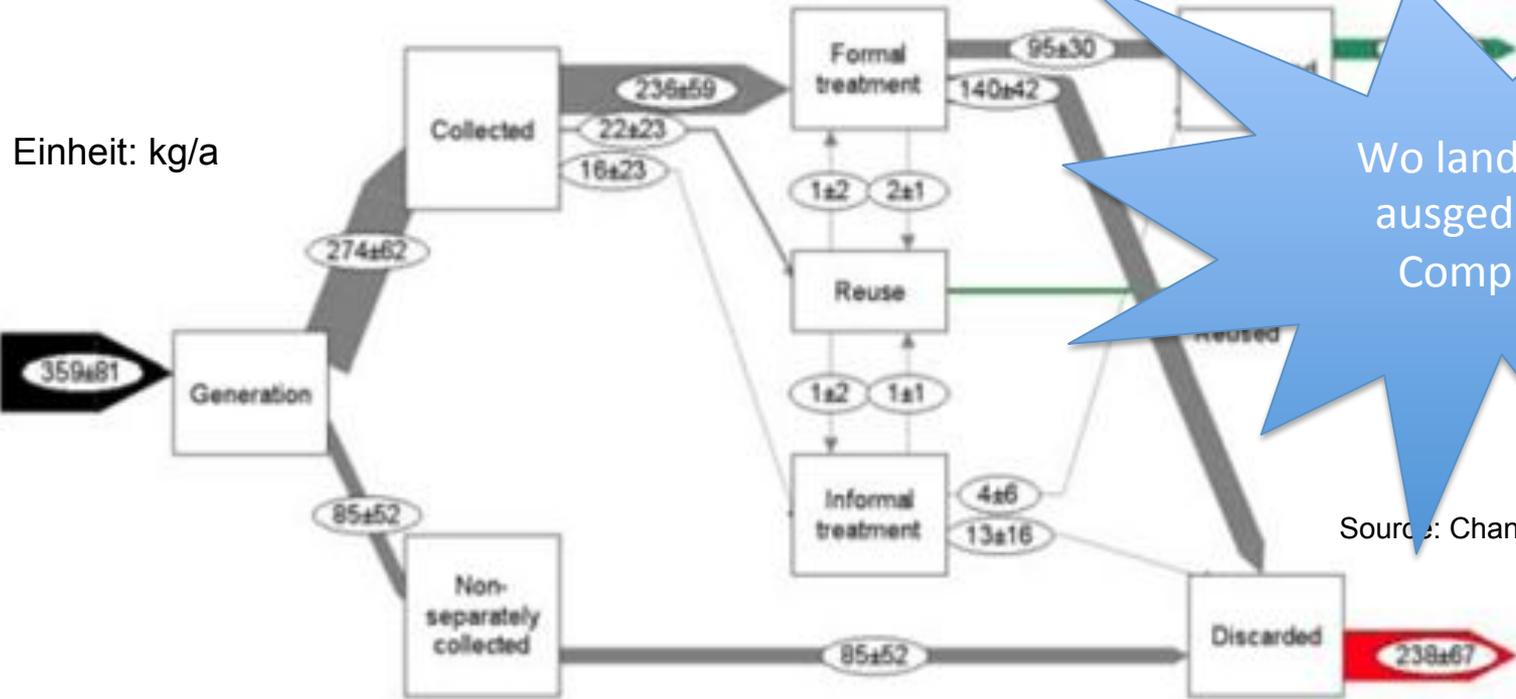


- Die Aufbereitungstechnologien sind häufig relativ weit entwickelt
- Die Organisation der Sammlung sowie Trenn- u. Sortierverfahren sind häufig noch unzureichend

Wissen Sie, wie viel von Ihren Produkten nach Gebrauch verwertet wird?

SFA von Gold aus EAG: PCs und Laptops

Deutschland 2007



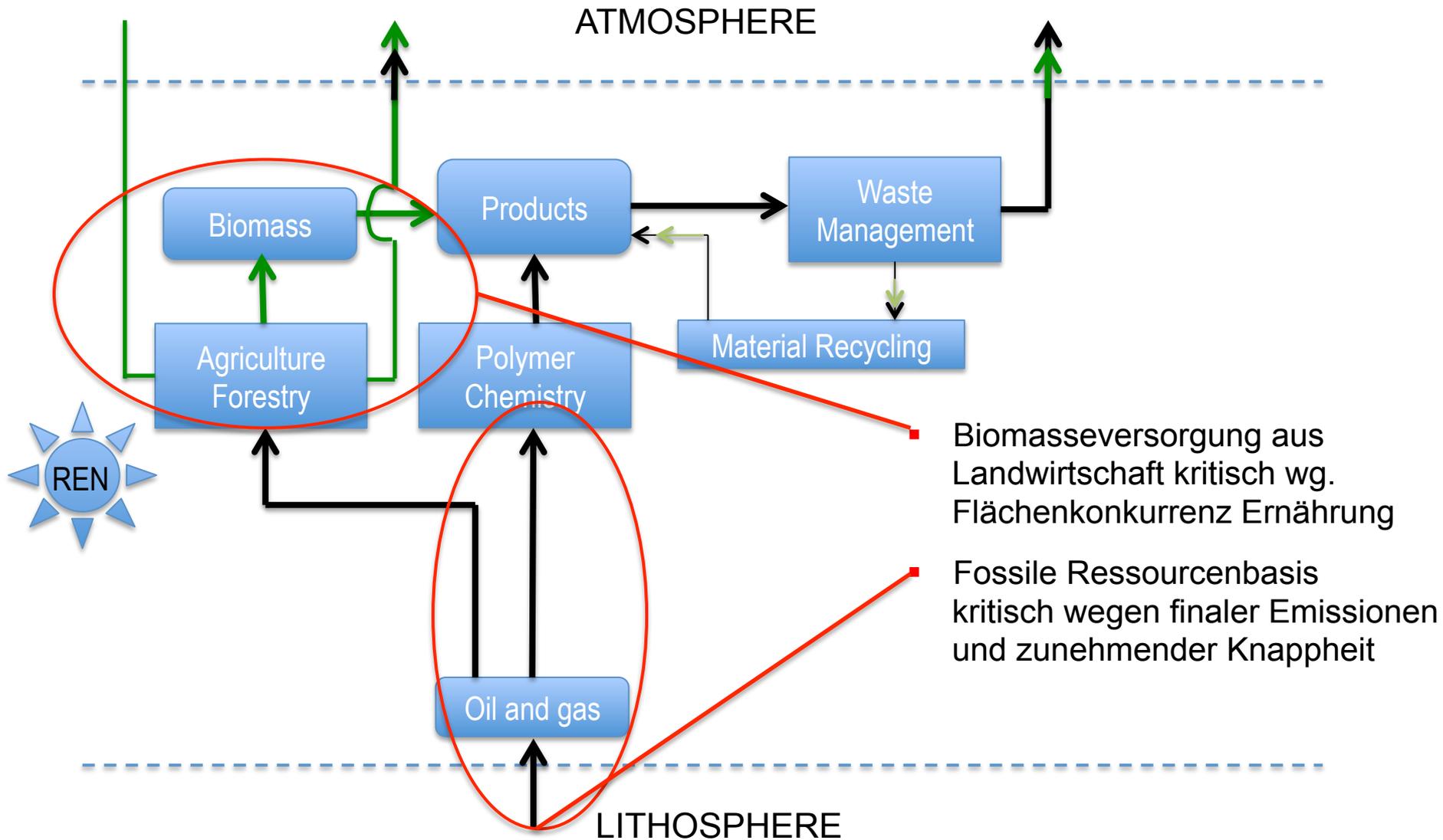
Source: Chancerel and Rotter 2009

- Getrennte Sammlung durch ElektroG von... dennoch gingen im Mittel 24% verloren
- Separation der Wertstoffe immer noch u... 39% verloren
- 2007 betrug die tatsächliche Recyclingrate von Gold aus großen EAG 28%

Die Kooperation mit professionellen Entsorgern könnte u.a. Datensicherheit gewährleisten

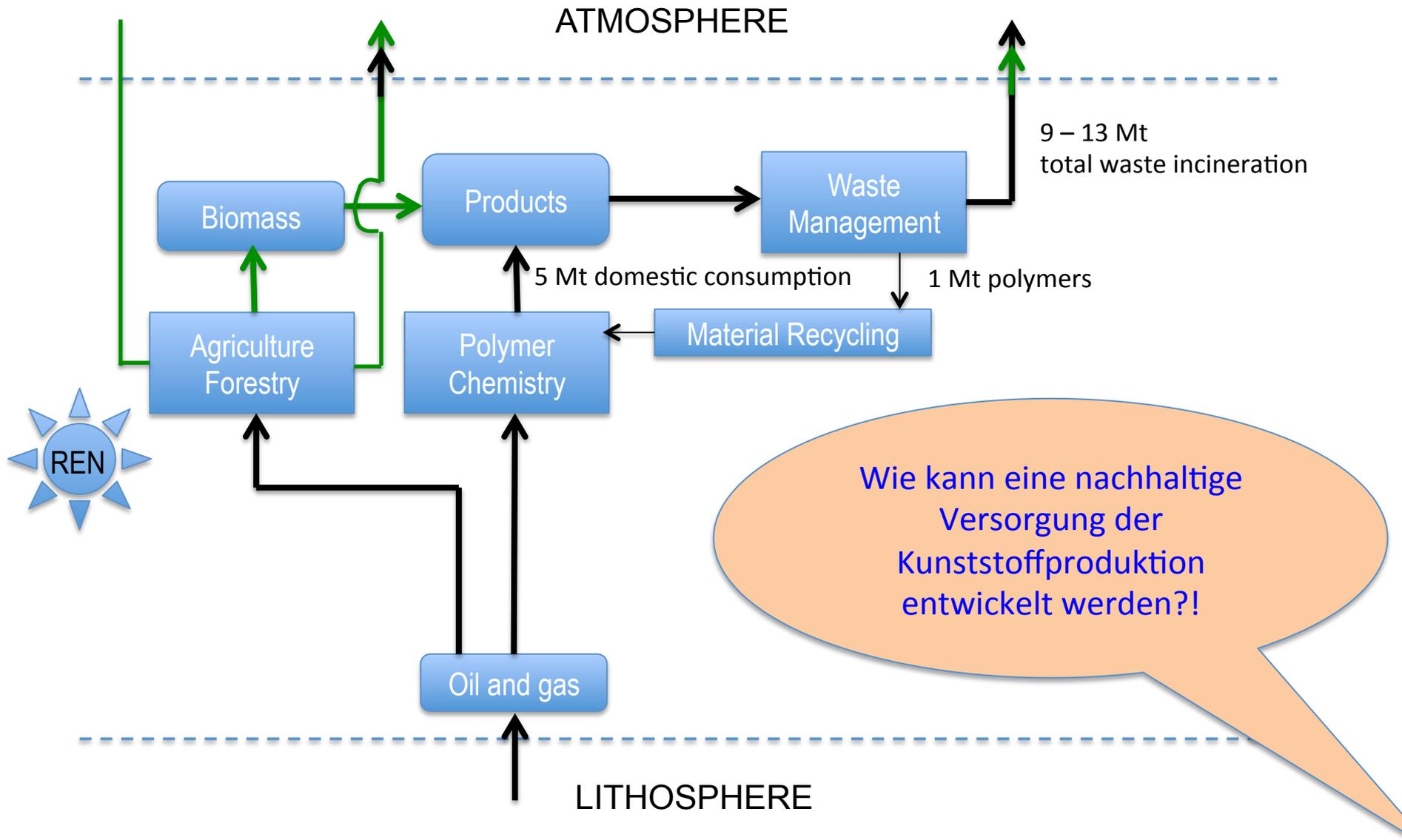
- Ressourceneffizienz steigern: Beweggründe und politische Ziele
- Die aktuellen Trends
- Indikatoren des sozio-industriellen Stoffwechsels
- Zukunftsfähiger Metabolismus: Erfordernisse und Optionen
- Strategien zur Erhöhung der Ressourceneffizienz
- Die Rolle des Recyclings
- Langfristoption: Carbon Recycling

Aktuelle Kohlenstoff-Flüsse der Kunststoffproduktion in Deutschland



Aktuelle C-Flüsse der Kunststoffproduktion in Deutschland

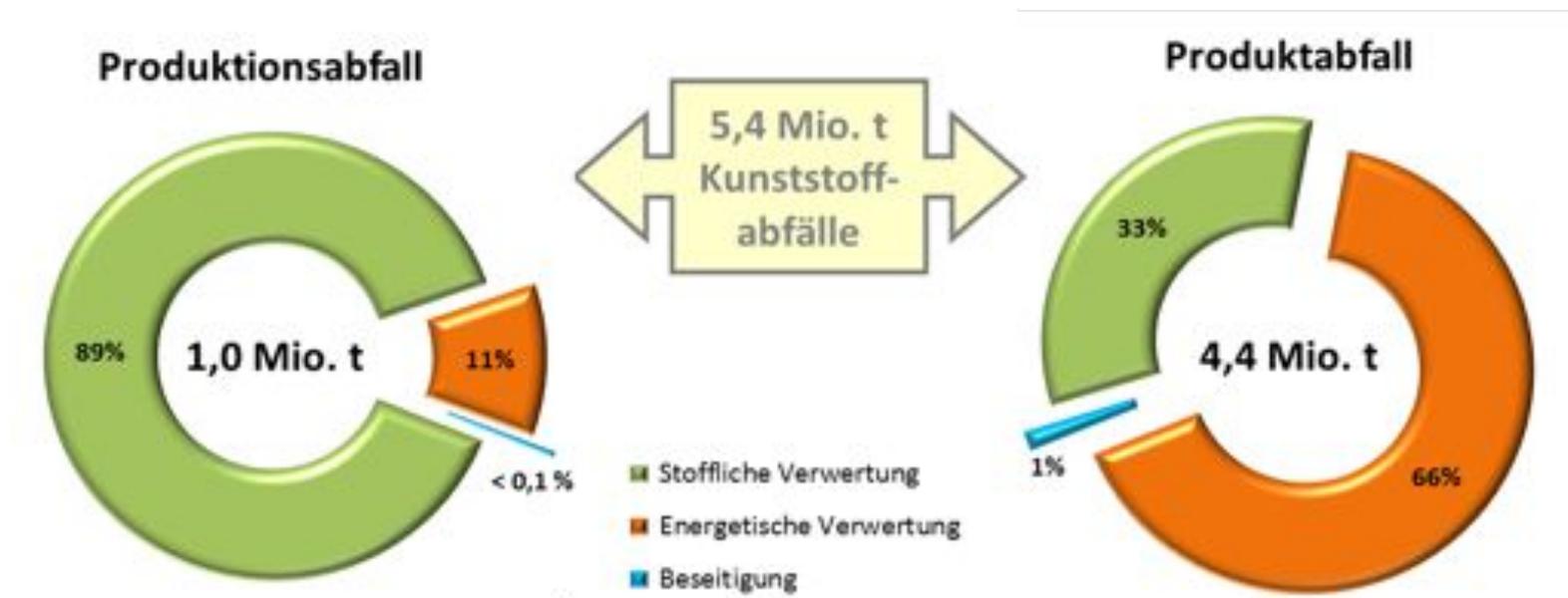
Vorwiegend lineare Flüsse von Lithosphäre zu Atmosphäre



Kunststoffe in Deutschland

Stoffliche und energetische Verwertung

- Von den Post-Consumer-Abfällen geht der größte Teil in die Verbrennung
→ Potenziale für mehr stoffliche Verwertung?!

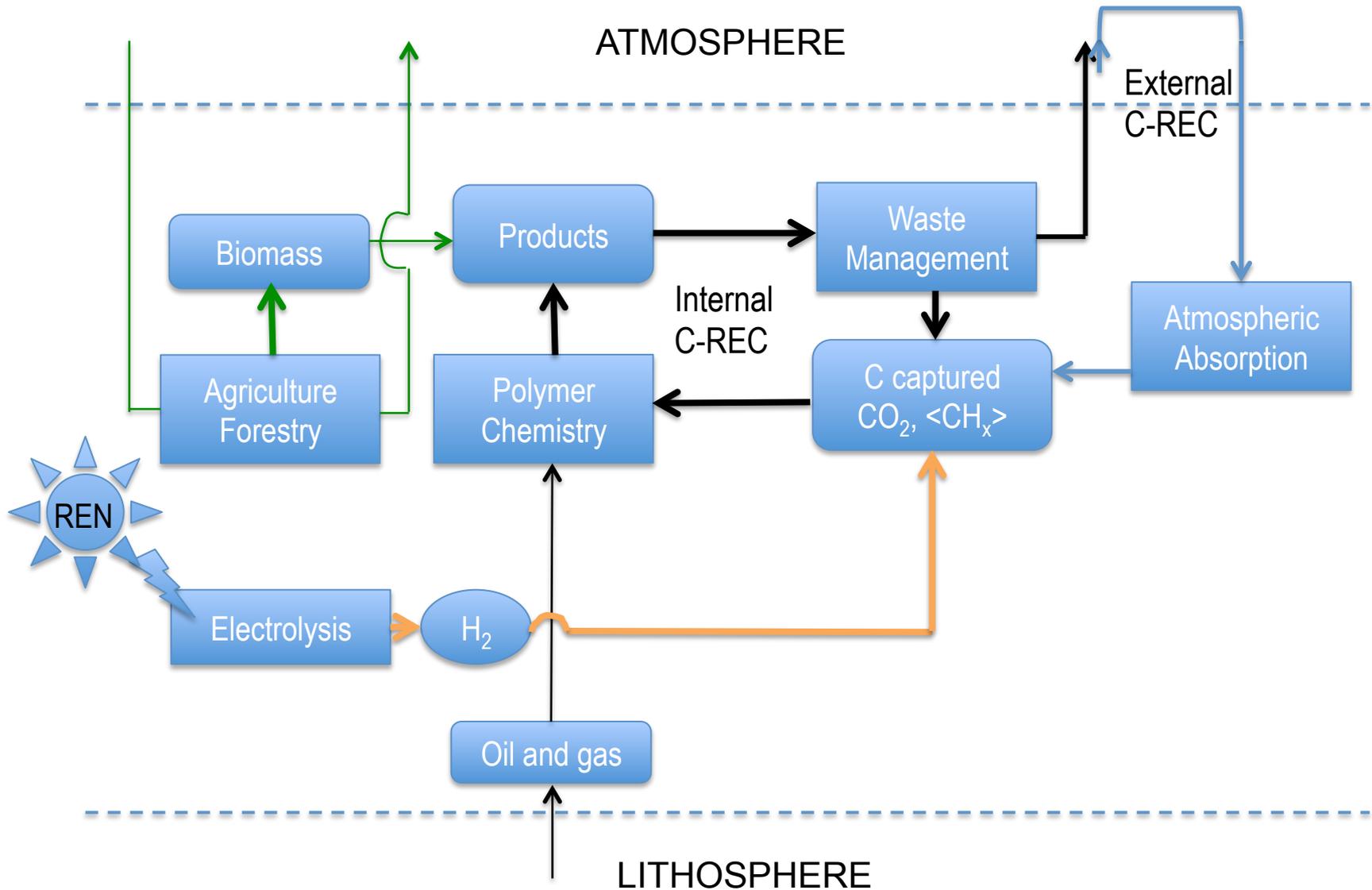


Quelle: Consultic (2012), Produktion, Verarbeitung und Verwertung von Kunststoffen in Deutschland 2011

Strategien vermehrten Recyclings für die Polymerproduktion

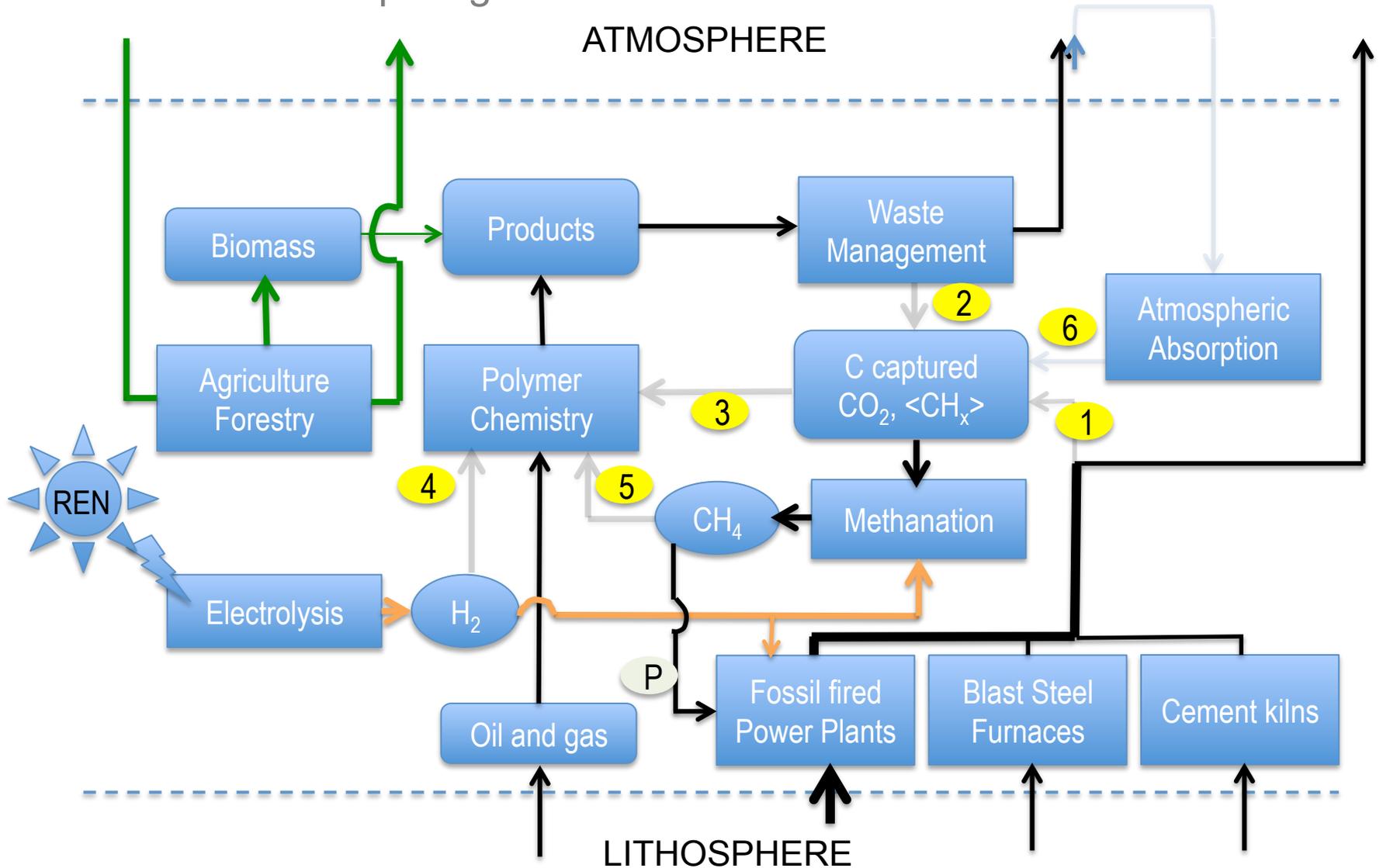
1. Vermehrte getrennte Sammlung und werkstoffliches Recycling;
2. Verwertung von Mischabfällen für die chemische Synthese
 - Vergasung trockener organischer Abfälle zu Synthesegas, und
 - Fermentation feuchter organischer Abfälle zu Biogas;
3. Abscheidung von CO₂ nach der Verbrennung oder im Zuge der Biogasreinigung und Nutzung als Rohstoff für die chemische Synthese.

Idealized Carbon Recycling with CO₂ capture



Carbon flows under development for Carbon Recycling

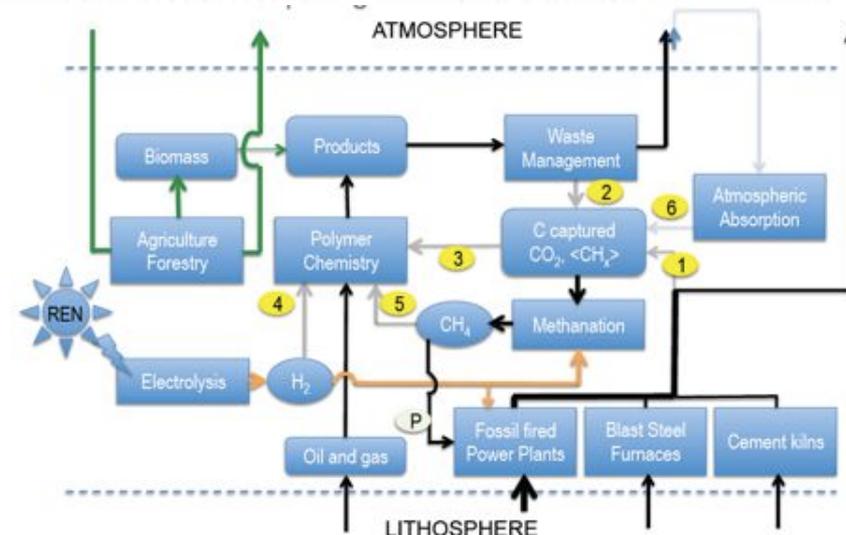
Overview of competing routes



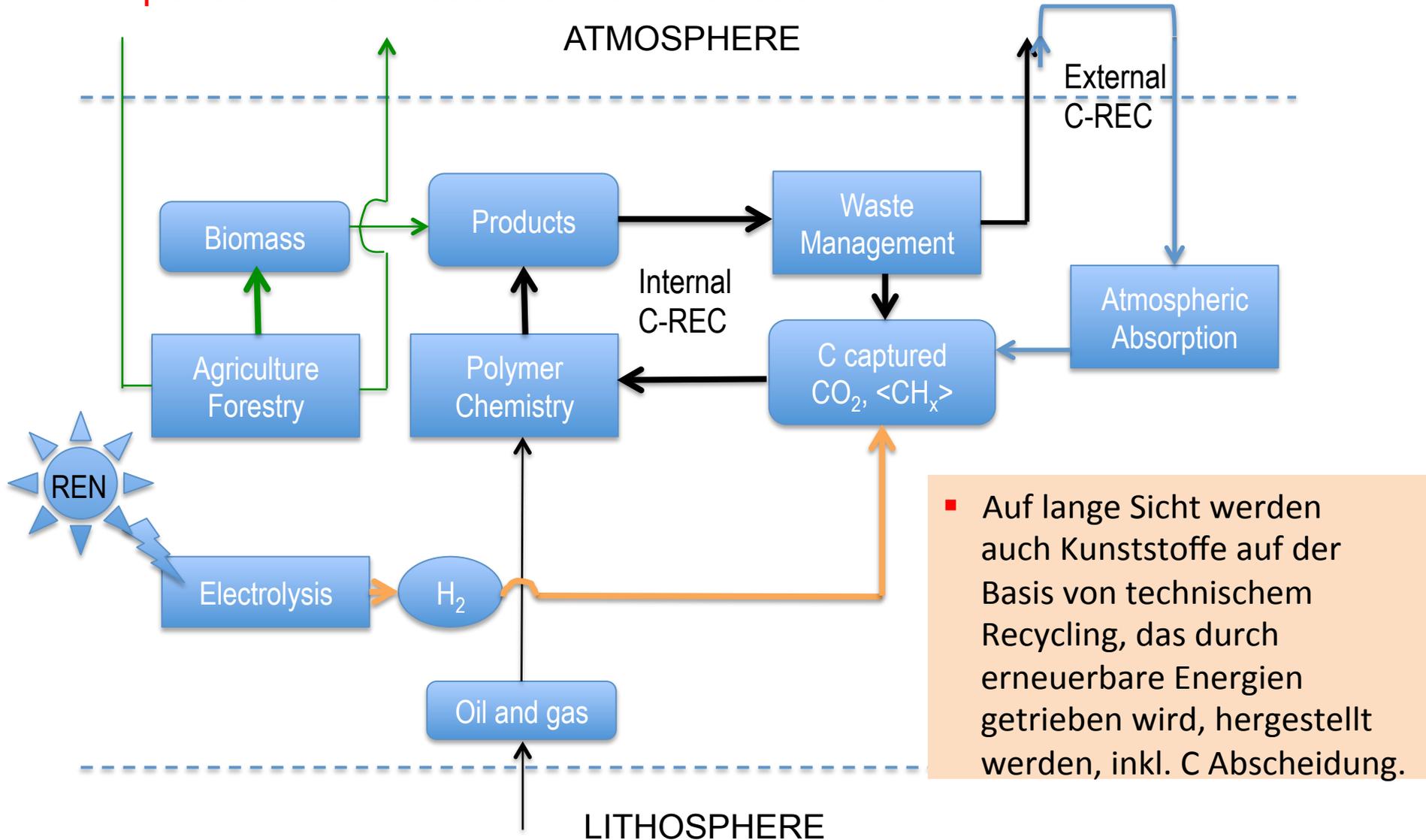
Long-term sustainability will depend on viable carrier flows

	Possible Routes	Terminology	Purpose	C flow system
I	1-P	renewable SNG "power-to-gas"	energy transport and storage	quasi cycle (C-in C-out)
II	1-3/4 or 1-5	"waste CO ₂ as a raw material"	hydrocarbon material supply	cascade (CCU open system)
III	2-3/4 or 2-5	Internal carbon recycling	hydrocarbon supply and reuse	real cycle possible
IV	6-5 or 6-3/4	External carbon recycling	hydrocarbon supply and reuse	real cycle possible
V	6-P	External carbon recycling	energy transport and storage	real cycle possible

- Risiko, dass Quasi-Zyklen genutzt werden, um fossile Quellen länger zu nutzen (insbes. Kohlekraftwerke)
- Erneuerbare Energieversorgung: Wettbewerb zwischen Carbon Recycling für E-Speicherung und -transport („Windgas“) vs. Polymerproduktion



Polymer production can develop recycling routes to become independent from fossil and biomass resources



- Ressourceneffizienz steigern: Beweggründe und politische Ziele
- Die aktuellen Trends
- Indikatoren des sozio-industriellen Stoffwechsels
- Zukunftsfähiger Metabolismus: Erfordernisse und Optionen
- Strategien zur Erhöhung der Ressourceneffizienz
- Langfristoption: Carbon Recycling
- **Schlussfolgerungen und Ausblick**

Schlussfolgerungen

- Die Wirtschaftssysteme der Welt koppeln sich zunehmend vom Verbrauch natürlicher Ressourcen ab: Ressourceneffizienz wird belohnt
- Bereits bestehende Technologien können optimiert werden und ihren Beitrag leisten
- Eine deutliche Steigerung der Ressourcenproduktivität erfordert tiefer gehende Innovationen des Produkt- und Dienstleistungsdesigns
- Es geht darum, die energetische und stoffliche Versorgung effizient und erneuerbar zu gestalten (Verbindung von Energie- und Ressourcenwende)
- Dabei spielt die Ausweitung des Recyclings und der schrittweise Umstieg auf technisch regenerierte Ressourcen eine Schlüsselrolle
- Die Umsetzung bedarf der verstärkten sektorübergreifenden Zusammenarbeit (insbesondere mit der Abfall-/Recyclingwirtschaft)

Ausblick: Ressourceneffizienz wird Wettbewerb bestimmen

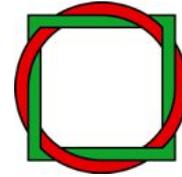
Der „Ressourcen-Tacho“: Schlüsselindikatoren

- Ökonomie: Kosten
- Unabhängigkeit von Importen
- Globale Umweltentlastung

	Territoriale Perspektive	Lebenszyklusweite Perspektive
Materialien	Inländische Extraktion - abiotisch - biotisch - genutzt - ungenutzt DMI, DMC	Kumulierter Rohstoffaufwand bzw. gesamter Primärmaterialaufwand RMI und RMC bzw. TMR und TMC
Land	Siedlungs- und Verkehrsfläche	Globale Landnutzung durch inländischen Verbrauch relevanter (Agrar-) Güter
Wasser	Nutzung des Wasserdargebots (Water exploitation index)	Direkte und indirekte Wassernutzung durch Importe und inländischen Verbrauch
Luft	THG Emissionen	Direkte und indirekte THG Emissionen durch Produktion und Konsum



Center for
Environmental
Systems Research



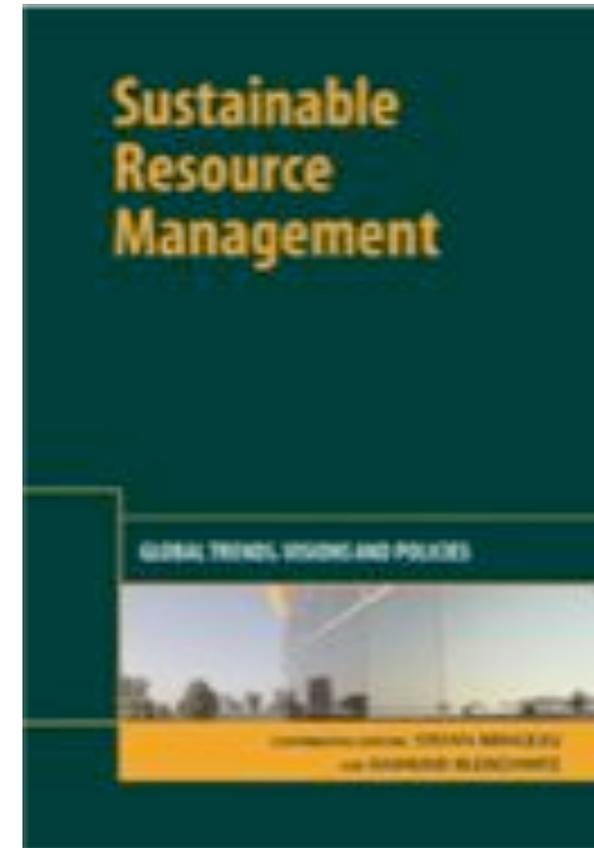
Wuppertal Institut
für Klima, Umwelt, Energie
GmbH

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

stefan.bringezu@wupperinst.org

Forthcoming:

Bringezu, S.: Carbon Recycling for Renewable Materials and Energy Supply: Recent trends, long-term options and challenges for R&D. Journal of Industrial Ecology, accepted for publication 9/2013



ISBN: 978-1-906093-26-6