

## Warum ein Katalysator drei Tonnen wiegt

### FAKTOR X kann man messen

- **Indikatoren machen komplexe Zusammenhänge transparent: fassbar und messbar, damit vergleichbar und kommunizierbar. Sie tragen dazu bei, Prozesse aus Vergangenheit und Gegenwart besser einschätzen zu können. Für die Zukunft sollen sie entscheidende Trends und „Leitplanken“ für die Entwicklung an die Hand geben.**
- **Im Zentrum der Betrachtung: die Dienstleistung oder die jeweilige Serviceeinheit. Was leistet ein Produkt? Und für wen? Wie lange?**
- **Und zwar von der Wiege bis zur Bahre: Entscheidend ist ein systemisches Verständnis über den gesamten Lebenszyklus eines Produkts hinweg.**
- **Der ökologische Rucksack als Indikator: alle Materialien, die zwar nicht Teil des gekauften Produkts sind, aber zu dessen Herstellung und Transport verwendet werden. In der Regel übersteigt der ökologische Rucksack das Gewicht des Produkts um ein Vielfaches.**
- **Auf europäischer Ebene fehlt ein Indikator, der in umfassender Weise über das gesamte Umweltbelastungspotenzial Auskunft geben könnte.**

### Das Ganze sehen – und die Zusammenhänge

Eine Aluminium-Getränke-Dose in Großbritannien hat ihren Ursprung in Australien. Aus den Bauxitminen wird der Rohstoff mit riesigen Lastern zu einer Chemiefabrik transportiert. Eine Tonne Bauxit wird zu einer halben Tonne Aluminiumoxid. Nach einer Seereise von einem Monat erreicht das Material Skandinavien. Denn dort wird es mittels billiger Energie aus Wasserkraft zu Aluminium-Barren verhüttet. In Deutschland werden sie zu dünnem Blech gewalzt. Das Blech geht dann nach England, dort formt man daraus die Dosen, wäscht, trocknet und lackiert sie. Anschließend werden sie zu einer Cola-Fabrik transportiert und befüllt: mit viel Wasser, einigen Tropfen Sirup und CO<sub>2</sub>.<sup>1</sup>

Am Anfang einer Tonne metallischen Aluminiums stehen vier Tonnen Bauxit, aber es geht weiter: Wie viel Materie wird in der Mine bewegt? Wie viel Erz, wie viel Abraum? Dann der Transport: Wie viel Energie, und damit Mate-

rial, wird beim Schiffstransport verbraucht? Wie viel für die Verhüttung? Energie ist nicht gleich Energie: Wie wird sie gewonnen? Wasserkraft in Norwegen ist nicht nur kostengünstig, sondern auch materialextensiv.... Auf diese Art und Weise kann man – rein quantitativ – den Ressourcenverbrauch für die Produktion der Dose aus Aluminium bestimmen<sup>2</sup>.

Das „Leben“ der Dose geht aber noch weiter. Wo landet sie, nachdem sie ausgetrunken wurde? Wird sie noch einmal recycelt? Oder wandert sie direkt auf die Deponie?

Entscheidend ist die Betrachtung von der Wiege (dem Punkt, wo das Material der Natur entnommen wurde), bis zur Bahre (wo es wieder in der Natur endet). Zwischendurch läuft ein Teil des Materials noch mal im Kreis; in diesem Fall ist recyceltes Aluminium deutlich ressourcenfreundlicher als neu gewonnenes: Es spart Energie und den Verbrauch mineralischer und fossiler Rohstoffe. Kreislaufwirtschaft, richtig betrieben, kann durchaus einen Beitrag zu Ressourcenproduktivität leisten<sup>3</sup>.

Eine perfekte Kreislaufwirtschaft allerdings ist ebenso wenig realistisch wie ein Perpetuum Mobile. Die Physik steht dagegen. Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik besagt, dass in geschlossenen Systemen die Unordnung (Entropie) durch jeden Umwandlungsprozess zunimmt. Für das sozio-ökonomische Modell Wirtschaft bedeutet dies, dass dessen Ordnung nur durch permanente Zufuhr von Energie und Materie erhalten werden kann. Umgekehrt: Materie und Energie, die durch das System geflossen sind, können nicht zur Gänze wieder eingespeist werden<sup>4</sup>.

Das Stoffstrommanagement setzt aufs große Ganze: auf die Wechselwirkungen zwischen Wirtschaft, Natur und Gesellschaft. Ein universeller Ansatz, der über die traditionelle Betrachtungsweisen einzelner Umweltmedien – Luft, Wasser, Boden – weit hinausgeht.

## **Fokus auf Service**

Was soll ein Auto leisten? Neben der (nicht unerheblichen) Eigenschaft, dass es besonders gut aussehen soll, dass es sicher sein soll, dass es möglicherweise vielseitig verwendbar ist, kommt es in erster Linie darauf an, dass es Menschen und Dinge transportiert. Ein Auto kann 20 Liter Benzin pro 100 Kilometer verbrauchen oder nur drei. Es kann aus Aluminium sein, was besonders viel Energie zu seiner Herstellung benötigt, oder aus Stahl. Es kann nur fünf Jahre halten oder zehn oder gar mehr. Je länger ein Auto fährt, desto weniger Material und Energie verbraucht es insgesamt pro gefahrenen Kilometer. Auf den ersten Blick sieht man also nicht, wie ressourcenintensiv es jenseits der Diskussion um Katalysator und Partikelfilter ist.

Wenn man Dinge intelligenter machen will, damit sie mit weniger Material gleiche oder gar bessere Services erfüllen, ist dieses Wissen allerdings notwendig: Wie viele Ressourcen benötigt das Auto – sagen wir pro Kilometer? Wie viel Material-Input Pro Serviceeinheit, wie viel MIPS?

Mit Hilfe des MIPS-Konzepts kann man die Ressourcenproduktivität für sämtliche Werkstoffe, Produkte, Gebäude, Infrastrukturen und Dienstleistungen gleichermaßen berechnen. Und zwar über den gesamten Lebenszyklus (Life Cycle Analysis, LCA) eines Produkts.

Entlang der MIPS-Zahlen kann man z.B. beurteilen, ob sich der für technische Recyclingverfahren notwendige Ressourcenaufwand lohnt oder nicht: Wann sind Mehrwegbehälter – aus stofflicher Sicht – besser als Einwegbehälter?

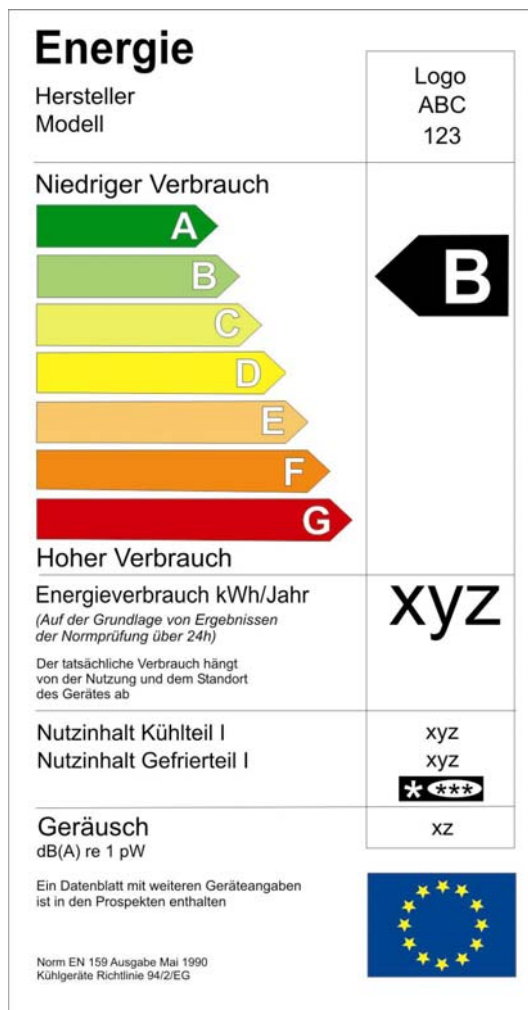
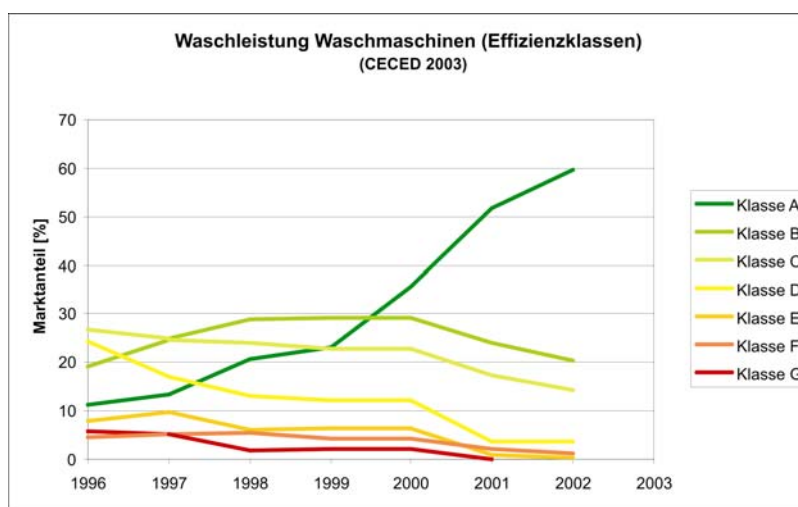


Abbildung 1: Energieeffizienzklassifizierung am Beispiel für Kühlgeräte.

Dieser Grundgedanke hat mittlerweile Eingang in verschiedene Zertifizierungen und Labels gefunden. Beispielsweise die Kennzeichnung des Energieverbrauchs von Haushaltsgeräten, wie sie in der EU mit einheitlichen Etiketten und Produktinformationen 1994 eingeführt wurde.

Die Marktanteile von Effizienzklasse-A-Waschmaschinen sind im Zeitraum von 1996 bis 2002 von knapp 10 % auf beinahe 60 % gestiegen. In derselben Zeit sind Geräte der Effizienzklassen E, F und G, die 1996 noch einen Marktanteil von knapp 20 % hatten, 2002 beinahe von Markt verschwunden. Energieeffizienzlabel sind ein Erfolg.



**Abbildung 2: Entwicklung der Marktanteile von Waschmaschinen der Effizienzklassen A-G, nach Daten der CECED, 2003. Aus Dosch, K: Ökoeffizienzklassifizierung als Pull-Faktor, in: Liedtke et al: Materialeffizienz, Wuppertal, 2005.**

Ein vergleichbares Label für die Energieeffizienz von Gebäuden ist auf dem Weg: Der sogenannte Energiepass greift die bekannten Energieeffizienzklassen, wie wir sie von Kühlschränken oder Spülmaschinen kennen, auf und ermöglicht eine einfache und transparente Beurteilung von Gebäuden, ob alt oder neu.

Ein weiterer Indikator zur Bestimmung des Ressourcenverbrauchs ist der Ecological Footprint: Er beziffert die Menge an produktiven Land- und Wasserflächen, die notwendig sind, um die Ressourcen, die einzelne oder Gruppen von Menschen konsumieren, bereitzustellen und ihren Abfall aufzunehmen; dies alles bei gegebener Technologie.

Eine Reihe weiterer Methoden zur Ermittlung und Kommunikation der Ressourceneffizienz wurden entwickelt und sind in Gebrauch. Zum Beispiel die Ökoeffizienzanalyse der BASF: ein konzerninternes Instrument, das es erlaubt, ökonomische und ökologische Performance von Produkten und Verfahren zu vergleichen. Ein Label, das den Materialeinsatz bei Gebäuden beurteilt, gibt es in den USA: den LEED Standard. Am weitesten entwickelt sind Be-

stimmungsverfahren und Labelling unterdessen in Japan. Viele japanischer Unternehmen verfügen mittlerweile über exzellente Kenntnisse und Methoden, um Stoff- und Energieströme im eigenen Haus zu erfassen – als Teil einer breit angelegten Strategie, um die eigene Wettbewerbsfähigkeit zu steigern.<sup>6</sup> Denn Ressourcen kosten Geld.

## Der ökologische Rucksack

Alle Konsumgüter, Produkte oder Dienstleistung tragen einen ökologischen Rucksack<sup>7</sup> mit sich<sup>8</sup>. Das sind alle Materialien, die selber nicht Teil des Produkts sind, aber zu dessen Herstellung und Transport verwendet wurden: Abraum bei der Rohstoffförderung, Produktionsabfall bei der Herstellung, Maschinen, Fahrzeuge und Treibstoff. Der ökologische Rucksack übersteigt das Gewicht des Produkts in der Regel um ein Vielfaches.

Beispiel Abgaskatalysatoren. Auf den ersten Blick sind sie eine sinnvolle Sache: Sie eliminieren Schadstoffe aus Autoabgasen. Aber sie verschlingen auch gewaltige Mengen Material. Der Grund: Katalysatoren enthalten Platin. Zwar nur geringe Mengen, aber mit einem ökologischen Rucksack von rund 320.000 t ist Platin, genauer: seine Gewinnung ungeheuer materialintensiv. Jeder einzelne Katalysator „wiegt“ demnach etwa drei Tonnen<sup>9</sup>.

1 Tonne Stahl	7 t
1 Tonne Aluminium	85 t
1 Tonne Kupfer	500 t
1 Tonne Platin	320.300 t
1 Tonne Gold	500.000 t

**Tabelle 1: Naturverbrauch zur Herstellung von Metallen; der ökologische Rucksack<sup>10</sup>**

1 MWh aus Braunkohlekraftwerk	11.015 kg
1 MWh aus Schwerölkraftwerk	652 kg
1 MWh aus Gas- und Dampfkraftwerk	234 kg
1 MWh aus Laufwasserkraftwerk	120 kg
1 MWh aus Klein-Windanlage	66 kg

**Tabelle 2: Energie und ökologischer Rucksack - Wie viel Natur (ohne Wasser, ohne Luft) verbraucht die Produktion einer Megawattstunde Strom?**

Ein Laptop von etwa drei Kilogramm wiegt zusammen mit seinem ökologischen Rucksack an die 400 Kilogramm. Die Miniaturisierung von Elektronikgeräten sagt daher noch nichts über den gesamten Material- und Energieverbrauch in der Produktionskette aus. Um beispielsweise eine Tonne reinen Kupfers aus dem Gestein zu gewinnen, benötigt man einen Energieeinsatz

von 14.000 bis 28.000 kWh; so viel verbraucht eine Zweipersonenhaushalt in Deutschland über einen Zeitraum von vier bis acht Jahren.

## **Indikatoren auf nationaler und EU-Ebene**

In Deutschland gibt das Statistische Bundesamt<sup>11</sup> alljährlich die *Umweltökonomische Gesamtrechnung* heraus. Für die Daten auf europäischer Ebene sind das statistische Amt der Europäischen Union<sup>12</sup> und die Europäische Umweltagentur<sup>13</sup> zuständig. Auf dieser Grundlage will Europa Strategien für eine nachhaltige Nutzung von natürlichen Ressourcen innerhalb und außerhalb der EU entwickeln; dazu muss man Erfolge wie Misserfolge messen können<sup>14</sup>.

Ein Indikator, der sowohl den Materialkonsum als auch die internationale Verflechtung von Ländern berücksichtigt, ist der Gesamte Materialkonsum<sup>15</sup>. Er gibt darüber Auskunft, ob ein Land sich in Richtung Ressourcenproduktivität bewegt, aber auch, ob eine Verbesserung der heimischen Situation auf Kosten anderer Länder geht. Z.B. wenn „schmutzige“ und umweltintensive Produktionsverfahren ins Ausland verlegt werden und „saubere“ Endprodukte importiert werden, statt sie selber zu erzeugen.

Vergleicht man diese Daten über Materialflüsse mit Indikatoren der wirtschaftlichen Entwicklung, z.B. dem Bruttoinlandsprodukt (BIP), sieht man, welche Materialmengen benötigt werden, um den Wohlstand in einem Land zu gewährleisten. Je mehr Wohlstand aus einer Einheit Natur gewonnen wird, desto höher ist die Ressourceneffizienz.

Eine tatsächliche Reduktion der Umweltbelastung wird nur dann erreicht, wenn die Ressourcenproduktivität von Produkten, Dienstleistungen und Konsum stärker zunimmt als die Wirtschaft insgesamt wächst – der Unterschied von relativer und absoluter Entkoppelung<sup>16</sup>.

Die wichtigsten Indikatoren zur Beurteilung der Entwicklung in Europa sind die des so genannten Lissabon-Prozesses. Beim Gipfeltreffen der europäischen Staats- und Regierungschefs in Lissabon wurde im Jahr 2000 das Ziel formuliert, die Europäische Union bis 2010 zum wettbewerbsfähigsten Wirtschaftsraum weltweit zu machen<sup>17</sup>. Ein nachhaltiges Wirtschaftswachstum von jährlich 3 % und sozialer Ausgleich sind Teile des Pakets. Mittlerweile scheint klar, dass die Lissabon-Ziele zu ehrgeizig formuliert sind; noch aber sind sie Teil der offiziellen EU-Politik.

### Die Lissabon-Strategie erfordert

- Bekämpfung des Klimawandels: rasche Ratifizierung des Kyoto-Protokolls (2002); Fortschritte bei der Erreichung der Kyoto-Ziele (bis 2005); Erreichung des Ziels, 12 % des Primärenergiebedarfs und 22 % des Bruttostromverbrauchs aus erneuerbarer Energie zu decken.
- Entkoppelung von Wirtschaftswachstum und Ressourceneinsatz: Bekämpfung von steigendem Verkehrsaufkommen, Staus, Lärm und Umweltverschmutzung bei voller Internalisierung der sozialen und umweltbezogenen Kosten; Schaffung eines gemeinschaftlichen Rahmens für die Inrechnungstellung der Verkehrsinfrastruktur (Eurovignette); nachhaltiger Einsatz natürlicher Ressourcen und Reduktion der Abfallmengen.
- Festlegung eines neuen Rechtsrahmens: Annahme der Richtlinien zur Energiebesteuerung (2002) und zur Umwelthaftung (2004), Sechstes Umweltaktionsprogramm.

(Quelle: Lissabon-Bericht von Wim Kok, siehe Endnote 17)

Von den ursprünglich 35 Indikatoren werden seit 2004 nur mehr 14 verwendet. Davon sind lediglich drei dem Bereich Umwelt zugeordnet: die Emission von Treibhausgasen, die Energieintensität der Wirtschaft sowie das Verkehrsaufkommen. Selbst von diesen drei Indikatoren kann nur der erste als wirklicher Umweltindikator angesehen werden, die beiden anderen setzen den Energieverbrauch bzw. das Verkehrsaufkommen eines Landes mit der Wirtschaftsleistung ins Verhältnis.

Eine Verbesserung der Energieeffizienz bringt zwar eine relative Entlastung der Umwelt pro Einheit geschaffenen Wohlstands, in einer Wirtschaft kann Energieverbrauch und damit die Umweltbelastung aber insgesamt steigen: Die Effizienzgewinne werden durch Wachsen des Gesamtsystems überkompensiert – der Bumerangeffekt.

Das heißt: Ein Indikator, der in umfassender Weise über das gesamte Umweltbelastungspotenzial der EU und ihrer Mitgliedsländer Auskunft geben könnte, fehlt nach wie vor.<sup>1</sup>

- <sup>1</sup> Paul Hawken, Amory Lovins, L. Hunter Lovins: Natural Capitalism. Creating The Next Industrial Revolution. Littel, Brown and Company, Boston, New York, London, S. 49f.
- <sup>2</sup> Um eine Tonne metallisches Aluminium herzustellen, werden knapp vier Tonnen Bauxit, Natronlauge, eine halbe Tonne Anodenkohle sowie 50 kg Kryolith ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) benötigt. Außerdem werden ca. 15.000 kWh Strom verbraucht. Dabei fallen drei Tonnen nahezu un-  
verwertbarer Rotschlamm sowie Emissionen an Staub und Fluorwasserstoff an.
- <sup>3</sup> Darüber hinaus gibt es ambitionierte und inspirierende Versuche nach dem Prinzip „Von der Wiege bis zur Wiege“: Michael Braungart, William McDonough: Einfach intelligent produzieren, Cradle to cradle: Die Natur zeigt, wie wir die Dinge besser machen können. Berliner Taschenbuch Verlag, Berlin, 2003.
- <sup>4</sup> Herman E. Daly: Wirtschaft jenseits von Wachstum. Die Volkswirtschaftslehre nachhaltiger Entwicklung. Verlag Anton Pustet, Salzburg 1999.
- <sup>5</sup> Friedrich Schmidt-Bleek: Das MIPS-Konzept, Weniger Naturverbrauch – mehr Lebensqualität durch Faktor 10. Droemersch Verlag, München 1998.
- <sup>6</sup> <http://www.japanfs.org>
- <sup>7</sup> Der "ökologische Rucksack" ist definiert als die Summe aller natürlichen Rohmaterialien von der Wiege bis zum verfügbaren Werkstoff oder zum dienstleistungsfähigen Produkt in Tonnen Natur pro Tonne Produkt, abzüglich dem Eigengewicht des Werkstoffes oder Produktes selbst, gemessen in Tonnen, Kilogramm oder Gramm.  
[http://www.umweltdatenbank.de/lexikon/oekologischer\\_rucksack.htm](http://www.umweltdatenbank.de/lexikon/oekologischer_rucksack.htm)
- <sup>8</sup> Friedrich Schmidt-Bleek: Das MIPS-Konzept, Weniger Naturverbrauch – mehr Lebensqualität durch Faktor 10. Droemersch Verlag, München 1998.
- <sup>9</sup> Ebd. S. 51
- <sup>10</sup> Quelle: Friedrich Schmidt-Bleek u.a.: MAIA, Einführung in die Material-Intensitäts-Analyse nach dem MIPS-Konzept, Birkhäuser, Berlin, Basel, Boston, 1998.
- <sup>11</sup> <http://destatis.de/>
- <sup>12</sup> [http://epp.eurostat.cec.eu.int/portal/page?\\_pageid=1090\\_i&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://epp.eurostat.cec.eu.int/portal/page?_pageid=1090_i&_dad=portal&_schema=PORTAL)
- <sup>13</sup> <http://www.eea.eu.int/>
- <sup>14</sup> <http://www.europa.eu.int/comm/environment/natres/index.htm> Zentrale Website der EU zu ihrer Ressourcenstrategie, mit allen weiterführenden Links zur Europäischen Ressourcenstrategie, [http://www.europa.eu.int/comm/environment/natres/pdf/com\\_natres\\_de.pdf](http://www.europa.eu.int/comm/environment/natres/pdf/com_natres_de.pdf)
- <sup>15</sup> In der wissenschaftlichen Literatur auch TMR (total material requirement) genannt. Der TMR umfasst alle Rohstoffe, die der Natur entnommen werden, sowohl im eigenen Land, wie auch die Importe. Einschließlich der ökologischen Rucksäcke (englisch: hidden flows). Bei der Kohle-Gewinnung ist das z.B. der Abraum, also Sand, Lehm oder Kies, die bewegt werden müssen, um an die Kohle heran zu kommen.
- <sup>16</sup> Wenn die Ressourcenproduktivität stärker wächst, als die Wirtschaftsleistung insgesamt, führt dies zu einer absoluten Entkoppelung von Wirtschaftsleistung und Ressourcenverbrauch – bei steigender Wirtschaftsleistung sinkt der Ressourcenverbrauch. Wächst die Wirtschaftsleistung stärker als die Ressourcenproduktivität steigt der Ressourcenverbrauch insgesamt an, die Wachstumsraten sind entkoppelt, daher spricht man von relativer Entkoppelung.
- <sup>17</sup> Die Herausforderung annehmen. Die Lissabon-Strategie für Wachstum und Beschäftigung. Bericht der hochrangigen Sachverständigenkommission unter Vorsitz von Wim Kok, November 2004, [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/lissabon\\_kok.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/lissabon_kok.pdf)