

Ritthoff, Michael; Rohn, Holger; Liedtke, Christa

**Research Report**

## MIPS berechnen: Ressourcenproduktivität von Produkten und Dienstleistungen

Wuppertal Spezial, No. 27

**Provided in Cooperation with:**

Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy

*Suggested Citation:* Ritthoff, Michael; Rohn, Holger; Liedtke, Christa (2002) : MIPS berechnen: Ressourcenproduktivität von Produkten und Dienstleistungen, Wuppertal Spezial, No. 27, ISBN 3929944561, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, Wuppertal, <https://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:101:1-20091006989>

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/59293>

**Standard-Nutzungsbedingungen:**

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

**Terms of use:**

*Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.*

*You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.*

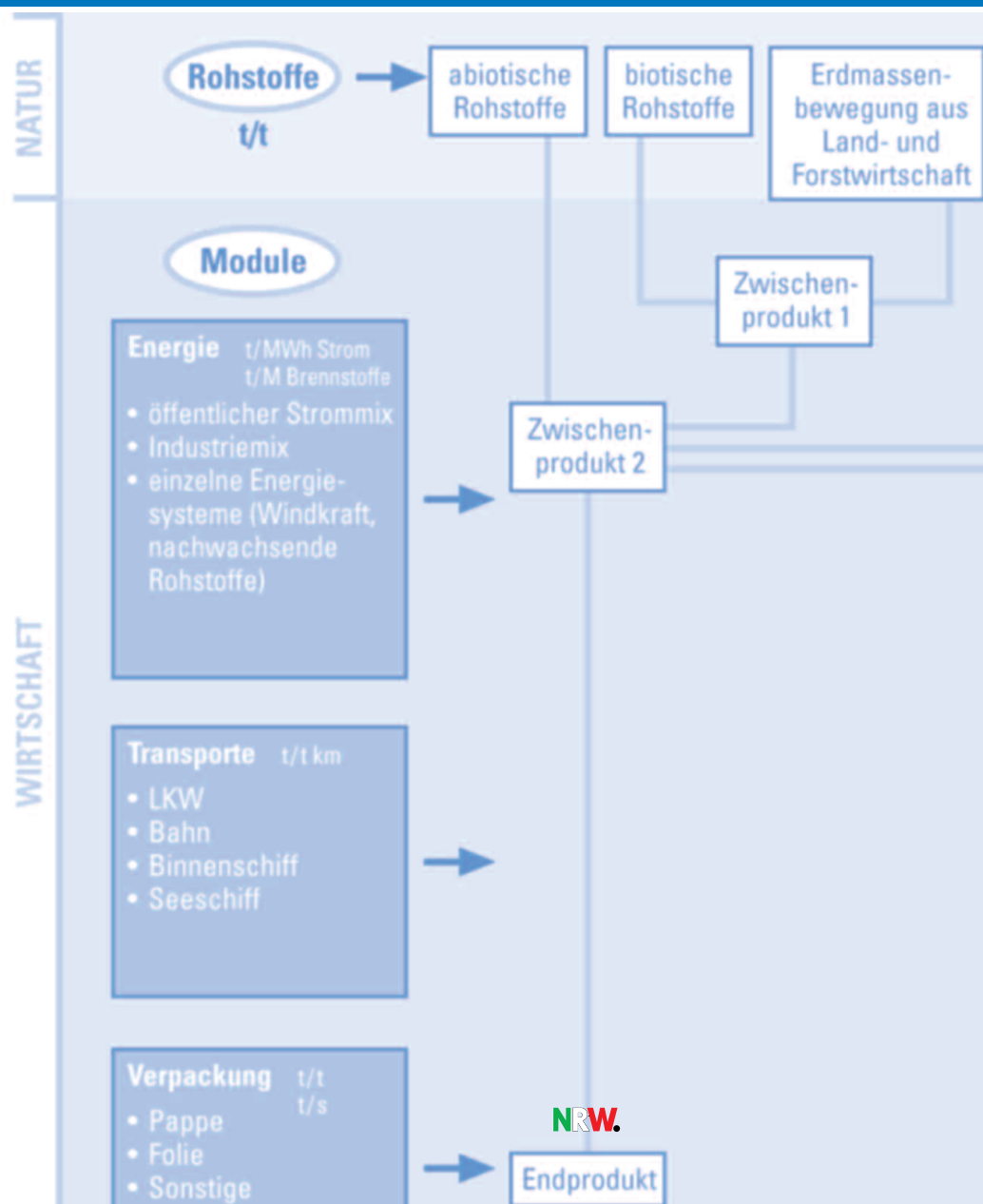
*If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.*



Michael Ritthof  
Holger Rohn  
Christa Liedtke  
Unter Mitarbeit von  
Thomas Merten

# MIPS berechnen

## Ressourcenproduktivität von Produkten und Dienstleistungen





Wuppertal Spezial 27

# **MIPS berechnen**

Ressourcenproduktivität von  
Produkten und Dienstleistungen

Michael Ritthoff

Holger Rohn

Christa Liedtke

unter Mitarbeit von Thomas Merten

Hinweise für den Leser:

1. Wichtige Merksätze, Hinweise und erläuternde Beispiele sind rechts und links vom Text noch einmal hervorgehoben und/oder zusammengefasst.
2. Dort wo es notwendig erscheint, sind zur Veranschaulichung der Berechnungen Praxisbeispiele angefügt.
3. Schlüsselbegriffe sind kursiv gesetzt. Die Erläuterungen befinden sich im Glossar.

**care**

computergestützte  
Ressourceneffizienzrechnung  
in der mittelständischen Wirtschaft

gefördert durch:



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

Alle Informationen wurden nach bestem Wissen ermittelt, eine Gewähr für die Richtigkeit der Angaben kann jedoch nicht übernommen werden.

© Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH  
im Wissenschaftszentrum Nordrhein-Westfalen, 2002  
Grafik, Satz, Gestaltung: Bildstelle Wuppertal Institut  
Druck: Offset Company, Wuppertal  
ISBN 3-929944-56-1

# Inhalt

Vorwort	5
Danksagung	8
Einleitung	9
<b>Das MIPS-Konzept</b>	10
MIPS in Kürze	10
Der Unterschied zwischen MIPS, MIT und MI	13
Systemgrenzen und Abschneidekriterien	13
MI-Kategorien	14
MI-Faktoren	15
<b>Die MIPS-Berechnung in sieben Schritten</b>	17
Schritt 1: Definition des Ziels, der Objekte und der Serviceeinheit	19
Schritt 2: Darstellen der Prozesskette	22
Schritt 3: Datenerhebung	23
Schritt 4: Berechnung des Material-Inputs „Von der Wiege bis zum Produkt“	29
Schritt 5: Berechnung des Material-Inputs „Von der Wiege bis zur Bahre“	32
Schritt 6: Vom Material-Input zu MIPS	34
Schritt 7: Interpretation der Ergebnisse	35
<b>Optimierungsstrategien</b>	36
Glossar	39
Anhang	
Tabellenverzeichnis	42
Berechnungs-Beispiele	45
Wissenswertes	55



# Vorwort

Bill Gates sagte einmal: „Der Fortschritt kommt so oder so – machen wir das Beste daraus“. Natürlich kennen wir die Zukunft nicht. Aber wir gestalten sie. Jeden Tag. Risikobereite Unternehmen spielen hier ganz vorne mit. Oft stoßen sie dabei an gesellschaftliche Grenzen, zum Beispiel, weil Menschen neue Produkte und Dienstleistungen nicht immer mögen. Grenzen auch, die der Staat festlegt und damit auf die treibenden Kräfte der Marktwirtschaft – Gewinnstreben und Wettbewerb – Einfluss nimmt, sie beflügelt oder lähmt, sie weitgehend ungezügelt walten lässt oder die Schwachen zu schützen sucht.

Und seit den frühen siebziger Jahren wissen wir, dass es auch Grenzen gibt für den Verbrauch natürlicher Ressourcen zur Gestaltung von Fortschritt. Wir können zwar Geschmack, Gewohnheiten und Einkommen von Menschen beeinflussen. Es ist uns aber nicht gegeben, die Grenzen der Natur dorthin zu schieben, wo wir sie gerne hätten.

Wir alle verändern die Umwelt jeden Tag, bewusst oder unbewusst, ob wir reich sind oder arm. Dahinter steht nun keineswegs die Absicht, die Natur zu stören. Wir verhalten uns so, weil es sich im Rahmen unserer Wirtschaft lohnt, sich so zu verhalten. Und dies nicht etwa, weil die Marktwirtschaft als solche uns zum Bösen verleitet, sondern weil die überlebten Rahmenbedingungen unserer Wirtschaft zu falschen Preissignalen führen und massive Subventionen duldet, welche den Verbrauch natürlicher Ressourcen belohnt. Arbeit ist bei uns zu teuer, weil sie als Steuerkuh missbraucht wird und Ressourcen sind fast durchweg so billig, dass von full-cost-pricing keine Rede sein kann. Und wer von uns spart schon an Dingen, die billig sind? Nachhaltig wird Wirtschaft, wenn sie im Rahmen der natürlich gegebenen Grenzen Nutzen für alle schafft. Zu diesen Grenzen gehört in erster Linie der sparsamst mögliche Verbrauch natürlicher Ressourcen. Das hat vor allem zwei Gründe. Zum einen sorgen die Abfälle und die Emissionen unserer Wirtschaft dafür, dass schon heute das Klima verrückt spielt und die Folgen von Naturkatastrophen weit über 150 Milliarden Euro jährlich kosten. Die weltweite Tendenz ist, jeden Tag mehr Reparaturkosten und mehr Gefahren für Menschen durch Hochwasser, Stürme und Ausbreitung von Wüsten zu riskieren. Zum Zweiten würden wir mehr als zwei Planeten Erde als Ressourcenbasis brauchen, wenn allen Menschen dieser Erde unsere westliche Art Wohlstand zur Verfügung stehen soll. Die weltweite Tendenz ist heute, offenen Auges in diese Falle zu laufen.

Was ist zu tun? Es wäre gut, die alte Weisheit wieder sehr ernst zu nehmen, dass man den Profit erhöhen kann, wenn man den Input an Produktionsfaktoren so klein wie möglich hält. Das gilt für natürliche Ressourcen auch dann noch, wenn ihre Preise weit entfernt sind von full-cost-pricing. Einer neuen Studie von A.D. Little zufolge könnten in Deutschland ohne Verlust an Qualität 25 Prozent natürliche Ressourcen eingespart werden, was für jeden Haushalt 5000 Euro Einsparungen jährlich bedeutet und für Deutschland 700.000 neue Arbeitsplätze. Neue Steuern wären auch überflüssig, weil der Staat weit mehr Einnahmen hätte als er heute mit ihrer Hilfe zu erreichen sucht.



Die Wirtschaft sollte also zunächst aus wirtschaftlichen Gründen dematerialisiert werden. Ohne Maßstab ist Management einer solchen Entwicklung jedoch nicht möglich. Vor zehn Jahren habe ich deshalb den Material-Input aus der Natur pro Einheit Service (oder Nutzen) – MIPS – als Maß für intelligentes Wirtschaften erfunden. Ich kam damals aus Sorge um die Stabilität der Umwelt auf diese Idee. Und ich erkannte auch – und dies gilt heute mehr denn je – dass diese Stabilität nur dann gewährleistet sein kann, wenn wir die westliche Art von Wohlstand um mindestens den Faktor 10 dematerialisierten. Dies ist bei heutigen Preisen für Arbeit und Material, bei heutigen Subventionen, Standards und Normen allerdings nicht profitabel. Aus diesem Grunde ist eine Schar Unverdrossener seit Jahren dabei, die notwendige Anpassung der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen zu fordern. Nachhaltigkeit ist mit Sicherheit sonst nicht erreichbar. Aus der Sicht der klassischen Ingenieurskunst scheint Faktor 10 zunächst nahezu lächerlich. Ist er aber nicht. Und zwar aus zwei Gründen.

Erstens geht es nicht darum, heute existierende Güter und Maschinen zehnmal kleiner zu machen bei gleicher Leistung (obgleich auch dies manches Mal möglich ist), sondern darum, den gewünschten Nutzen mit neuen technischen Lösungen zu befriedigen. Dies ist uns bei der Erhöhung der Arbeitsproduktivität längst selbstverständlich und die technischen Erfolge auf diesem Gebiet gehen weit über Faktor 10 hinaus. Und zweitens geht es bei der Bemessung des Inputs natürlicher Ressourcen um die Berücksichtigung aller Materialien, die „vom ersten Spatenstich“ an verbraucht werden, damit Ausgangsstoffe wie etwa Kupfer zur Verfügung stehen. Ich benannte dies den ökologischen Rucksackfaktor. Bei Kupfer wiegt er 500 kg/kg, bei Aluminium 85 und bei Stahl zwischen 5 und 25 kg/kg. Jedes eingesparte kg Kupfer bedeutet also das Belassen von 500 kg Natur an ihrem angestammten Platze. Dies heißt aber, dass die Auswahl von Ausgangsmaterialien beim Design von Artefakten unter Berücksichtigung ihrer jeweiligen Rucksackfaktoren weit mehr zur Erhöhung der Ressourcenproduktivität beitragen kann als es die Einsparung von Gewicht erscheinen lässt.

Japan hat die wirtschaftliche Bedeutung von MIPS, Faktor 4 und Faktor 10, sowie den der ökologischen Rucksäcke längst erkannt und 2001 in seine Wirtschaftsstrategie mit aufgenommen. Zusammen mit Ernst Ulrich von Weizsäcker bekam ich hierfür im Jahre 2001 den „World Environment Award“ der japanischen Takeda Stiftung. Dieser Preis wurde ganz bewusst als „Nobelpreis der Umwelt“ geschaffen. Auch in Europa und bei den Vereinten Nationen bewegt sich jetzt einiges.

Unternehmer in Deutschland sollten um ihrer eigenen Zukunft willen folgende Frage beantworten: Wer oder welches Land wird in nicht allzu ferner Zukunft den Weltmarkt erfolgreich bedienen können angesichts der Tatsache, dass natürliche Ressourcen immer knapper werden und dass die, welche wir nutzen, unweigerlich zu Umweltveränderungen mit Folgekosten führen?

Der vorliegende Leitfaden wurde von Christa Liedtke und ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern verfasst und liegt nun in deutscher und englischer Sprache vor. Er geleitet den Interessierten in klarer Sprache Schritt um Schritt durch den Prozess der Innovation neuer technischer Lösungen unter Nutzung des MIPS-Konzeptes.

Aller Anfang ist schwer. Auch und gerade der Versuch, Produzenten und Verbraucher davon zu überzeugen, dass es möglich, notwendig und auch profitabel ist, Fortschritt zum Wohle der Menschheit innerhalb der natürlichen Leitplanken zu gestalten – das Beste aus Fortschritt zu machen. Christa und ihre Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter haben sich Dank, Anerkennung und weitere große Erfolge redlich verdient.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Dr. Bio Bleek', with a stylized flourish extending to the right.

Professor Friedrich Schmidt-Bleek  
Factor 10 Institute  
Carnoules, Provence, Oktober 2002

## Danksagung

Dieser Leitfaden wurde ermöglicht durch die intensive Zusammenarbeit mit zahlreichen Unternehmen (z.B. Kambium Möbelwerkstatt GmbH, Hess Naturtextilien GmbH, Eurotec Pazen GmbH) und Institutionen (MUNLV; Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW, BMBF; Bundesministerium für Bildung und Forschung, Faktor 10 Institut, Factor 10 Innovation Network etc.) in den letzten acht Jahren. Die erste Fassung des vorliegenden Werkes entstand in dem Projekt „Handeln für die Welt von Morgen – Ressourcenmanagement bei hess natur“ bei Hess Naturtextilien GmbH: Hier gilt unser besonderer Dank Frau Katharina Paulitsch und Herrn Roland Sturm.

Den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, die in den letzten Jahren in der Abteilung „Stoffströme und Strukturwandel“ und der AG „Ökoeffizienz & Zukunftsfähige Unternehmen“ des Wuppertal Instituts am und mit dem MIPS-Konzept gearbeitet haben, gilt ebenfalls unser Dank. Sie alle haben auf ihre unterschiedlichen Arten und Weisen zum Entstehen des Werkes beigetragen. Besonders hervorzuheben sind hier Hartmut Stiller, der in vielen Diskussionen die Entwicklung dieses Leitfadens begleitet hat, und Stefan Bringezu für seine überaus konstruktiven Korrekturen. Nicht vergessen wollen wir die vielen Diplomanden, Promovenden und Praktikanten, die nach dem Leitfaden für uns MIPS berechnet haben und mit ihren Fragen und Problemen zu einer höheren Verständlichkeit und Anwendbarkeit des Werkes beigetragen haben.

# Einleitung

Dieser Leitfaden will eine Praxisanleitung zur Durchführung von Analysen nach dem MIPS-Konzept sein. MIPS steht für **M**aterial-**I**nput **P**ro **S**erviceeinheit, einem Maß, das am Wuppertal Institut entwickelt wurde und einen Indikator des vorsorgenden Umweltschutzes darstellt. Diese Praxisanleitung ist aber keine umfassende Methodenbeschreibung, sie ist vielmehr als Ergänzung zu den bestehenden Veröffentlichungen, insbesondere zum MAIA-Handbuch, zu verstehen. Wer sich für die theoretischen Grundlagen von MIPS interessiert, wird auf ergänzende Literatur zurückgreifen müssen (siehe Literaturverzeichnis).

Die vorliegende Praxisanleitung enthält zusätzliche Informationen, die nicht Bestandteil einer Methodenbeschreibung sein können, jedoch für die praktische Arbeit unerlässlich sind: z.B. Hinweise auf mögliche Probleme, auf die Anwender und Anwenderinnen bei der Durchführung einer Analyse nach dem MIPS-Konzept stoßen könnten – und Möglichkeiten, diese gemäß der Methode zu lösen.

Einiges, was erwähnt wird, mag entbehrlich erscheinen. Unsere eigenen Erfahrungen mit Datenrecherchen, Stoffstromanalysen etc. zeigen jedoch, dass auch „Selbstverständliches“ bisweilen wieder ins Gedächtnis gerufen werden muss.

MIPS lässt sich auf verschiedenen Ebenen anwenden, z.B. für Produkte und Dienstleistungen, Unternehmen, Haushalte, Regionen und Volkswirtschaften. Dieser Leitfaden richtet sich an Unternehmen und Personen, die produkt- oder dienstleistungsbezogene MIPS- oder Material-Input(MI)-Analysen durchführen wollen. Wir hoffen, dass der Leitfaden dazu beitragen wird, solche Berechnungen vermehrt durchzuführen und darauf aufbauend Optimierungsüberlegungen anzustellen, um damit einen Beitrag zur Schonung der Umwelt, der Ressourcen zu leisten.

Dieser Leitfaden gibt einen generellen Überblick darüber, was MIPS ist und wie MIPS gerechnet wird. Dafür werden in den folgenden Abschnitten Grundbegriffe und notwendige Vorgehensweisen erklärt, mit Beispielen und ergänzenden Hinweisen weiter erläutert.

Daneben versuchen wir eine Reihe von Zusatzinformationen, z.B. Umrechnungstabellen, mitzuliefern, die uns bei der Arbeit oft helfen.

# Das MIPS-Konzept

## MIPS in Kürze

MIPS = Material-Input pro  
Serviceeinheit = MI/S

Kehrwert von MIPS = Res-  
ourcenproduktivität  $\triangleq$  S/MI

MIPS heißt: *Material-Input pro Serviceeinheit*. Um die inputorientierte Umweltbelastung von Produkten und Dienstleistungen zu bestimmen, gibt MIPS an, wieviel Ressourcen (im MIPS-Konzept „Material“ genannt) für dieses Produkt, diese Dienstleistung insgesamt eingesetzt werden. Bildet man daraus den Kehrwert, so erhält man eine Aussage über die Ressourcenproduktivität, d.h. man errechnet, wieviel Nutzen eine bestimmte Menge „Natur“ spenden kann.

Materialentnahmen und -abgaben verursachen Veränderungen in den natürlichen *Stoffflüssen* und *Kreisläufen*. Einst stabile Kreislaufsysteme geraten ins Wanken (siehe Treibhauseffekt). Dadurch werden akut und/oder dauerhaft Umweltbedingungen geändert.

MIPS – als richtungssicherer und praktikabler Indikator – zeigt die Innovationspotenziale eines ressourcenschonenden Wirtschaftens (Nutzen- und Dienstleistungsmanagement, Kosten- und Ressourceneffizienz etc.). Dieses zukunftsfähige Wirtschaften findet durch das MIPS-Konzept sowohl auf der betrieblichen Ebene als auch auf der überbetrieblichen, der branchenweiten, der wirtschaftsraumbezogenen oder der regionalen, nationalen und globalen Ebene Verwirklichung bzw. Unterstützung. Durch die Verzahnung der Handlungen auf all diesen Ebenen tragen alle Material-Input-bezogenen Optimierungen zu einer Steigerung der *lebenszyklusweiten* oder gesamtwirtschaftlichen Ressourcenproduktivität bei.

MIPS berechnet die Ressourcenverbräuche an der Grenze ihrer Entnahme aus der Natur: alle Angaben entsprechen den in der Natur bewegten Tonnen, also den oben genannten Kategorien biotisches oder nachwachsendes Rohmaterial, abiotisches oder nicht nachwachsendes Rohmaterial, Wasser, Luft und Bodenbewegung in Land- und Forstwirtschaft (inkl. Erosion). Alle Materialverbräuche während Herstellung, Nutzung und Entsorgung/Recycling werden auf Ressourcenverbräuche zurückgerechnet. Das findet für Energieverbräuche oder auch Transporte über einfache Verrechnungsfaktoren statt, die in t/MWh oder t/tkm ausgedrückt werden. Dahinter verbergen sich komplexe Systemanalysen, die z.B. pro Energieträger und Kraftwerkstyp Ressourcenverbräuche angeben. Das vereinfacht die Hochrechnung und bleibt trotzdem richtungssicher. MIPS wird dadurch praktikabel, verständlich und harmonisierbar.

Auch Unternehmen können so mittels MIPS lebenszyklusweite Umweltbetrachtungen ihrer Produkte und Dienstleistungen zeitnah und mit überschaubarem Aufwand vornehmen. Zudem bietet MIPS den entscheidenden Vorteil, dass sich aus den Analysen und Berechnungen Potenziale für Produkt- und Prozess-Innovationen ableiten lassen, mit denen derzeitige bzw. zukünftige Märkte gehalten oder erschlossen werden können. Der entscheidende Unterschied zu den am Output, an den Emissionen ausgerichteten Indikatoren ist daher die aktive Ausrichtung hin zu zukunftsfähigen Produkten und Dienstleistungen und nicht die Reduktion von Emissionen bestehender Produkte.

### Aber MIPS sagt indirekt noch mehr:

Jeder Material-Input wird früher oder später zu einem *Output*, also zu *Abfall* oder *Emission*. Wenn ohnehin jeder *Input* irgendwann zu einem Output wird, so kann man durch das Messen der Inputs zu einer groben Abschätzung des gesamten *Umweltbelastungspotenzials* kommen. Die meisten Methoden zur Beurteilung der ökologischen Qualität von Produkten untersuchen dagegen eine Auswahl von Outputs (Emissionen), deren Umweltrelevanz bekannt oder zumindest in Teilen beschrieben ist. Verglichen mit der Vielzahl freigesetzter Substanzen (einige Hunderttausend bis Million) ist die Anzahl der Substanzen mit gut und umfassend untersuchter Wirkung (wenige Hundert) jedoch sehr gering.

Betrachten wir jedoch die Inputs, so werden indirekt auch die Outputs (quantitativ) mit erfasst: Inputs werden durch Prozesse zu Outputs – dabei sind aber leider nur die wenigsten Outputs nutzbar bzw. gewünscht (nur die Produkte)! Wir erhalten mit der Messung der Inputs zwar keine (qualitative) Wirkungsabschätzung, jedoch einen wertvollen (quantitativen) Indikator für die Umweltbelastungspotenziale eines Produktes oder einer Dienstleistung. Damit eignet sich MIPS als Indikator des vorsorgenden Umweltschutzes und füllt eine Lücke, die andere ökologische Bewertungsverfahren hinterlassen. MIPS ist stoffunspezifisch, vorsorgeorientiert und wendet sich damit durch das Ziel der Verringerung der Stoffflüsse gegen bekannte wie auch noch nicht bekannte Umweltprobleme.

### Lebenszyklusweite Betrachtungen:

Für MIPS gilt das gleiche wie für jede andere Form der ökologischen Bewertung: Um aussagekräftig zu sein, muss sie immer lebenszyklusweit erfolgen. Bei einer lebenszyklusweiten Betrachtung werden alle Phasen der Produktlebensdauer analysiert, also:

- Herstellung (einschließlich Rohstoffförderung, der Produktion von Vorprodukten, Transporte und Vertrieb),
- Nutzung (einschließlich aller Verbräuche, Transporte und Reparaturen) und
- Recycling und/oder Entsorgung.

Diese lebenszyklusweite Betrachtung ist notwendig, weil den Produkten oft nicht angesehen werden kann, zu welchen Umweltbeeinträchtigungen es während ihrer Herstellung gekommen ist und mit welchen die Nutzung verbunden ist. Diese Umweltwirkungen tragen die Produkte – im Sinne des MIPS-Konzeptes – als unsichtbaren „ökologischen Rucksack“ mit sich herum.

Mit MIPS wird versucht, diese Aspekte aufzuzeigen und so zu einer Betrachtung der lebenszyklusweiten Ressourcenverbräuche zu kommen. MIPS rechnet lebenszyklusweit und weltweit, damit führt es auch die „exportierten“ Umwelteingriffe vor Augen. Dem MIPS-Konzept liegt dabei die Auffassung zugrunde, dass die möglichen Umweltwirkungen eines Produktes / einer Dienstleistung anhand des lebenszyklusweiten Material-Inputs bewertet werden können: Je weniger Rohstoffe eingesetzt werden, umso weniger Umweltschäden entstehen.

Gebrauchstaugliche Indikatoren zur Bestimmung relevanter Umweltbelastungspotenziale müssen folgenden Anforderungen genügen: Sie müssen

- ▶ transparente und reproduzierbare Schätzungen von Umweltbelastungspotenzialen für alle Verfahren, Güter und Dienstleistungen von der Wiege bis zur Bahre gewährleisten.
- ▶ wissenschaftlich fundiert sein.
- ▶ in der praktischen Anwendung einfach zu handhaben sein, sowie kosten- und zeiteffizient sein.
- ▶ richtungssichere Antworten geben.
- ▶ praktisch und konzeptionell einen Bezug zur Wirtschaft und Wirtschaftlichkeit haben.
- ▶ auf allen Ebenen anwendbar sein – lokal, regional und global.

#### Einwurf:

Die lebenszyklusweite Betrachtung ist zu teuer und zu zeitaufwendig.

#### Antwort:

Die Effekte und Maßnahmen, sowie die Anstöße zu Produkt- und Prozessinnovationen stärken die Wirtschaft und über treffen meist die getätigten Investitionen bei weitem.

### Lebenszyklusweite Betrachtungen

**A)** Soda kommt sowohl als synthetische Soda (Solvay-Verfahren) als auch als natürliche Soda (Sodaseen) in den Handel. Beide Sodaarten haben unterschiedliche Material-Intensitäten, aber vergleichbare Verwendungseigenschaften.

**B)** Noch ist es so, dass der größte Umweltverbrauch von Pkw in der Nutzungsphase auftritt. Mit sinkendem Kraftstoffverbrauch und steigender Komplexität der Fahrzeuge ändert sich jedoch das Verhältnis von Herstellung und Nutzung. Die Herstellung gewinnt an Bedeutung.

**C)** Um ein angenehmes Raumklima zu erzielen, kann man entweder heizen oder die Wärmedämmung verbessern. Die Dämmung ist produktionsintensiv (hoher Ressourcenverbrauch bei der Herstellung), die Beheizung nutzungsintensiv (hoher Verbrauch bei der Nutzung).

**D)** Verlagerung der Herstellung von Massengütern/Grundwerkstoffen und die damit verbundenen Umwelteinwirkungen aus Industrieländern in Entwicklungs- und Schwellenländer, z.B. Metall- und Lederherstellung.

**E)** Das Waschen (und immer mehr auch das Trocknen in Trocknern) von Textilien verursacht bekanntermaßen hohe Umweltverbräuche. Die ebenso hohen oder gar höheren Ressourcenverbräuche bei der Herstellung entlang der globalen Produktionskette werden aber häufig vor allem von den Verbrauchern nicht wahrgenommen.

Im Folgenden einige Erläuterungen zur Veranschaulichung lebenszyklusweiter Untersuchungen (links befinden sich dazu einige Beispiele):

- ▶ Häufig werden ähnliche Produkte ganz unterschiedlich hergestellt und weisen daher auch unterschiedliche Umweltbelastungen auf. Die einzelnen Lebenszyklusphasen sind nicht unabhängig voneinander. Bei jeder Optimierung muss daher darauf geachtet werden, dass Veränderungen an einer Stelle auch an anderen Stellen Veränderungen hervorrufen können. Eine effizientere Herstellung nützt möglicherweise nichts, wenn gleichzeitig die Lebensdauer herabgesetzt wird oder der Wartungsaufwand steigt. Ziel muß immer die insgesamt beste Lösung sein. Ein Hersteller/Anbieter beeinflusst auch die Nutzung! (Beispiele **A, B, D, E**).
- ▶ Die Bedeutung verschiedener Lebenszyklusphasen kann für verschiedene Produkte sehr unterschiedlich sein. So gibt es Produkte, die materialintensiv in der Produktion sind, d.h. der größte Umweltverbrauch findet bei der Herstellung statt, und solche Produkte, die materialintensiv in der Nutzung sind, d.h. der größte Umweltverbrauch findet in der Nutzung statt (Beispiel **B**).
- ▶ Bisweilen sollen auch Lösungen verglichen werden, bei der eine Variante nutzungsintensiv ist und eine andere produktionsintensiv (Beispiel **C**).
- ▶ Die Bedeutung der einzelnen Phasen kann sich durch die Weiterentwicklung von Produkten verändern oder umkehren. Wer dauerhaft nur eine Phase des Lebenszyklus optimiert, wird u.U. nicht erkennen, dass inzwischen eine andere bedeutender geworden ist (Beispiele **B, E**).
- ▶ In vielen Fällen finden nicht alle Phasen des Lebenszyklus eines Produktes in der gleichen Region statt. Das führt dazu, dass man häufig nur die Umweltbeeinträchtigungen wahrnimmt, von denen man selber betroffen ist. Daher optimiert man vielfach Prozesse oder Produkte aufgrund der eigenen (beschränkten) Wahrnehmung. Die vorgelagerten Probleme werden oft exportiert und dann nicht mehr, oder nur noch verzerrt, registriert (Beispiel **D**).
- ▶ Relevante Handlungsfelder werden nicht immer gleich erkannt (Beispiel **E**).

## Serviceeinheit

Wenn unterschiedliche Lösungsvarianten verglichen werden sollen, ist es notwendig, einen Vergleichsmaßstab zu haben. Im MIPS-Konzept wird dieser Maßstab *Serviceeinheit* genannt. Mit der Verwendung der Serviceeinheit wird auch der Vergleich materieller und „nicht-materieller“ Dienstleistungserfüllung möglich.

## Der Unterschied zwischen MIPS, MIT und MI

In einigen Fällen reicht es aus, anstelle des auf einen bestimmten Nutzen/Service bezogenen MIPS-Wertes nur den MI-Wert zu berechnen. Will man z.B. verschiedene Werkstoffalternativen miteinander vergleichen, so liefert der Material-Input (MI) zur Herstellung von jeweils 1 Tonne Werkstoff eine vorerst ausreichende Aussage. Diesen auf eine Gewichtseinheit bezogenen Material-Input bezeichnet man dann als Material-Intensität (MIT). Material-Intensitäten können auch z.B. für Energieträger, Strom oder Transportmöglichkeiten berechnet werden (siehe MI-Faktoren): sie werden dann nicht in den Einheiten [t/t] oder [kg/kg] angegeben, sondern z.B. in [kg/MWh] oder [kg/tkm (*Tonnenkilometer*)]. Werden diese Material-Intensitäten dann z.B. bei dem Vergleich von zwei Strommasten aus Stahl und Holz verwendet, so werden aus den Material-Intensitäten durch ihren Bezug auf eine Serviceeinheit (hier „Stromkabel für eine bestimmte Zeitspanne in einer vorgegebenen Art und Weise über dem Erdboden halten“) wieder MIPS-Werte.

## Systemgrenzen und Abschneidekriterien

### Systemgrenzen

Bei der Durchführung einer Analyse nach dem MIPS-Konzept werden alle technisch verursachten Stoffbewegungen in der Natur (*Ökosphäre*) betrachtet. Es werden alle Materialien gezählt, die vom Menschen aus ihrem *natürlichen Lagerplatz* heraus bewegt werden.

Damit ziehen wir eine Systemgrenze zwischen der Ökosphäre – der natürlichen Umwelt – und der *Technosphäre*, die alle Aktivitäten des Menschen umfasst. Die Technosphäre ist in die Ökosphäre eingebettet und tauscht mit ihr Stoffe aus. Auf der einen Seite fließen Ressourcen in die Technosphäre, aus denen wir unseren Wohlstand schaffen. Man spricht hier vom Input. Auf der anderen Seite werden diese Ressourcen früher oder später in der gleichen oder in einer völlig anderen Form auch wieder an die Natur zurückgegeben, etwa in Form von Abraum, Abfällen, Abgasen oder Abwasser (Output).

Für lebenszyklusweite Analysen ist – theoretisch – diese Systemgrenze die einzige, da alle Stoffbewegungen aus der Ökosphäre in die Technosphäre gezählt werden müssen. Praktisch sind aber interne Systemgrenzen, sog. Abschneidekriterien, zur Eingrenzung der Arbeit notwendig.

### Maßstab „Serviceeinheit“:

Einen solchen Maßstab benötigen wir, da wir z.B. zur Überwindung der räumlichen Distanz zwischen zwei Orten als schienengebundenes Fahrzeug den Regionalexpress, den Intercity oder den Intercity Express benutzen können. Als wesentliche Serviceeinheit lässt sich hier der „Personen-transport von (z.B.) Köln nach Wuppertal“ annehmen. So können die verschiedenen Transportmittel miteinander verglichen werden. Wenn gleich hier der Nutzen also noch als sehr ähnlich angenommen wird, so kann er doch spezifisch und vor allem subjektiv betrachtet sehr unterschiedlich sein, man denke nur z.B. an die in den ICE 3 reservierbaren Business-Abteile für Geschäftsreisende. Ungeachtet der subjektiven, weil menschlichen Bedürfnisunterschiede, ist ein Vergleich auf der Ebene der Personen-kilometer dennoch für die meisten Anwendungen eine ausreichende Abstraktion. Die Nutzer können andere Indikatoren wie z.B. Beinfreiheit, Belegungsquote zusätzlich in ihre persönlichen Entscheidungen integrieren.

MIPS  $\triangleq$  Material-Input pro Serviceeinheit

$$\triangleq \frac{MI}{S}$$

MI  $\triangleq$  Material-Input (Summe der verbrauchten Ressourcen)

MIT  $\triangleq$  Material-Intensität (Material-Input bezogen auf z.B. eine Gewichts-, Energie- oder Transporteinheit)

Es empfiehlt sich, immer die Einheiten zu notieren und eindeutig zwischen MI, MIT und MIPS zu unterscheiden.



### Ein Beispiel für die Komplexität von Systemen:

Zur Herstellung eines Wollpullovers muss Wolle aus Australien nach Deutschland transportiert werden. Dafür ist ein Frachter notwendig, der aus Stahl besteht, welches in einem Stahlwerk produziert wird. Dieses Stahlwerk muss errichtet werden, wofür Baumaterial aus Steinbrüchen oder Baggerseen gewonnen werden muss, dafür braucht man wieder Geräte aus Stahl ... (Hier wird ersichtlich, dass jedes System beliebig komplex werden kann. Es ist daher notwendig, nur die für das Produkt bzw. den Service relevanten Systemelemente zu betrachten und zu berechnen. Was „relevant“ ist, hängt u.a. von den spezifischen Stoffströmen, aber auch vom Untersuchungsziel und -rahmen ab – siehe „Abschneidekriterien“.)

### Abschneidekriterien

Durch die MIPS-Analyse soll der gesamte Ressourcenverbrauch ermittelt werden, der durch das betrachtete Produkt bzw. dessen Nutzung verursacht wird. Diese Betrachtung ist allerdings sehr umfangreich, da die *Vorketten* zum Teil sehr lang und verzweigt sein können. Deshalb ist es notwendig, bei einer Betrachtung nicht nur zwischen Ökosphäre und Technosphäre abzugrenzen, sondern auch zwischen dem betrachteten Produktlebenszyklus und der restlichen Technosphäre. Sprich: *Prozessketten*, die für die ökologische Bewertung des betrachteten Produktes irrelevant sind (z.B. das Schiff und seine Produktion für den Transport der Wolle nach Deutschland, denn das Schiff wird so häufig genutzt, dass es pro transportiertem Produkt keine nennenswerten Stoffströme erzeugt). Man braucht daher eine zweite Abgrenzung: Abschneidekriterien. Diese werden unter praktischen und methodischen Gesichtspunkten festgelegt. Durch die Festlegung der Abschneidekriterien werden bestimmte Vorketten nicht berücksichtigt und zwar solche, die von vernachlässigbarem Einfluss auf das Endergebnis sind. Dazu können z.B. die *Produktionsmittel*, die *Produktionsgebäude* oder auch die Herstellung der *Hilfs- und Betriebsstoffe* gehören. Stoffbewegungen in einem System bzw. *Prozess* können z.B. so klein sein, dass sie vernachlässigt werden können. Ab wann dies der Fall ist, legen die Abschneidekriterien fest. Abschneidekriterien sollten aber sorgfältig überlegt und überschlägig geprüft werden, damit nicht wesentliche Ressourcenströme unberücksichtigt bleiben.

Wichtig ist es, Systemgrenzen und Abschneidekriterien zu dokumentieren und insbesondere bei Vergleichen einheitlich zu ziehen bzw. anzulegen (gleiche Betrachtungstiefe).

### MI-Kategorien

Im MIPS-Konzept werden die Material-Inputs getrennt nach fünf verschiedenen Inputkategorien erfasst. Diese fünf Kategorien sind:

- abiotische Rohstoffe,
- biotische Rohstoffe,
- Bodenbewegung in der Land- und Forstwirtschaft (mechanische Bodenbearbeitung oder Erosion),
- Wasser und
- Luft.

Die Aufteilung in diese fünf Kategorien ist in der Entwicklung und langjährigen Anwendung des MIPS-Konzeptes entstanden und wird nahezu einheitlich praktiziert. Auch die nationalen und internationalen Statistiken verwenden zunehmend diese Kategorien zur Materialflussrechnung, so dass die Informationssysteme auf Makro- und Mikroebene zueinander passen.

Durch die Unterscheidung der Inputs in die genannten Kategorien wird die klassische Trennung zwischen Boden, Wasser und Luft berücksichtigt. Der Boden als Ressource wird dabei im MIPS-Konzept in drei einzelne Kategorien aufgeteilt, um eine bessere Aussagekraft zu erreichen: abiotische Rohstoffe, biotische Rohstoffe und Bodenbewegungen.

Die Kategorie „Bodenbewegung in der Land- und Forstwirtschaft“ wird separat ausgewiesen, um zum einen den Verbrauch (Erosion) und zum anderen die Veränderung von Boden durch Ackerbau und Forstwirtschaft (mechanische Bodenbearbeitung) – auch ohne Ressourcenentnahme – aufzeigen zu können. Die Erosionswerte sind heute in der Regel bekannt bzw. ermittelbar und erreichen zum Teil erhebliche Größenordnungen (vgl. das Beispiel des T-Shirts auf Seite 30). Die aktiven Bodenbewegungen dagegen (z.B. das Pflügen des Ackerbodens) lassen sich derzeit aber noch schwer abschätzen bzw. zurechnen (obwohl sie keinesfalls „umweltneutral“ sind). Ziel ist es, aussagekräftige Werte für beide Arten der Bodenbewegungen zu erarbeiten.

Im Detail umfassen die fünf Kategorien die folgenden Inputs:

#### I. Abiotische Rohmaterialien

- ▶ mineralische Rohstoffe (verwertete Rohförderung, z.B. Erze, Sand, Kies, Schiefer, Granit)
- ▶ fossile Energieträger (u.a. Kohle, Erdöl, Erdgas) nicht verwertete Rohförderung (Abraum, Gangart etc.)
- ▶ bewegte Erde (z.B. Aushub von Erde oder Sediment)

#### II. Biotische Rohmaterialien

- ▶ Pflanzliche Biomasse aus Bewirtschaftung
- ▶ Biomasse aus nicht bewirtschafteten Bereichen (Planzen, Tiere etc.)

(Nutztiere befinden sich bereits in der Technosphäre, daher werden sie auf die der Natur unmittelbar entnommene Biomasse, z.B. pflanzliches oder tierisches Futter, zurückgerechnet.)

#### III. Bodenbewegungen in der Land- und Forstwirtschaft

- ▶ mechanische Bodenbearbeitung oder
- ▶ Erosion

#### IV. Wasser

- (unterschieden nach Prozess- und Kühlwasser)
- ▶ Oberflächenwasser
  - ▶ Grundwasser
  - ▶ Tiefengrundwasser

#### V. Luft

- ▶ Verbrennung
- ▶ Chemische Umwandlung
- ▶ physikalische Veränderung (Aggregatzustand)

## MI-Faktoren

Nicht alles muss neu berechnet werden, MI-Faktoren erleichtern die Arbeit! Seit der Entwicklung des MIPS-Konzeptes sind Wissenschaftler, Unternehmer, Berater, Trainer, Studenten und Praktikanten damit beschäftigt, MI-Faktoren für Stoffe und Module zu berechnen. Diese MI-Faktoren befinden sich u.a., soweit vom Wuppertal Institut validiert und freigegeben, auf der Homepage des Wuppertal Instituts und werden dort regelmäßig aktualisiert und erweitert. Eine Liste der vorhandenen MI-Faktoren ist hier nicht abgedruckt, da sie nicht aktuell bleiben würde. Links zu weiteren Quellen für MI-Faktoren befinden sich ebenfalls auf der genannten Homepage.

MI-Faktoren können bei MIPS-Berechnungen von Produkten und Dienstleistungen überall dort verwendet werden, wo allgemein gehandelte Stoffe (wie

Vor dem Start von detaillierten Berechnungen sollte geprüft werden, ob nicht bereits passende MI-Faktoren verfügbar sind.

[www.mips-online.info](http://www.mips-online.info)

z.B. Stahl, Aluminium, Beton, Kunststoff, Glas etc.) oder so genannte Module (Elektrizität, Transport etc.) eingesetzt bzw. benutzt werden. Dies hat den großen Vorteil, dass nicht jede einzelne Vorkette (z.B. die Vorkette des Stahls) von jedem Anwender neu berechnet werden muss. Die Anwendbarkeit dieser MI-Faktoren ist aber insofern beschränkt, da die Daten nicht für jegliche Situation gelten. So enthält z.B. das Modul „Energie“ MI-Werte für die Stromerzeugung unter Berücksichtigung von verschiedenen Energieträgern und Erzeugungssystemen. Sollen davon abweichende spezielle Prozessketten berücksichtigt werden (z.B. die Stromversorgung durch den Anbieter XY), so finden sich solche MI-Faktoren in der Regel nicht in öffentlich zugänglichen Listen, Datenbanken oder Publikationen. Sie müssten dann gesondert berechnet werden.

MI-Faktoren für elektr. Strom sind z.B.:

	abiotische Rohstoffe [t/t]	biotische Rohstoffe [t/t]	Wasser [t/t]	Luft [t/t]	Boden- bewegung [t/t]
elektrischer Strom (öffentl. Netz, BRD)	4,7	–	83,1	0,6	–
elektrischer Strom (industrielle Eigenerzeugung, BRD)	2,67	–	37,9	0,64	–
elektrischer Strom (europ. OECD-Länder)	1,58	–	63,8	0,425	–

MI-Faktoren für elektr. Strom nach Energieträgern (bezogen auf BRD) sind z.B.:

Strom aus	abiotische Rohstoffe [t/t]	biotische Rohstoffe [t/t]	Wasser [t/t]	Luft [t/t]	Boden- bewegung [t/t]
Kernenergie	0,31	–	79,5	0,005	–
Braunkohle	14 –	88,2	1,13	–	–
heimische Steinkohle	0,77	–	80,3	0,81	–
Erdgas	0,32	–	79,4	0,847	–
Laufwasser	0,13	–	0,1	0,005	–

Die Berechnung der MI-Faktoren erfolgt in gleicher Weise wie die nachfolgend beschriebene Berechnung des Material-Inputs von Produkten oder Dienstleistungen – nur dass hier als „Serviceeinheit“ z.B. die Gewichts- oder Volumeneinheit des Stoffes oder der Brennwert des Energieträgers verwendet wird. MI-Faktoren können für eine beliebige Anzahl von Stoffen und Modulen berechnet und in Listen bereitgestellt werden. Tatsächlich beinhaltet jede einzelne MIPS-Analyse eine Vielzahl von solchen MI-Faktoren (durch die prozessorientierte Datenerhebung lassen sich für die in einer Prozesskette verwendeten Stoffe MI-Faktoren berechnen).

## Die MIPS-Berechnung in sieben Schritten

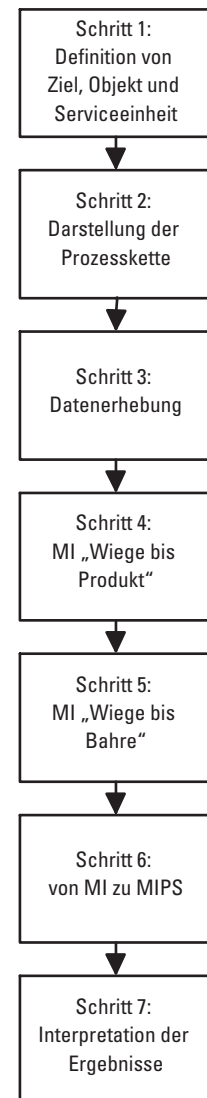
Bei der Berechnung von MIPS geht man in sieben Schritten vor. Diese Schritte sind grundsätzlich unabhängig davon, ob man die Berechnung manuell durchführt oder geeignete Computerprogramme verwendet.

Ausgangspunkt der Analyse/Berechnung ist die Definition des angestrebten Ziels, der zu untersuchenden Objekte und der zugrunde liegenden Serviceeinheit (Schritt 1), auf die alle Zahlenwerte bezogen werden. Sie ist die Basis für einen Vergleich unterschiedlicher Produkte oder Dienstleistungen. Anschließend wird der betrachtete Produktlebenszyklus als Prozesskette dargestellt (2), der die einzelnen Prozessschritte mit ihren Beziehungen untereinander abbildet. Dieser Arbeitsschritt dient der Strukturierung der Berechnung. Danach werden für jeden Prozess die Inputs und – soweit notwendig – die Outputs erhoben und in einem *Prozessbild* festgehalten (3). Für die Daten wird ein *Erhebungsbogen* verwendet, um ein einheitliches Vorgehen zu gewährleisten und um die Datenerhebung zu dokumentieren. Auf dieser Basis wird zunächst der Material-Input von der „Wiege bis zum Produkt“ berechnet (4), indem die erhobenen Daten mit MI-Faktoren, soweit sie vorhanden sind, verknüpft werden. Abschließend wird der Material-Input von der „Wiege bis zur Bahre“ errechnet (5). Hier fließen dann Daten aus den Lebenszyklusphasen „Nutzung“ und „Recycling/Entsorgung“ mit ein. Diese Unterscheidung ist aus mehreren Gründen sinnvoll:

- die Herstellung von Gütern wird in der Regel von den Produzenten bestimmt,
- die Nutzungsphase kann häufig durch den Nutzer individuell beeinflusst werden,
- Recycling- und Entsorgungssysteme können sehr unterschiedlich sein und sind häufig für heutige Neu-Produkte noch gar nicht bekannt,
- Analysen werden häufig nach „Produktion“ und „Nutzung“ von Gütern unterschieden.

Der Hersteller kann jedoch auch einen erheblichen Einfluss auf die Nutzungsphase eines Produktes ausüben, indem er z.B. bestimmte Produkteigenschaften unwiderruflich festlegt (z.B. den Stromverbrauch von Kühlgeräten).

Nachdem der Material-Input von der Wiege bis zur Bahre berechnet wurde, kann nachfolgend der Material-Input pro Serviceeinheit (MIPS) berechnet werden (6). In einem letzten Schritt erfolgt eine Interpretation der Ergebnisse (7).



### MI/MIT-Berechnung anstelle einer MIPS-Berechnung:

Will man dagegen nicht MIPS sondern „nur“ den Material-Input von Stoffen, Modulen oder Halbzeugen etc. berechnen (d.h. nur MI oder MIT), so fallen einzelne Aspekte in den jeweiligen Schritten (z.B. Definition der Serviceeinheit) bzw. die Schritte 5 und 6 komplett weg.

**Verwendung von Bilanzierungssoftware:**

MIPS kann grundsätzlich – genügend Zeit vorausgesetzt – auch mit einem spitzen Bleistift und ein paar Blättern Papier durchgeführt werden. Im Interesse des Anwenders sollte jedoch mindestens ein Tabellenkalkulationsprogramm eingesetzt werden. Ökobilanzierungsprogramme, d.h. Programme, die speziell für die Durchführung von Ökobilanzen, Stoffstromanalysen etc. konzipiert wurden, können teilweise auch für die Durchführung von MIPS-Analysen eingesetzt werden. Einige dieser Programme verbessern den Überblick über ein Projekt und garantieren einen konsistenten Datenbestand. Sie integrieren eine Vielzahl notwendiger oder hilfreicher Funktionen in einem Programm. Damit sind sie häufig die Voraussetzung, um zeit- und kosteneffizient Analysen durchzuführen. Dabei steht der unserer Erfahrung nach überschaubare Anschaffungs- und Einarbeitungsaufwand in einem sehr guten Verhältnis zum großen Nutzen. Zu den Programmen, die von uns eingehend begutachtet und unserer Meinung nach geeignet sind, gehören Gabi® vom Institut für Kunststoffprüfung und Kunststoffkunde (IKP) der Uni Stuttgart und PE Product Engineering GmbH, sowie Umberto® des Ifeu (Institut für Energie- und Umweltforschung, Heidelberg) und Ifu (Institut für Umweltinformatik, Hamburg). Weitere Informationen zu Umberto® können unter [www.ifeu.de](http://www.ifeu.de) bzw. [www.ifu.com](http://www.ifu.com) bezogen werden. Zu Gabi® sind Informationen unter [www.gabi-software.com](http://www.gabi-software.com) erhältlich. Diese Liste ist nicht abschließend. Es gibt einige weitere Softwaresysteme zur ökologischen Bewertung auf dem Markt. Sie sollten von jedem Anwender nach eigenen subjektiven Kriterien geprüft werden.

## Schritt 1: Definition des Ziels, der Objekte und der Serviceeinheit

Zu Beginn der MIPS-Berechnung muss man sich klar machen, um was es gehen soll! Das Ziel der Analyse und Berechnung muss ebenso definiert werden wie die zu betrachtenden Objekte. Generell ist zu unterscheiden zwischen einem Vergleich von mehreren Objekten, einer einzelnen Objektanalyse oder der Optimierung der Produktion oder des Nutzens von Objekten. Das Ziel der Analyse und die Analyseobjekte beeinflussen in großem Ausmaß die zu wählenden Systemgrenzen, aber auch das zur Durchführung notwendige finanzielle und personelle Budget. Anders gesagt: Wenn man sein Budget kennt, sollte man sich gut überlegen, welcher Analyseumfang damit zu bewerkstelligen ist, d.h. wie das Kosten-Nutzen-Verhältnis aussieht.

In den meisten Fällen, vor allem aber, um verschiedene Produkte vergleichen zu können, muss im ersten Schritt eine Größe festgelegt werden, auf die sich letztlich alle Daten beziehen. Diese Größe heißt im MIPS-Konzept (s. Seite 13) Serviceeinheit und gibt an, welchen Nutzen das betrachtete Produkt spendet. Die Serviceeinheit soll zudem den Blick auch auf nicht-materielle Produktalternativen bzw. innovative Dienstleistungsangebote lenken. Daneben zwingt die Festlegung einer Serviceeinheit auch dazu zu überprüfen, ob, wie und welche unterschiedlichen Dinge überhaupt verglichen werden können.

Bei der Berechnung von Zwischenschritten und -ergebnissen macht es in der Regel Sinn, sich noch nicht auf diese Serviceeinheit zu beziehen, sondern z.B. auf Gewichtseinheiten. Ein *Zwischenprodukt* (hier handelt es sich in der Regel um die so genannten „Halbzeuge“: z.B. ein Stahlblech, ein Fassadenteil etc.) erfüllt streng genommen noch keine Dienstleistung und kann hinsichtlich des Nutzens für das Endprodukt noch offen sein (ein Stahlblech kann Teil eines Autos, eines Hauses, eines Spielzeuges etc. werden oder aber auch gar nicht in ein Produkt eingehen, sondern „Produktionsabfall“ werden).

Aber wieso brauchen wir überhaupt eine bestimmte Vergleichsgröße, wenn wir doch nur zwei ganz einfache Dinge schnell miteinander vergleichen wollen? Ganz einfach: Weil selbst „ähnliche“ Güter einen unterschiedlichen Nutzen spenden können!

Sollen Transportsysteme betrachtet werden, könnte mit einigen Einschränkungen etwa der *Personenkilometer* (Pkm) als Vergleichsgröße für unterschiedliche Fahrzeuge gewählt werden. Wir werden dann sehen, dass ein Pkw pro Pkm günstiger ist als z.B. ein Lkw (natürlich ist dieser nicht für den Personenverkehr gebaut, aber so mancher Kleinlastwagen wird auch zum Personentransport eingesetzt). Ändern wir nun die Serviceeinheit und betrachten *Tonnenkilometer*, so zeigt sich, dass in der Regel der Lkw günstiger abschneidet als der Pkw (natürlich ist der Pkw nicht für ...).

Die Ergebnisse solcher Vergleiche können völlig unterschiedlich sein; bei gleichen Vergleichsobjekten! Eine pauschale Antwort auf die Frage, ist „A“ besser als „B“, kann es nicht geben. Die Antwort muss stets lauten: Unter der Annahme, unter den Umständen von XY ist „A“ besser als „B“, in anderen Situationen kann aber auch „B“ besser sein als „A“. Deshalb ist es außerordentlich wichtig, dass die Serviceeinheit angegeben und erklärt wird.

### Was ist ein „Service“?

Ein Service aus dem Bereich Textilien ist z.B. „saubere Wäsche“. Dieser Service kann mittels einer Waschmaschine, einer Handwäsche oder einer innovativen Neuentwicklung auf Produkt- oder Maschinenebene (z.B. neue Textilstoffe kombiniert mit neuartigem Reinigungsverfahren) bereitgestellt werden.

### Service von Zwischenprodukten:

Wollen wir zwei Pkw miteinander vergleichen und einigen uns auf die Serviceeinheit [Pkm], so macht es keinen Sinn, schon die Herstellung der Autobatterie auf diese Einheit zu beziehen. Der Material-Input pro Batterie [kg/Batterie] ist aber notwendig, um die Produktions- und Nutzungsphase eines Pkw zu analysieren. Autobatterien können auch ganz anders genutzt werden, z.B. zum Betrieb von Elektrozäunen.

### Service von komplexen Endprodukten:

Ein Pkw kann z.B. als stehende Werbefläche, als Chashtest-Fahrzeug oder als Privat-Fahrzeug oder als Taxi genutzt werden. Aus der Art der Nutzung ergeben sich unterschiedliche Ergebnisse für die jeweiligen Lebenszyklusphasen und bezogen auf die spezifischen Serviceeinheiten. So hat ein stehendes Auto (fast) keine Nutzungsverbräuche, ein Taxi hingegen sehr hohe.

### Service von Wegwerfprodukten:

Wegwerfprodukte besitzen oft eine klar definierte und kurze Gebrauchsphase. Auch die Bestimmung der Serviceeinheit ist relativ einfach. So erfüllt z.B. der Einweg-Plastikbecher den Zweck, ein Getränk zum Trinken bereitzuhalten. Danach wird er meist im Abfall landen.

Produktvergleiche können, abhängig von der spezifischen und als Bewertungsgrundlage angenommenen Nutzung, völlig unterschiedliche Ergebnisse liefern. Identische Produkte können bei geringer Nutzungsintensität einen hohen MI-Wert haben und bei hoher Nutzungsintensität einen geringen Ressourcenverbrauch – oder aber auch genau umgekehrt!

#### **So kann man z.B. den Service einer Einbauküche definieren:**

Der Stauraum einer Küche nach DIN 18022 wurde mit 2.061 Liter/Normküche berechnet. Für die Massivholzküche wurde eine Lebensdauer von 50 Jahren, für die Spanplattenküche von 20 Jahren angenommen. Als Dienstleistungseinheit kann ein Liter Stauraum pro Jahr definiert werden. Die Dienstleistungsdefinition der Küche könnte aber auch anhand der folgenden Funktionen gegliedert werden:

- ▶ Aufbewahren, Lagerhaltung,
- ▶ Vorbereiten, Zubereiten,
- ▶ Kochen, Braten, Backen, Aufwärmen,
- ▶ Anrichten,
- ▶ Essen,
- ▶ Reinigen, Spülen,
- ▶ Abfälle entsorgen.

Ein Dienstleistungseinheitenbezug hierauf ist aber ungleich komplexer!

Für die Festlegung einer Serviceeinheit sollten folgende Regeln beachtet werden:

- Die Serviceeinheit sollte es ermöglichen, viele unterschiedliche Produktalternativen miteinander zu vergleichen. Daher sollte sie möglichst allgemein formuliert werden.
- Die Serviceeinheit sollte alle wichtigen Nutzungsaspekte des Produkts widerspiegeln.

Zwischen diesen beiden Aspekten muss ein Kompromiss gefunden werden. Es ist nahezu auszuschließen, dass gleichzeitig beide Kriterien vollständig erfüllt werden können. Das liegt daran, dass der Nutzen, den selbst ein einfaches Produkt spendet, zu komplex ist, um einfach beschrieben zu werden – und daran, dass sich unterschiedliche Lösungsvarianten nun einmal unterscheiden (und deshalb nicht in allen Nutzungsaspekten identisch sind).

Daher muss man jeden Vergleich auf zentrale Produkteigenschaften/-nutzen beschränken. Andere Aspekte (z.B. Ästhetik, Tragekomfort, Ergonomie, individuelle Vorlieben) sind wichtig und müssen vor Entscheidungen mitbedacht werden, sind aber nicht Grundlage der begrenzten ökologischen Bewertung.

Es macht dennoch Sinn, einen Vergleich durchzuführen, da er auf Stärken und Schwächen von Produkten aufmerksam macht. Man ist genötigt, Dinge zu hinterfragen, und es wird das Augenmerk auf notwendige und vielleicht weniger wichtige Eigenschaften von Produkten gelenkt. So erhält man nicht nur eine Entscheidungshilfe, sondern lernt auch, seine Produkte besser zu verstehen und mögliche Alternativen zu entdecken.

Sehr viel einfacher kann es sein, wenn es sich um standardisierte oder genormte Produkte handelt (z.B. genormte Wälzlager, Schrauben, Werkstoffe etc.). In solchen Normen werden häufig sehr detaillierte Anforderungen an die Produkte formuliert. Bei der Konstruktion werden auch nur diese Eigenschaften berücksichtigt, so dass eine etwaige „Übererfüllung“ der Norm nicht berücksichtigt werden muss. Ein Verzicht auf die Definition einer Serviceeinheit ist nur unter bestimmten Bedingungen sinnvoll:

- Wenn nur ein nicht dienstleistungsfähiges Zwischenprodukt berechnet werden soll (z.B. ein Werkstoff oder ein Halbzeug);
- wenn Produkte nicht verglichen werden sollen, sondern „nur“ die Prozesskette optimiert werden soll (z.B. die Zementproduktion);
- wenn ohnehin feststeht, dass die zu vergleichenden Produkte die gleiche Dienstleistung erbringen (z.B. zwei Einmalbecher).

#### **Ergebnis von Schritt 1:**

Als Ergebnis dieses Schrittes wurde die Serviceeinheit des Vergleichs festgelegt. Zum Beispiel für einen Tragezyklus mit einem weißen T-Shirt bekleidet sein. Ein Tragezyklus besteht dabei z.B. aus zwei Tagen Nutzung und anschließendem Waschen und Bügeln.

## Praxisbeispiele

---

### Serviceeinheit bei Kleidung ...

Als „kleinster gemeinsamer Nenner“ kann für Bekleidungstextilien der Service, „für eine bestimmte Zeit bekleidet zu sein“, definiert werden. Dieses „bekleidet sein“ umfasst dabei nicht nur „Schutz“ als Grundnutzen von Kleidung, sondern auch „Wohlfühlen“ und „Ausdruck“. Als Bezugsgröße kann das „Personenjahr“ gewählt werden. Auf dieser Basis kann der Bekleidungsaufwand von Personen erfasst und verglichen werden.

Häufig wird es aber nicht gewünscht sein, den gesamten Bekleidungsaufwand einer Person zu ermitteln, sondern Produktvergleiche durchzuführen. Bei Kleidung könnte eine „klassische“ Frage lauten: „Sind Naturtextilien ressourcen-

produktiver als Kunstfaserprodukte?“ oder „Ist ein Baumwollpullover über den gesamten Lebensweg ressourcenschonender als ein Schurwollpullover?“ Bezugsgröße für einen solchen Vergleich können die Gesamtaufwendungen pro Tragezeit sein. Dazu könnte z.B. die Bezugsgröße „Pulloverjahr“ eingeführt werden. Die zu erbringende Dienstleistung müsste dabei über mehrere Schritte definiert werden. „Bekleidet sein; mit Oberbekleidung; im Winter, im Freien, in Freizeitsituation, für eine definierte Zeitspanne.“

### ... und Druckerpatronen

Hier kann als kleinster und gebräuchlichster Nenner „das Schreiben von Text oder das Zeichnen von Bildern in einer bestimmten Menge“ definiert werden. Druckerpatronen haben unterschiedliche Inhaltsmengen, unterschiedliche Funktionsweise etc., dennoch sind sie anhand der Anzahl bedruckter „Normseiten“ leicht miteinander zu vergleichen. Da Druckerpatronen in der Regel auch keinen ästhetischen oder sonstigen Nebenzweck erfüllen, ist hier die Definition der Serviceeinheit recht einfach. Und glaubt man den Herstellerangaben über die „Reichweite“ des Patroneninhaltes nicht, so kann man es relativ einfach selber testen.

---



## Schritt 2: Darstellen der Prozesskette

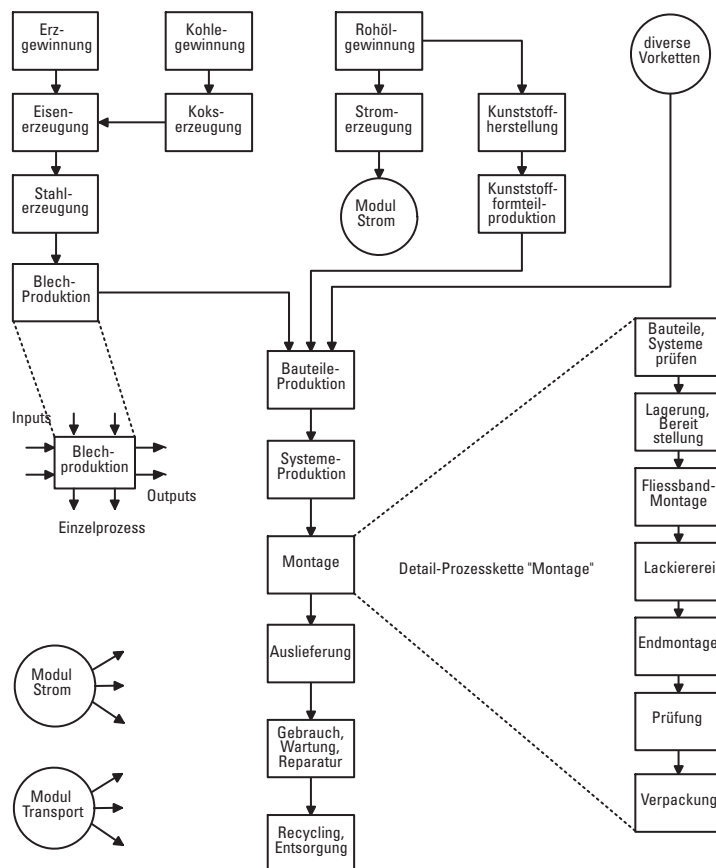
Erhebungsformulare sowie weitere Hilfen finden Sie unter [www.mips-online.info](http://www.mips-online.info)

Zur Strukturierung der Berechnung wird der Lebenszyklus des betrachteten Produkts bzw. der Dienstleistung als Prozesskette abgebildet. In unten stehendem Schaubild sind im Idealfall alle Prozesse dargestellt, die zur Herstellung, zur Nutzung und zur Entsorgung des betrachteten Produkts notwendig sind. Auf diese Art und Weise erhält man einen Überblick über die zu betrachtenden Prozesse. Informationslücken lassen sich leichter erkennen. Beim Aufstellen von Prozessketten empfiehlt es sich, unterschiedlich detaillierte Darstellungen zu wählen. So kann man den Überblick über einen Gesamtprozess behalten und zugleich einzelne Abläufe mit der notwendigen Detaillierung betrachten.

Bevor man jedoch auch alle Vorprodukte in der Prozesskette detailliert darstellt, sollte man überprüfen, ob diese Stoffe nicht bereits berechnet und analysiert wurden (MI-Faktoren). Eine genaue Untersuchung macht natürlich nur dort Sinn, wo sie noch nicht erfolgt ist oder in der vorliegenden Form nicht verwendet werden kann.

### Ergebnis von Schritt 2:

Das Ergebnis dieses Schrittes ist eine oder ein System von Prozessketten, das zeigt, welche Prozesse zur Herstellung eines Produktes oder zur Erfüllung des Service inkl. vorgelagerter Verarbeitungsschritte notwendig sind.



### Schritt 3: Datenerhebung

Im dritten Schritt werden für jeden identifizierten Prozess die notwendigen Daten erhoben. Alle erhobenen Daten sollten mit Quelle, Bezugsjahr, erläuternden Hinweisen, genauen Mengen, verwendeten Einheiten etc. dokumentiert werden. Hierzu bietet es sich an, soweit man keine der angesprochenen Software einsetzt, einheitliche Erhebungsformulare zu verwenden.

Die Datenerhebung (und -validierung) ist der wichtigste und in den meisten Fällen auch der aufwendigste Schritt bei einer MIPS-Analyse.

Datenquellen können sein:

- Direkte Messungen: sie liefern spezifische Daten und (meist) verlässliche Ergebnisse.
- Interviews: sie liefern oft Daten aus erster Hand (Experteninterviews bzw. -einschätzungen).
- Literaturwerte: sie sind oft die einzige Möglichkeit, an Daten über Vorgänge zu kommen, die außerhalb des Unternehmens liegen. Dabei können Fachbücher ebenso herangezogen werden wie Zeitschriftenaufsätze und Artikel aus Fachlexika. Für die Literaturrecherche können Datenbanken vielfach hilfreich sein.

Oft verbleiben nach Nutzung dieser Quellen jedoch Datenlücken. Daher wird es immer wieder notwendig sein, „qualifizierte Abschätzungen“ vorzunehmen. Für eine Abschätzung braucht man jedoch Fachwissen und/oder Informationen über vergleichbare Prozesse. Theoretische Berechnungen können insbesondere bei verfahrenstechnischen Prozessen wichtige Daten liefern.

Entscheidend ist, dass die Datenherkunft genau dokumentiert wird, insbesondere dann, wenn Abschätzungen vorgenommen werden.

Werden Abschätzungen für ein eigenes Produkt durchgeführt, so ist darauf zu achten, dass nicht durch zu vorteilhafte Annahmen das eigene Produkt unrealistisch gut beurteilt wird. Insbesondere bei Vergleichen mit Konkurrenzprodukten (oder *Durchschnittsprodukten*) sollten für diese in einem ersten Schritt *Minimumabschätzungen* vorgenommen werden, wohingegen für das eigene Produkt *Maximumabschätzungen* vorgenommen werden sollten. Nur wenn auch bei einem solchen Vergleich das eigene Produkt besser ist, kann man sich sicher sein, dass dies auch noch bei einer detaillierteren Betrachtung der Fall ist. Für ausführlichere Untersuchungen sollten bei fehlenden Daten sowohl Minimum- als auch Maximumabschätzungen durchgeführt werden, um so die Spannweite des Ergebnisses zu ermitteln.

Es ist meistens sehr nützlich und hilfreich, mehrere Datenquellen zur Verfügung zu haben. Auch wenn eigene Messergebnisse vorliegen, können Literaturangaben oder eigenes Fachwissen für eine Plausibilitätsprüfung sehr hilfreich, sinnvoll oder notwendig sein. Da es leider nie auszuschließen ist, dass man sich bei der Datenerhebung verrechnet, dass man eine fehlerhafte Messung durchgeführt oder dass man einfach nicht alle Daten erhoben hat, sollte man zumindest besonders gute oder schlechte Ergebnisse nochmals prüfen.

Datenlücken werden durch „qualifizierte“ Abschätzungen gefüllt!

Grundsätzlich steht jedes Ergebnis auf dem Prüfstand, auch „erwartete“ Ergebnisse können Fehler aufweisen!

Wenn Abweichungen von Literaturdaten auftreten, sollte man die Abweichungen erklären können!

Es gilt: Wenn bei den Grunddaten erhebliche Abweichungen von Literaturdaten auftreten, sollte man bemüht sein, die Ursache herauszufinden bzw. diese Abweichungen erklären zu können!

Die ermittelten (oder zur Verfügung stehenden) Daten werden in der Regel sehr heterogen sein. Grundsätzlich ist zwischen allgemeinen und spezifischen Daten zu unterscheiden.

*Allgemeine Daten* stellen Durchschnittswerte dar und beziehen sich auf eine *Produktklasse* (z.B. weißes Baumwoll T-Shirt, Größe L). Allgemeine Daten spiegeln branchenspezifische oder nationale Durchschnittswerte wider. *Spezifische Daten* gelten hingegen nur für das betrachtete Produkt unter den speziellen Bedingungen.

Ein weiterer wichtiger Unterschied ist der *Geltungsbereich* der Daten. So können für einen Produktionsprozess in Südamerika nicht dieselben Elektrizitätserzeugungssysteme unter den gleichen Rahmenbedingungen angesetzt werden wie für den gleichen Prozess in Deutschland. Ebenso sollten sich die ermittelten Daten auf denselben Zeitraum (Lage und Dauer) beziehen, um saisonale Schwankungen bzw. veränderte Rahmenbedingungen auszuschließen (z.B. Jahresmittelwerte). Etwa bei landwirtschaftlichen Produkten oder beim Heizenergieverbrauch kann es auch nötig sein, mehrjährige Mittelwerte heranzuziehen. Insbesondere bei Vergleichen mit neuen Produkten und Produktionsprozessen kann es aber schwierig sein, an diese Werte zu gelangen (nur ein Jahrgang vorhanden). Dann muss man sich u.U. auf ein einzelnes Jahr beziehen und sollte zugleich auf den möglicherweise begrenzten Geltungsbereich hinweisen. In einem warmen Winter lohnt sich eine bessere Wärmedämmung eben weniger als in einem kalten.

Grundsätzlich gilt jedoch, dass die Datenqualität für die Qualität der später errechneten Werte entscheidend ist. Bei der Erfassung der Daten sollten einige allgemeine Regeln beachtet werden:

Die Datenqualität ist entscheidend für die Qualität der errechneten Ergebnisse!

Am Ende der Datenerhebung ist es anzuraten, festzustellen, wie viele der in der Prozesskette eingezeichneten Stoffströme tatsächlich mit Daten belegt werden konnten und mit welchen.

- Die Stoffstromgrößen werden in einer geeigneten Gewichtseinheit (kg, t etc.) angegeben.
- Es ist wichtig, dass zusammen mit der Zahlenangabe die Einheit vermerkt wird. Manch überraschendes Ergebnis lässt sich so vermeiden. Quantitative Angaben ohne Einheit sind immer falsch.
- Unter Input werden zum einen die in den Prozess eingehenden primären Rohstoffe aufgelistet. Sie werden in die fünf genannten Kategorien differenziert. Diese Inputs haben keine Vorketten, sie treten in der Regel auch nur in denjenigen Prozessen auf, die am Anfang der Prozesskette liegen (Ausnahme: Verbrennungsluft und teilweise Wasser). Zum anderen werden alle weiteren – nicht mehr primären – Inputs aufgelistet: Stoffe, Energieträger, Vorprodukte, Module, Infrastruktur, Hilfs- und Betriebsstoffe. Diese Inputs haben vorgelagerte Prozessketten und werden darin berechnet oder es liegen MI-Faktoren für sie vor.
- Unter Output werden sowohl alle produzierten Haupt- und Nebenprodukte, als auch Abfälle, Abwasser, Abluft und Emissionen in Boden, Wasser und Luft aufgeführt.

- Nicht alle In- und Outputs müssen erfasst werden. Dies hängt u.a. von der Wahl und Festlegung der Systemgrenzen und der Abschneidekriterien ab. Abfälle, Abwasser, Abluft und Emissionen müssen im Sinne des MIPS-Konzeptes nur dann erfasst werden, wenn sie eine weitere Behandlung erfahren (z.B. Recyclinganlage oder Abluftreinigung) und damit weiteren Material-Input erzeugen.
- Für jedes Material, jede Energieform, jedes Vorprodukt etc. soll die Datenquelle verzeichnet sein.
- Besondere Angaben, also etwa zusätzliche Erklärungen zur Quelle, Datengüte, etc., sollten ebenfalls vermerkt werden.

„klassische“ Fallstricke:

- Quantitative Angaben ohne Einheit sind immer falsch!
- Man kann nur Vergleichbares vergleichen!
- Das Umrechnen von Einheiten kann tückisch sein!

### **Ein Plädoyer für SI-Einheiten (Système International d'Unités)**

Werden Umrechnungen in andere Einheiten vorgenommen, sollten immer auch die ursprünglichen Angaben dokumentiert werden. Bei der Umrechnung ist es auch wichtig zu erkennen, ob man die ursprünglichen Einheiten korrekt interpretiert. Eine Tonne muss nicht unbedingt 1000 kg wiegen, es könnte auch eine U.S. (short) ton (907,185 kg) sein, vielleicht ist es aber auch eine britische (long) ton mit 1016 kg. Hat man dann noch zusammengesetzte Einheiten und weiß nicht, was ein möglicher Vorsatz bedeutet, kann ein vorzeitiges Ende aller Bemühungen drohen. Ganz hilfreich ist es auch, sich zu vergegenwärtigen, dass eine Milliarde „very british“ one billion ist!

### **Ergebnis von Schritt 3:**

Nach diesem Schritt hat man eine Übersicht über die stofflichen und energetischen In- und Outputs der einzelnen Prozesse bei der Herstellung eines Produktes und darauf aufbauender Dienstleistungen. Zugleich hat man die gewonnenen Daten einer ersten Überprüfung nach ihrer Schlüssigkeit unterzogen. Datenlücken wurden erkannt und konnten (zumindest mit Abschätzungen) behoben werden.

## Datenerhebung und Erfassung mit Erhebungsbögen

Für die Datenerhebung und Erfassung können Erhebungsbögen verwendet werden (siehe [www.mips-online.info](http://www.mips-online.info)). In einem solchen Bogen werden alle stofflichen und energetischen In- und die wesentlichen Outputs eines Prozesses erfasst. Weitere Angaben, etwa Flächenbelegung, können ergänzend eingefügt werden, sind jedoch nicht Gegenstand von MIPS.

Der Erhebungsbogen wird in einen Input- und einen Outputteil unterteilt. Zur weiteren Strukturierung der Erhebung werden die einzelnen In- und Outputs noch in unterschiedliche Erhebungskategorien eingeordnet. Für die *Inputs* sind dies die Erhebungskategorien

- ▶ natürliche Inputs (Entnahmen aus den natürlichen Lagerstätten):
  - ▶ Abiotische Rohstoffe
  - ▶ Biotische Rohstoffe
  - ▶ Bodenbewegungen
  - ▶ Wasser
  - ▶ Luft
- ▶ vorbehandelte, bearbeitete Inputs (alle bereits behandelten, veränderten Rohstoffe):
  - ▶ Grund-, Werk- und Baustoffe
  - ▶ Energieträger
  - ▶ Vorprodukte
  - ▶ Module
  - ▶ Infrastruktur
- ▶ Hilfs- und Betriebsstoffe

### Bemerkung:

Abiotische und biotische Rohstoffe und Bodenbewegungen treten in den Erhebungsbögen bei den weiterverarbeitenden Prozessen in der Regel nur noch selten auf, da hier vornehmlich vorbehandelte Stoffe und Vorprodukte eingesetzt werden.

### natürliche Inputs

Abiotische Rohstoffe:

- ▶ Alle unmittelbar der Natur entnommenen, noch nicht bearbeiteten, abiotischen Rohstoffe, also z.B. Erze in einem Erzbergwerk, nicht verwertete Förderung etc.

### Biotische Rohstoffe

- ▶ Alle pflanzlichen Rohstoffe aus Bewirtschaftung und Nicht-Bewirtschaftung sowie alle tierischen Rohstoffe aus nicht-bewirtschafteten Bereichen (Tiere aus Bewirtschaftung werden über den Einsatz von Pflanzen etc. berechnet).

### Bodenbewegungen

- ▶ Alle Bodenbewegungen in der Land- und Forstwirtschaft, also gepflügter Boden oder Erosion.

### Wasser

- ▶ Alles unmittelbar der Natur entnommene Wasser. Hierbei wird nach der Art der Verwendung zwischen Prozess- und Kühlwasser unterschieden. Eine weitere Unterscheidung erfolgt nach Art der Entnahme zwischen Oberflächenwasser, Grundwasser und Tiefen(grund)wasser (Trinkwasser ist bereits behandeltes Wasser, daher ein Vorprodukt und wird hier nicht gelistet).

### Luft

- ▶ Jede unmittelbar entnommene Luft, soweit sie chemisch oder physikalisch (Aggregatzustand) verändert wird.

### vorbehandelte, bearbeitete Inputs:

#### Grund-, Werk- und Baustoffe

- ▶ Stoffe, Substanzen etc., die im betrachteten Prozess eingesetzt werden und dafür in vorgelagerten Prozessen hergestellt wurden (z.B. Stahl, PVC, Glas, Chemikalien).

#### Energieträger

- ▶ Thermische oder nicht thermisch umgesetzte Träger von Energie (z.B. Brennholz, Erdöl, Erdgas oder Kohle).

#### Vorprodukte

- ▶ Halbzeuge, Bauteile, Elemente etc., die im betrachteten Prozess eingesetzt werden und dafür in vorgelagerten Prozessen hergestellt wurden.

#### Module

- ▶ Für einige sehr wichtige und ständig wiederkehrende Leistungen (z.B. Elektrizität, Transporte, Trinkwasser) können Module berechnet werden bzw. sind Module berechnet worden. Diese bieten für eine größere Anzahl von Anwendungsfällen angepasste Werte.

### Infrastruktur

- ▶ Alle Einrichtungen, die für den Prozess benötigt werden, dabei aber nicht „verbraucht“ bzw. eingesetzt werden (Produktionsgebäude, Produktionsmittel etc.).

### Hilfs- und Betriebsstoffe

- ▶ Hilfsstoffe: Stoffe, die in den Prozess eingehen, aber nur eine Hilfsfunktion erfüllen; Betriebsstoffe: Stoffe, die zur Aufrechterhaltung der betrieblichen Prozesse dienen und nicht in das Produkt eingehen.

### Sonstiges

- ▶ Alle Inputs, die nirgendwo anders aufgelistet werden können.

Die *Outputs* werden in den Erhebungskategorien „Hauptprodukte“, „Nebenprodukte“, „Abfälle“, „Abwasser“, „Abluft“ und „Emissionen“ eingeordnet.

Abwasser und Abluft sind nur dann verpflichtend aufzunehmen, wenn sie durch eine nachgeschaltete Behandlung (z.B. Deponie, Filter, Kläranlage) weitere Rohstoffe verbrauchen. Emissionen können aufgeführt werden, müssen sie aber nicht.

## Outputs

### Hauptprodukte

- ▶ Alle Produkte, für die der Prozess ursächlich betrieben wird.

### Nebenprodukte

- ▶ Alle sonstigen wirtschaftlich verwertbaren Produkte, für die der Prozess jedoch nicht ursächlich betrieben wird.

### Abfälle

- ▶ Alle wirtschaftlich nicht verwertbaren Stoffe. Zu unterscheiden nach Abfällen, die einer Verwertung, einem Recycling oder Abfällen, die einer Entsorgung zugeführt werden.

### Abwasser

- ▶ Alles an die Kanalisation bzw. den Vorfluter abgegebene Wasser.

### Abluft

- ▶ Alle Trägergase fester, flüssiger oder gasförmiger Emissionen.

### Emissionen

- ▶ Alle von einer Anlage / einem Prozess ausgehenden Verunreinigungen von Boden, Luft und Wasser.





## Schritt 4: Berechnung des Material-Inputs „Von der Wiege bis zum Produkt“

In diesem Schritt soll nun der Material-Input bis zum fertigen Produkt berechnet werden. Wenn das Ziel der Untersuchung „nur“ die MI-Berechnung für einen Stoff, ein Modul, ein Halbzeug etc. ist, so gelten die nachfolgenden Ausführungen nahezu analog.

Für diese Berechnungen verwendet man die Daten und Werte, die in Schritt 3 (Datenerhebung) erhoben wurden. Ausgehend von den Prozessen der direkten Ressourcenentnahme, werden stufenweise die darauf aufbauenden Prozesse durchgerechnet und die jeweiligen Material-Inputs (in kg) bzw. die Material-Intensitäten (z.B. in kg/kg oder kg/MJ) der jeweiligen Zwischenprodukte bestimmt.

Für eine Vielzahl von Prozessen oder Stoffen wurden bereits MI-Faktoren berechnet. Auf diese kann gegebenenfalls zurückgegriffen werden. Das trifft insbesondere für Energieträger zu, gilt aber ähnlich auch für eine Vielzahl häufig eingesetzter Grund-, Werk- und Baustoffe. Eine Liste dieser Werte kann von der Homepage ([www.mips-online.info](http://www.mips-online.info)) heruntergeladen werden. Diese Listen werden regelmäßig aktualisiert. An gleicher Stelle finden sich auch Vorlagen für Erhebungs- und Berechnungsbögen.

Die Berechnung des Material-Inputs (MI) erfolgt dabei durch Multiplikation der einzelnen Einsatzmengen mit den spezifischen Material-Intensitäten (MIT) der Einsatzstoffe. Werden diese Teilergebnisse aufsummiert, erhält man den Material-Input des jeweiligen Zwischenproduktes. Hierbei ist zu beachten, dass während der Erhebung und Berechnung nur innerhalb der einzelnen Kategorien (z.B. abiotisches Rohmaterial) aufsummiert wird.

Für Produkte (Zwischenprodukte), die in Gewichtseinheiten gehandelt werden (etwa Wolle im Gegensatz zu einem Pullover), empfiehlt es sich, als Ergebnis die Material-Intensität anzugeben, d.h. den Material-Input pro kg des Gutes. Da für solche Produkte oder Zwischenprodukte keine Serviceeinheit definiert werden kann, ist es nicht möglich, einen MIPS-Wert zu errechnen.

Hierbei ist zu beachten, dass die Material-Intensität die Einheit [kg/kg] trägt. Abweichend davon ist es notwendig, für gewichtslose Güter, etwa elektrischer Strom oder Wärme, die Angabe der Material-Intensität in einer anderen geeigneten Einheit also z.B. kg/kWh zu machen. Im Zähler erscheint immer eine Gewichtseinheit (Material) und im Nenner eine für das Produkt übliche Einheit.

Ein wesentlicher Aspekt bei der Berechnung des Material-Inputs und der Material-Intensität kann die Abgrenzung von *Hauptprodukten* und *Nebenprodukten* sein. Unter Hauptprodukten fassen wir alle Produkte zusammen, für die der Prozess ursächlich betrieben wird. Der Material-Input eines Prozesses wird dem Hauptprodukt zugerechnet oder auf die unterschiedlichen Hauptprodukte nach Gewichtsanteilen aufgeteilt. Nebenprodukte sind Produkte, die auch marktfähig sind, für die der Prozess jedoch nicht ursächlich betrieben wird, etwa weil der Marktpreis zu gering ist oder weil sie „zusätzlich“ anfallen. Ihnen wird der Material-Input des Prozesses nicht zugerechnet, ihnen wird nur der eventuell zusätzlich entstehende Aufwand zur Weiterverarbeitung zugewiesen. Diese Zuordnung kann aber von Fall zu Fall unterschiedlich und von Rahmenbedin-

Material-Input  
= Einsatzmenge x Material-Intensität  
MI = Menge x MIT  
in Einheiten: kg = kg x kg/kg  
oder kg = MJ x kg/MJ  
oder kg = Pkm x kg/Pkm  
usw.

Die einzelnen Kategorien untereinander werden nicht aufsummiert, sondern getrennt ausgewiesen.

Der Material-Input hat die Einheit [kg].

Material-Intensität trägt die Einheit [kg/Mengeinheit] z.B. [kg/kg], [kg/kWh] etc.

### Ein Beispiel:

Wird die Wärme bei der Stromerzeugung nur abgeleitet, so ist sie eine Emission; wird sie dagegen in ein Fernwärmenetz eingespeist, so ist sie i.d.R. ein Nebenprodukt (für welches aber weitere Aufwendungen notwendig sind: Aufbau und Betrieb des Fernwärmenetzes). Baut man aber ein Blockheizkraftwerk, so sind Strom und Wärme beides Hauptprodukte.



gungen abhängig sein. Daher ist die Frage von Haupt- und Nebenprodukten eine zentrale Fragestellungen bei einer MIPS-Analyse und sollte schon bei der Festlegung der Systemgrenzen beachtet werden.

### Stromverbrauch eines T-Shirts:

Die bei der Produktion des beispielhaften T-Shirts verbrauchten knapp 3 kWh elektrischer Strom können, je nach Primärenergieträgerart, sehr unterschiedliche MI-Werte erzeugen.

So kann sich der MI-Wert des T-Shirts in der Spanne zwischen

- ▶ 1,03 kg (reale Stromwerte aus der analysierten Produktionskette) und
- ▶ ca. 40 kg (bei Strom z.B. ausschließlich aus Braunkohle)

bewegen. Wäre das T-Shirt also komplett in Deutschland (BRD-Mix) produziert worden, so wäre der abiotische MI-Wert mindestens 15 kg!

### Ergebnis von Schritt 4:

Der Material-Input pro Produkt wurde berechnet. Für ein bestimmtes T-Shirt heißt das z.B. ein Ressourcenverbrauch von:

- abiotisches Rohmaterial 2,0 kg
- biotisches Rohmaterial 1,2 kg
- Wasser 1480,0 kg
- Luft 12,5 kg
- Erosion 223,0 kg

(darin sind 2,83 kWh elektrischer Strom enthalten)

Der „ökologische Rucksack“ dieses T-Shirts ist demnach:

$$\begin{aligned}
 &= \text{MI (TMR)} - \text{Eigengewicht} \\
 &= 226,2 \text{ kg} - 0,17 \text{ kg} \\
 &= 226,03 \text{ kg!}
 \end{aligned}$$

## Praxisbeispiele

### Haupt- und Nebenprodukt

Schafe werden aus unterschiedlichen Gründen gehalten.

- ▶ In Deutschland ist es überwiegend der Landschaftsschutz oder die Deichpflege. Fleisch ist oft nur ein Nebenprodukt, Wolle meist Abfall.

- ▶ In skandinavischen Ländern werden Schafe meist des Fleisches wegen gehalten. Wolle ist Nebenprodukt oder Abfall.
- ▶ In Australien ist neben Fleisch auch Wolle Hauptprodukt.

Würde man jedoch einen mongolischen Nomaden fragen, so würde er die Frage vermutlich nicht verstehen: Das Schaf wird natürlich gehalten weil es Fleisch, Milch und Wolle liefert. Die Kultur ist so stark mit den Haustieren verbunden, dass alle Produkte intensiv genutzt werden.

### **Berechnung des Material-Inputs mit einem Berechnungsbogen**

Für die Berechnung des Material-Inputs kann ein Berechnungsbogen verwendet werden (siehe Abb. S. 33). Mit diesem Berechnungsbogen wird der Material-Input einzelner Prozessschritte (und damit für Zwischenprodukte) bzw. für Produkte berechnet.

In diesem Berechnungsbogen werden wie im Erhebungsbogen der Name des Prozesses und die Bezugsgröße verzeichnet. Daneben werden alle Einsatzstoffe mit ihrer Inputmenge gemäß Erhebungsbogen erfasst. Für die eigentliche Berechnung werden die Einsatzstoffe bzw. die Einsatzmengen mit den jeweiligen Material-Intensitäten der fünf Erhebungskategorien verknüpft. Dafür enthält der Bogen eine Spalte mit der Einsatzmenge des jeweiligen Stoffes und für jede der fünf Erhebungskategorien jeweils zwei Spalten. In der jeweils ersten Spalte wird die Material-Intensität der eingesetzten Vorprodukte eingetragen. In der jeweils zweiten Spalte wird durch Multiplikation von Material-Intensität und Einsatzmenge der Beitrag der einzelnen Einsatzstoffe zum Material-Input des Prozesses/Produktes berechnet. Durch Summation dieser einzelnen Material-Inputs ergibt sich der gesamte Input in den jeweiligen Erhebungskategorien.

## Schritt 5: Berechnung des Material-Inputs „Von der Wiege bis zur Bahre“

Zur Berechnung des systemweiten Material-Inputs von Produkten oder Dienstleistungen werden für alle Prozesse einer Produktlinie jeweils ein Erhebungsbogen und ein Berechnungsbogen erstellt. So können die Ressourcenverbräuche z.B. lebensabschnittsweise zusammengefasst bzw. für einzelne Prozessabschnitte getrennt ausgewiesen werden.

Für alle Ressourcenverbräuche bis zum Produkt erfolgt die Berechnung in Schritt 4. Die Mehrzahl der Produkte verursacht jedoch nicht nur bei der Herstellung Ressourcenverbräuche, sondern auch bei der Nutzung und Entsorgung. Diese Verbräuche sind häufig nutzerabhängig oder werden durch den spezifischen Einsatzzweck eines Produktes bestimmt. Daher sollen diese Ressourcenverbräuche in diesem Schritt getrennt von der Herstellung berechnet werden.

### Praxisbeispiele

Neben dem Herstellungsaufwand verursacht die Nutzung eines T-Shirts durch die notwendigen Waschvorgänge weitere Ressourcenverbräuche. Diese liegen in der Regel über dem Aufwand für die Produktherstellung. Reparaturen spielen

gegenwärtig bei den meisten Textilien keine relevante Rolle – etwa im Gegensatz zu Schuhen.

### Ergebnis von Schritt 5:

Zusätzlich zu der Herstellung des Produktes wurden nun die Aufwendungen für die Nutzung und Entsorgung berechnet und zugerechnet. Also z.B. 100 Tragezyklen eines T-Shirts → Herstellung + 100 x Waschen + 100 x Bügeln.

- abiotisches Rohmaterial            119,5 kg
- biotisches Rohmaterial            1,2 kg
- Wasser                                4200,0 kg
- Luft                                     40,0 kg
- Erosion                                223,0 kg

Als Ergebnis erhält man den Material-Input eines Produktes bei angenommener Nutzung über alle Lebensphasen.



## Schritt 6: Vom Material-Input zu MIPS

In diesem letzten Schritt der eigentlichen Berechnung erfolgt der Bezug auf die Serviceeinheit. Dabei ergibt sich MIPS, d.h. der Material-Input pro Serviceeinheit, aus einer Division des Material-Inputs durch die Anzahl der Serviceeinheiten. MIPS hat die Einheit [Gewicht bewegte Natur / Dienstleistungseinheit] oder [Gewicht bewegte Natur / Produkt (bzw. Produktgewicht)]. MIPS wird getrennt nach den fünf MI-Kategorien (abiotisches Rohmaterial, biotisches Rohmaterial, Bodenbewegung, Wasser und Luft) ausgewiesen.

### Ergebnis von Schritt 6:

Das Ergebnis von Schritt 5 wurde nun auf die Serviceeinheit bezogen. Da als Serviceeinheit ein Tragezyklus definiert wurde, muss für die Berechnung des MIPS-Wertes das Ergebnis von Schritt 5, das sich auf 100 Tragezyklen bezieht, durch 100 geteilt werden.

- abiotisches Rohmaterial 1,2 kg
- biotisches Rohmaterial 0,01 kg
- Wasser 42,0 kg
- Luft 0,04 kg
- Erosion 2,2 kg

Mit diesem Ergebnis können dann Vergleiche, etwa zu einem T-Shirt, das nur eine Lebensdauer von 20 Tragezyklen hat, durchgeführt werden. Wenn man dann als Serviceeinheit z.B. „5 Jahre mit einem T-Shirt bekleidet sein“ nimmt, so lassen sich hier die spezifischen Werte ausrechnen. Bei einem langlebigen T-Shirt fällt dann z.B. nur eine Produktion an, wobei ein „kurzlebiger“ T-Shirt mehrmals produziert werden müsste. Die Nutzungsaufwendungen (Waschen etc.) bleiben aber pro Tragezyklus immer gleich.

## Schritt 7: Interpretation der Ergebnisse

Im Anschluss an die Datenerhebung und die Berechnung des Material-Inputs, der Material-Intensität oder des MIPS-Wertes kommt die Auswertung und Interpretation der Ergebnisse.

Eine abschließende Interpretation der Kategorie Bodenbewegung ist derzeit nicht möglich. Es ist offensichtlich, dass unsere Art der Land- und Forstwirtschaft, Pflugwirtschaft und Monokulturen, einen sehr erheblichen Eingriff in die natürliche Umwelt darstellt. Diese Eingriffe gilt es zu reduzieren (z.B. die in dem mitlaufenden Beispiel erkennbar sehr hohen Werte für Erosion).

Bei der Auswertung der Ergebnisse ist es zulässig und oftmals sinnvoll, die Kategorien „abiotische Rohstoffe“, „biotische Rohstoffe“ sowie „Bodenbewegung“ (hier aber nur die „Erosion“) *gleichwertig* zusammenzufassen. Dabei ist jedoch darauf zu achten, dass eine Differenzierung in die unterschiedlichen Kategorien möglich bleiben muss. Die Summe dieser Kategorien kann als Leitindikator der Betrachtung aufgefasst werden und wird „Total Material Requirement“ (TMR; oder zu deutsch: Globaler Materialaufwand (GMA)) genannt. Dieser Indikator wird auch z.B. bei der Ressourcenberechnung von Wirtschaftsräumen verwendet.

Die Kategorie „Wasser“ sollte stets separat betrachtet werden, da Eingriffe in den Wasserhaushalt regional sehr unterschiedliche Auswirkungen haben. Unterscheidungen in Prozess- und Kühlwasser helfen zu vermeiden, dass durch hohe Kühlwasserverbräuche die spezifische Aussagekraft dieses Wertes unnötig erschwert wird.

In der Kategorie „Luft“ wird die verschiedene Nutzung der Luftbestandteile (Verbrennung, chemische Umwandlung und physikalische Veränderung) zusammenfassend betrachtet. Durch den Anteil der „Verbrennungsluft“ werden indirekt auch die CO<sub>2</sub>-Emissionen erfasst. Auch die Kategorie „Luft“ sollte nicht mit anderen Kategorien zusammengefasst werden.

Hinsichtlich der Aussagekraft eines Vergleiches sollte man auch überprüfen, wieviel Prozent der Inputs wirklich analysiert wurden und wieviel Prozent nur abgeschätzt wurden. Der Anteil der analysierten und berechneten Inputs sollte „möglichst groß“ sein.

### Ergebnis von Schritt 7

Bei einem Vergleich unterschiedlicher Möglichkeiten konnten die zu bevorzugenden Alternativen ermittelt werden. Besonders materialintensive Prozessschritte wurden ausfindig gemacht. Auf der Grundlage dieser Ergebnisse können nun geeignete Optimierungsstrategien ausgewählt werden.

Zur Besonderheit der Kategorie „Bodenbewegung“:

Bodenbewegung umfasst die „aktive“ Bewegung des Pflügens eines Ackerbodens und die „passive“ (ausgelöste) Bewegung der Erosion. Da derzeit verlässliche und belegbare Zahlen über den Umfang der aktiv bewegten Erde nur unzureichend vorhanden sind, umfasst die Kategorie „Bodenbewegung“ momentan nur die Werte für die Bodenerosion.

TMR ist insofern die Summe der abiotischen und biotischen Rohstoffe und der Erosion. Diese Konvention gilt bis auf weiteres. Aktuelle Entwicklungen können auf der Homepage verfolgt werden.

## Optimierungsstrategien

Häufig liegt der Sinn einer MI(PS)-Analyse in der Optimierung der verwendeten Stoffe der betrachteten Produkte oder Dienstleistungen. Mögliche Ansätze sind in der folgenden Abbildung dargestellt:

- Material-Input-Reduktion innerhalb der betrachteten Prozesskette (Prozessoptimierung),
- Material-Input-Reduktion im Produkt (Produktoptimierung),
- Erhöhung der Serviceeinheit, des Nutzens (Produktoptimierung),
- Vergleich von Produkt- oder Dienstleistungsalternativen.

Optimierungsmöglichkeiten eröffnen sich generell in allen Phasen des Lebenszyklus. Natürlich macht eine Optimierung dort am meisten Sinn, wo sich die größten Einsparungen erzielen lassen. Dies herauszufinden, und zwar immer mit dem Blick auf den gesamten Lebenszyklus, ist ein erster wichtiger Schritt: die so genannte „hot spot Analyse“. Sind die optimierbaren Prozesse bekannt, kann eine Prioritätenliste nach Umfang der potenziellen Ressourcen- und Kosteneinsparungen aufgestellt werden. Nun stellt sich die Frage, welche von diesen Prozessen eigenverantwortlich verändert werden können, welche in indirekter Verantwortung liegen und welche nicht oder nur schwer beeinflussbar sind. Danach können als optimierbar eingestufte Prozesse folgendermaßen eingeteilt werden:

- Prozesse in direkter Verantwortung: z.B. firmeninterne Prozesse,
- Prozesse in indirekter Verantwortung: z.B. Prozesse bei Lieferanten oder Kunden,
- Prozesse außerhalb der direkten eigenen Einflussnahme: z.B. Rohstoffgewinnung, Energieerzeugung.

Zu welcher der drei oben genannten Kategorien die jeweiligen Prozesse gehören, ist sehr von der spezifischen Situation abhängig. So kann z.B. auch ein firmeninterner Prozess in der Automobilzulieferindustrie keinen Handlungsspielraum lassen, da die Vorgaben seitens des Auto-Konzerns zu restriktiv sind. Dagegen kann der MI-Wert der Stromerzeugung z.B. durch eine, zumindest teilweise, eigene Stromerzeugung (BHKW, Solarenergie) unmittelbar beeinflusst werden. Prozesse können zusätzlich noch nach der Art ihrer Optimierungsansätze eingeteilt werden. Hier einige Beispiele:

Beispiele für die Reduktion des Material-Inputs (MI):

- Auswahl von Werkstoffen (z.B. Einsatz von Rezyklaten),
- Auswahl von Produktionsmitteln (z.B. Einsatz von energieeffizienten Maschinen; Wasserkreislaufführung),
- spezielle Oberflächentechnologien zur Verminderung von z.B. Korrosion, Reibung, Verschmutzung (z.B. Nutzung des „Lotus Effekts“ zur Verringerung der Oberflächenverschmutzung),

- Design (z.B. auswechselbare Küchenfronten zur Anpassung an Modestile, ressourcenschonender Gebrauch),
- Transport (z.B. einfache, robuste Transportmöglichkeiten, kleine Wege),
- Verpackung (z.B. Mehrwegsysteme),
- stoffliches Recycling, Entsorgung (z.B. lösbare Verbindungen, Rezyklierbarkeit, geringe Materialvielfalt).

Beispiele für die Erhöhung der Serviceeinheit (S):

- Gebrauch, Nutzung (z.B. Sparwaschgänge bei Waschmaschinen, Abschaltoptionen für Kühlfächer, Mehrfach-, Multi- oder Zusatznutzen, lange Lebensdauer),
- Wartung, Instandhaltung (z.B. Austauschoptionen für Verschleißteile, Upgrading-Möglichkeit),
- Wieder- oder Weiterverwendbarkeit (z.B. Mehrfachnutzen von Messeständen, Senfglas wird zum Trinkglas),
- Dienstleistungsangebote mit optimiertem Ressourceneninput (z.B. Verleih von selten genutzten Werkzeugen und Maschinen).

Bei den hier genannten Beispielen handelt es sich lediglich um einige typische Optimierungsansätze. In der konkreten Anwendung wird es in der Regel weitere spezifische Optimierungsmöglichkeiten geben.



### **Implementation im Unternehmen:**

Soll das MIPS-Konzept umfassend als ökologische Bewertungsmethode in das Unternehmen integriert werden, so empfiehlt es sich, falls noch nicht geschehen, mit einem Pilotprojekt anzufangen. In einem solchen zeitlich und inhaltlich begrenzten Projekt können sich die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter anhand von einem oder wenigen Referenzobjekten mit dem MIPS-Konzept vertraut machen. Hier hat sich u.a. folgende Vorgehensweise bewährt:

- ▶ Treffen der relevanten Beschäftigten (Design, Planung, Produktion, Ein- und Verkauf etc.), der Entscheidungsträger im Management, evtl. Lieferanten, Kunden, Anspruchsgruppen.
- ▶ Brainstorming: Sammeln von Ideen (z.B. mittels Mind-mapping).
- ▶ Herausarbeiten der vielversprechendsten Ideen (zum Beispiel mittels subjektiver Bepunktung durch die Teilnehmer).
- ▶ Bewerten der Ideen nach bestimmten Aspekten (z.B. betriebliches Know-how, Konkurrenzlage, Wertschöpfung etc.).
- ▶ Die „besten“ Ideen detailliert gegenüberstellen.
- ▶ Auswahl der „besten“ Idee und Planung und Umsetzung der notwendigen Maßnahmen.

Erst nach erfolgreichem und zufriedenstellendem Pilotprojekt werden Inhalte und Methodik des MIPS-Konzeptes Schritt für Schritt in die einzelnen Abteilungen und Geschäftsprozesse integriert.

Eine umfassende Darstellung der mit der Umsetzung und Implementierung verbundenen Aspekte hätte den Rahmen dieser Veröffentlichung gesprengt. Bei Bedarf nennen die Autoren Ihnen gerne kompetente Ansprechpartner zur Umsetzung des MIPS-Konzeptes in Ihrem Unternehmen oder Ihrer Organisation.

Weitere Informationen dazu finden Sie auf [www.mips-online.info](http://www.mips-online.info)

# Glossar

**Abfall** sind Stoffe oder Produkte, die entweder recycelt (Abfälle zur Verwertung) oder entsorgt (Abfälle zur Entsorgung) werden müssen.

**Abiotische Rohstoffe** sind alle unmittelbar der Natur entnommenen, noch nicht bearbeiteten, abiotischen Materialien, also z.B. Erze in einem Erzbergwerk, nicht verwertete Förderung, Bodenaushub für die Herstellung eines Kellers/Hauses etc.

**Abluft** oder Abgase sind Trägergase fester, flüssiger oder gasförmiger Emissionen.

**Abwasser** ist das durch häuslichen, landwirtschaftlichen, gewerblichen und industriellen Gebrauch verschmutzte Nutzwasser (im weiteren Sinne wird auch das abfließende Niederschlagswasser sowie Sickerwasser von Drainagen und Sickerleitungen zum Abwasser gerechnet), das über die Kanalisation in den Vorfluter gelangt.

**Allgemeine Daten** beziehen sich auf Produktklassen, typische oder durchschnittliche Produkte.

**Berechnungsbogen** dienen zur systematischen und strukturierten Berechnung einzelner Prozesse. Sie stehen auf der angegebenen Homepage zur Verfügung.

**Betriebsstoffe** sind Stoffe, die zur Aufrechterhaltung der betrieblichen Prozesse dienen, aber nicht unmittelbar in die Produkte eingehen (z.B. Putzmittel und Lappen).

**Biotische Rohstoffe** sind alle unmittelbar der Natur entnommenen biotischen Materialien, also z.B. Bäume, Fische, Baumwolle vor der Verarbeitung.

**Bodenbewegungen** umfassen alle Bewegungen von Boden in der Land- und Forstwirtschaft, also gepflügter Boden, Erosion.

**Brennwert:** Unter dem Brennwert  $H_O$  (früher oberer Heizwert) versteht man das Verhältnis der bei der vollständigen Verbrennung frei werdenden Wärmemenge zur Masse des verbrannten Stoffes. Beim Brennwert wird nicht berücksichtigt, dass die nutzbare Wärmemenge in der Regel durch die für das Verdampfen des vorhandenen oder entstehenden Wassers reduziert ist.

**Durchschnittsprodukte** repräsentieren eine ganze Produktklasse. Einzelne spezifische Produkte können in ihren Eigenschaften deutlich von Durchschnittsprodukten abweichen.

**Emissionen:** Von einer Anlage ausgehende Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlen und ähnliche Erscheinungen.

**Erhebungsbogen** dienen zur systematischen und strukturierten Datenerhebung für einzelne Prozesse. Sie stehen auf der angegebenen Homepage zur Verfügung.

**Energieträger** sind thermisch oder nichtthermisch genutzte Träger von Energie (z.B. Erdöl, Kohle oder Brennholz).

**Geltungsbereich** der Daten gibt an, in welchem Rahmen und unter welchen Bedingungen die Daten angewandt werden können.

**Grund-, Werk- und Baustoffe** sind Stoffe bzw. Substanzen, die in einen Prozess eingesetzt werden und dafür in vorgelagerten Prozessen hergestellt wurden (z.B. Stahl, PVC oder Glas).

**Hauptprodukt** sind wirtschaftsfähige Güter, die in einem Prozess entstehen und für die der Prozess ursächlich betrieben wird.

**Heizwert:** Unter dem Heizwert  $H_U$  (früher unterer Heizwert) versteht man das Verhältnis der bei der vollständigen Verbrennung frei werdenden Wärmemenge zur Masse des verbrannten Stoffes. Beim Heizwert wird berücksichtigt, dass die nutzbare Wärmemenge i.d.R. durch die für das Verdampfen des vorhandenen oder entstehenden Wassers reduziert ist. Daher ist der Heizwert kleiner als der Brennwert. In der Technik wird fast ausschließlich der Heizwert verwendet.

**Hilfsstoffe** sind Stoffe, die in einen Prozess eingehen, aber nur eine Hilfsfunktion erfüllen (z.B. Trennmittel).

**Infrastruktur:** Alle zur Produktion von Gütern notwendigen Produktionsmittel und -maschinen werden hier zusammenfassend als Infrastruktur bezeichnet.

**Input** umfasst alles, was in einem Prozess eingesetzt wird.

**Kreisläufe:** Eine Reihe natürlicher aber auch technischer Stoffflüsse können in Kreisläufen erfolgen. Ein typisches Beispiel ist der natürliche Wasserkreislauf.

**Lebenszyklusweit:** Alle Lebensphasen eines Produktes umfassend, d.h. von der Rohstoffgewinnung über die Produktion und Nutzung bis zum Recycling/Entsorgung.

**Luft** wird im MIPS-Konzept gezählt, soweit diese chemisch oder physikalisch (Aggregatzustand) verändert wird.

## Glossar

**Material-Input (MI)** umfasst alle stofflichen Inputs, die zur Herstellung eines Guts oder der Erbringung einer Dienstleistung notwendig sind. Einheit: [kg oder t].

**Material-Intensität (MIT)** ist der auf eine Mengeneinheit bezogene Material-Input, Einheit: [kg/kg oder kg/MJ etc.].

Material-Intensität = Material-Input / Gewicht

**MI-Faktoren:** Hier werden die Material-Intensitäts-Werte für einzelne Stoffe oder Module genannt, Einheit: [kg/kg oder kg/MJ etc.].

**Minimumabschätzungen** werden vorgenommen, indem man die minimal möglichen Material-Inputs erfasst. Sie werden durchgeführt, wenn komplette Berechnungen nicht möglich sind und man den minimalen Ressourcenverbrauch als Vergleichsgröße zugrunde legen will.

**MIPS** ist die Abkürzung von Material-Input pro Serviceinheit, Einheit: [kg/S].

$MIPS = MI / S$

**Module** enthalten Daten zu Vorprodukten oder Vorleistungen, die häufig benötigt und verwendet werden. Es handelt sich hierbei um Durchschnittswerte. In der Regel gelten Module für einzelne Regionen, Branchen etc. (Transportmodul, Elektrizitätsmodul etc.).

**Maximumabschätzungen** werden vorgenommen, indem man die maximal möglichen Material-Inputs erfasst. Sie werden durchgeführt, wenn komplette Berechnungen nicht möglich sind und man den maximalen Ressourcenverbrauch als Vergleichsgröße zugrunde legen will.

**Natürlicher Lagerplatz** von Ressourcen ist der Ort, an dem die Ressourcen vorzufinden sind und dem sie zur weiteren Bearbeitung entnommen werden (z.B. Kohleflöz).

**Nebenprodukte** sind wirtschaftsfähige Güter, die in einem Prozess entstehen, ohne dass der Prozess ursächlich zu ihrer Herstellung betrieben wird.

**Nutzungsintensiv** sind Produkte, bei denen die Nutzung im Vergleich zur Herstellung große Ressourcenverbräuche verursacht.

**Ökologischer Rucksack:** Der ökologische Rucksack berechnet sich aus dem Material-Input abzüglich des Eigengewichts des Produktes, Einheit: [kg].

Ökologischer Rucksack = MI – Eigengewicht

**Ökosphäre** ist die natürliche Umwelt des Menschen.

**Output** umfasst alles, was den Prozess verlässt.

**Personenkilometer:** Die Anzahl beförderter Personen multipliziert mit den zurückgelegten Kilometern ergibt die Anzahl der Personenkilometer [Pkm].

**Produktionsintensiv** sind Produkte, bei denen die Herstellung im Vergleich zur Nutzung große Ressourcenverbräuche verursacht.

**Produktklasse:** Bei Vergleichen können außer realen/konkreten Produkten auch Vergleiche mit Produktklassen durchgeführt werden, also z.B. weiße Baumwoll-T-Shirts.

**Produktionsgebäude** sind die Gebäude, in denen die Prozesse stattfinden. Sie können als Infrastruktur den Prozessen über die Lebensdauer der Gebäude zugeordnet werden.

**Produktionsmittel** sind Maschinen, Anlagen, Werkzeuge etc., die zur Durchführung der Prozesse benötigt werden, in den Prozessen aber nicht verbraucht werden.

**Prozess** nennt man einen Vorgang (z.B. Maschine, Verfahren, Gebrauch), bei dem Inputs in Outputs gewandelt werden. Dabei muss es mindestens einen gewünschten Output geben (z.B. geformtes Blech, eine Chemikalie oder der Transport eines Gutes).

**Prozessbild** ist die schematische Darstellung der In- und Outputs eines einzelnen Prozesses.

**Prozesskette** ist die Darstellung des Prozesssystems mit den einzelnen Prozessen und deren Verknüpfungen.

**Ressource:** Alle Einsatzstoffe für einen Prozess. Im MIPS-Konzept wird der Begriff Ressource nicht analog zum biologischen oder ökonomischen Begriff der Ressource verwendet.

## Glossar

**Spezifische Daten** beziehen sich auf ein ganz bestimmtes Produkt oder eine ganz spezifische Dienstleistung (ein Pullover Größe x, Farbe y, Hersteller z).

**Stoffflüsse** sind alle Stoffbewegungen in der Öko- und Technosphäre. Stoffflüsse können in Kreisläufen erfolgen. Für eine Reihe von Stoffflüssen sind historische und auch geologische Zeiträume zu kurz, um einen Kreislauf zu ermöglichen.

**Technosphäre:** Der vom Menschen unmittelbar beeinflusste Teil der Ökosphäre.

**Tonnenkilometer:** Die Menge beförderter Güter in Tonnen multipliziert mit den zurückgelegten Kilometern ergibt die Anzahl der Tonnenkilometer [tkm].

**Vorketten:** Prozessketten eines Vorprodukts.

**Vorprodukte:** Produkte, die Input eines weiteren Prozesses sind.

**Wasser** umfasst im MIPS-Konzept alles unmittelbar der Natur entnommene Wasser. Hierbei sollte zwischen Entnahmen von Oberflächenwasser, Grundwasser und Tiefen(grund-)wasser unterschieden werden. Ebenfalls möglich und auf der Basis der offiziellen Wasserstatistik einfacher ist die Unterscheidung in Grund-, Quell- und Oberflächenwasser. In Abhängigkeit von der Wasserstatistik wird auch angereichertes Oberflächenwasser sowie Uferfiltrat erhoben.

**Zwischenprodukt** nennt man Produkte, die in der Prozesskette erzeugt werden, für den betrachteten Fall aber noch keinen Service erbringen (z.B. Autobatterie bei der Betrachtung eines Pkw).

# Anhang

## Tabellenverzeichnis

### Umrechnungen

Energie	kJ	kcal	kWh	kg SKE	kg ROE
1 Kilojoule (kJ)	–	0,2388	0,000278	0,000034	0,000024
1 Kilocalorie (kcal)	4,1868	–	0,001163	0,000143	0,0001
1 Kilowattstunde (kWh)	3.600	860	–	0,123	0,086
1 kg Steinkohleeinheiten (SKE)	29.308	7.000	8,14	–	0,7
1 kg Rohöleinheit (RÖE)	41.868	10.000	11,63	1,428	–

Gewichte	kg	US short ton	Brit long ton	oz	lb
1 kg	–	0,0011023	0,0009843	35,27337	2,295737
1 US short ton	907,185	–	0,892857	32.000	2.000
1 Brit long ton	1.016	1,12	–	35.840	2240
1 ounce (oz)	0,02835	0,00003125	0,0000279	–	0,0625
1 pound (lb)	0,43559	0,0005	0,0004464	16	–

Länge	m	in	ft	yd	Meile (m)	nautische Meile
1 Meter (m)	–	39,37	3,2808	1,0936	0,0006215	0,000054
1 inch (in)/ Zoll	0,0254	–	1/12	1/36	1/63360	1/72960
1 foot (ft)	0,3048	12	–	1/3	1/5280	1/6080
1 yard (yd)	0,9144	36	3	–	1/1760	0,0004934
1 Meile (m)	1609	63360	5280	1760	–	0,86842
1 nautische Meile	1852	72960	6080	20262/3	1,1515	–

## Vorsätze

Einheiten werden häufig mit einem Vorsatz versehen, da sie für den Gebrauch bisweilen zu groß oder klein sind. Es darf jeweils nur ein Vorsatz verwendet werden.

Vorsatz	Vorsatz- zeichen	Bedeutung	Anmerkung	Vorsatz	Vorsatz- zeichen	Bedeutung	Anmerkung
Atto	a	$10^{-18}$		Deka	da	$10^1$	ungünstig
Femto	f	$10^{-15}$		Hekto	h	$10^2$	ungünstig
Piko	p	$10^{-12}$		Kilo	k	$10^3$	
Nano	n	$10^{-9}$		Mega	M	$10^6$	
Mikro	$\mu$	$10^{-6}$		Giga	G	$10^9$	
Milli	m	$10^{-3}$		Tera	T	$10^{12}$	
Zenti	c	$10^{-2}$	ungünstig	Peta	P	$10^{15}$	
Dezi	d	$10^{-1}$	ungünstig	Exa	E	$10^{18}$	

## Dichte von Stoffen

	kg/dm <sup>3</sup> bei 20 °C		kg/dm <sup>3</sup> bei 20 °C		kg/dm <sup>3</sup> bei 20 °C
Aluminium	2,7	Titan	4,52	Heizöl El	0,85
Blei	11,34	Wolfram	19,3	Heizöl S	>1,2
Eisen	7,8	Gold	19,29	Diesel	0,85
Magnesium	1,74	Gusseisen	7,2	Benzin	0,72
Messing	8,5	Iridium	22,4	Erdgas	0,78 kg/m <sup>3</sup>
Platin	21,5	Kupfer	8,92		
Rotguss	8,8	Zink	7,14		
Quecksilber	13,55	Steinkohle	1,4		

## Heizwerte der Energieträger

(Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen)

Energieträger	Mengen- einheit	Heizwert [kJ]	Energieträger	Mengen- einheit	Heizwert [kJ]
Steinkohlen	kg	29.715	Dieselmkraftstoff	kg	42.960
Steinkohlenkoks	kg	28.650	Heizöl leicht	kg	42.733
Steinkohlenbriketts	kg	31.401	Heizöl schwer	kg	40.852
Braunkohle	kg	8.575	Petrolkoks	kg	30.895
Braunkohlenbriketts	kg	19.500	Flüssiggas	kg	46.041
Braunkohlenkoks	kg	29.900	Raffineriegas	kg	45.159
Staub- und Trockenkohlen	kg	21.525	Kokereigas, Stadtgas	cbm	15.994
Hartbraunkohlen	kg	16.747	Gichtgas	cbm	4.187
Brennholz (1 cbm = 0,7 t)	kg	14.654	Erdgas	cbm	31.736
Brenntorf	kg	14.235	Erdölgas	cbm	40.300
Erdöl (roh)	kg	42.633	Grubengas	cbm	15.994
Motorenbenzin, -benzol	kg	43.543	Klärgas	cbm	15.994
Rohbenzin	kg	44.000	Rohbenzol	kg	39.565
Flugbenzin, leichter					
Flugturbinenkraftstoff	kg	43.543	Rohteer	kg	37.681
schwerer Flugturbinenkraftstoff, Petroleum	kg	43.000	Pech	kg	37.681

## Berechnungs-Beispiele

### Beispiel: Erzeugung von Roheisen

Zur Illustration der Generierung von MI-Daten auf der Ebene von Grund-, Bau- oder Werkstoffen wird im Folgenden die Roheisen-Erzeugungskette abgebildet und erläutert.

#### *Schritt 1: Definition des Ziels, der Objekte und der Serviceeinheit*

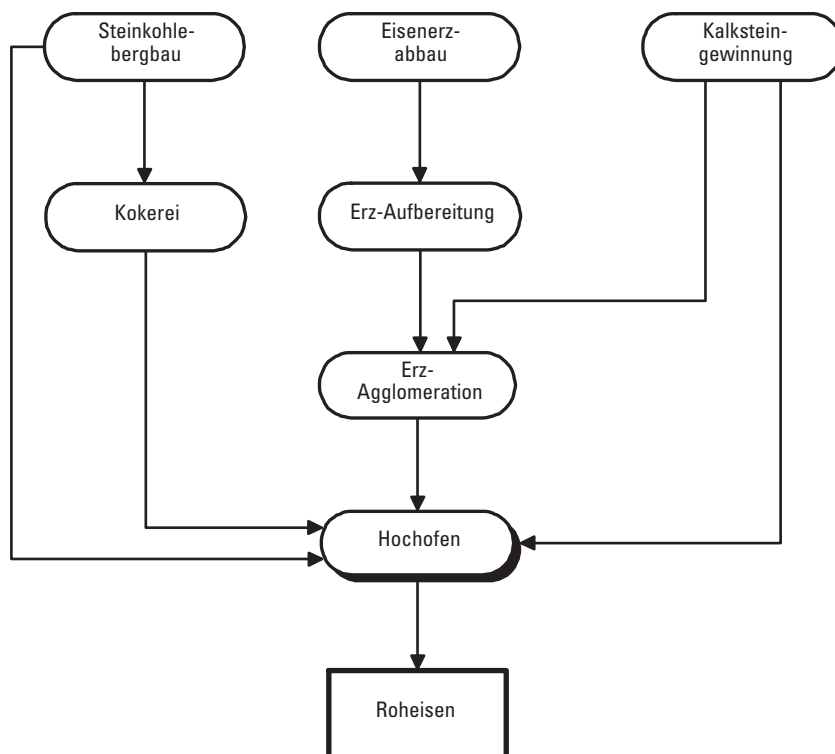
Das Ziel der Analyse ist die Berechnung des MI-Wertes von Roheisen. Damit wird hier keine „richtige“ Serviceeinheit als Vergleich zugrunde gelegt. Dennoch können bei späteren Vergleichen, z.B. zur Herstellung von Stahlteilen, die auf Gewichtseinheiten bezogenen MI-Werte problemlos verwendet werden.

Die nachstehend angegebenen Zahlen und Angaben beruhen auf folgenden Quellen: MIPS-online-Datentabelle, WI-Paper Nr. 27: Wuppertal, MI-Analysen von Grund-, Werk- und Baustoffen.

#### *Schritt 2: Darstellen der Prozesskette*

Die schematische Prozesskette zur Produktion von Roheisen ist der folgenden Abbildung zu entnehmen.

Roheisen-Erzeugungskette





### *Schritt 3: Datenerhebung*

Der Schritt der Datenerhebung umfasst

- die Datenerhebung zu den Erzlagerstätten,
- die Datenerhebung zu den Kohle- und Kalksteinlagerstätten,
- die Datenerhebung zu den Kokereien, in den Sinter- und Pelletieranlagen, den Energieanlagen und
- die Datenerhebung zum Hochofen.

### *Schritt 4 und 5: Berechnung des Material-Inputs „von der Wiege bis zum Stoff“*

Um mittels der erhobenen Daten einen MI-Wert für Roheisen berechnen zu können, müssen folgende Zwischenschritte vorgenommen werden. Die Berechnung der MI-Werte für die Hauptprodukte der jeweiligen Vorprozesse: hier

- Steinkohle aus dem Bergbau,
- Eisenerz aus dem Tagebau,
- Kalkstein aus dem Steinbruch,
- Koks aus der Kokerei,
- Sinter aus der Sinterei und
- Pellets aus den Pelletieranlagen.

Zusätzlich müssen die MI-Werte für Transport, elektrischen Strom und für die verschiedenen Brennstoffe ermittelt bzw. herausgesucht werden.

Die Berechnung der einzelnen Prozesse ist in den folgenden Berechnungsbögen aufgezeigt. Die hierfür notwendigen Material-Intensitäten einzelner Stoffe sind in der folgenden Tabelle aufgelistet:

Stoff	abiot. Material	Wasser	Luft
Steinkohle	2,36 kg/kg	9,1 kg/kg	0,048 kg/kg
Strom, Stahlindustrie	4,22 kg/kWh	72,5 kg/kWh	0,607 kg/kWh
Strom, OECD-Länder	1,55 kg/kWh	66,7 kg/kWh	0,535 kg/kWh
Diesel	0,032 kg/MJ	0,23 kg/MJ	0,076 kg/MJ
Kalkstein	1,66 kg/kg	9,7 kg/kg	0,06 kg/kg
Erdgas	0,03 kg/MJ	0,012 kg/MJ	0,09 kg/MJ

**Berechnungsbogen:**

Daten beziehen sich auf: 1 Tonne gefördertes Eisenerz (Fe-Gehalt: 46%)

Bezeichnung Stoff/Vorprodukt	Einheit	Menge	abiotisches Material		biotisches Material		Bodenbewegungen		Wasser		Luft	
			MI-Faktor kg/Einheit	kg/Einheit Hauptprodukt	MI-Faktor kg/Einheit	kg/Einheit Hauptprodukt	MI-Faktor kg/Einheit	kg/Einheit Hauptprodukt	MI-Faktor kg/Einheit	kg/Einheit Hauptprodukt	MI-Faktor kg/Einheit	kg/Einheit Hauptprodukt
Eisenerz und Deckmaterial	kg	1.882,00	1,000	1.882,00								
Diesel	MJ	58,00	0,032	1,86					0,23	13,34	0,08	4,41
Sprengstoff	kg	0,27	1,000	0,27								
Strom	kWh	1,42	1,550	2,20					66,70	94,71	0,54	0,76
Σ				1.886,33	0,00	0,00			108,05			5,17

**Berechnungsbogen:**

Daten beziehen sich auf: 1 Tonne aufbereitetes Eisenerz (Fe-Gehalt: 65%)

Bezeichnung Stoff/Vorprodukt	Einheit	Menge	abiotisches Material		biotisches Material		Bodenbewegungen		Wasser		Luft	
			MI-Faktor kg/Einheit	kg/Einheit Hauptprodukt	MI-Faktor kg/Einheit	kg/Einheit Hauptprodukt	MI-Faktor kg/Einheit	kg/Einheit Hauptprodukt	MI-Faktor kg/Einheit	kg/Einheit Hauptprodukt	MI-Faktor kg/Einheit	kg/Einheit Hauptprodukt
Eisenerz (46% Fe)	kg	1.658,00	1,886	3.126,99					0,11	179,06	0,01	8,29
Strom	kWh	18,71	1,550	29,00					66,70	1.247,96	0,54	10,01
Wasser	kg	1.519							1,00	1.519,00		
Σ				3.155,99	0,00	0,00			2946,02			18,30

**Berechnungsbogen:**

Daten beziehen sich auf: 1 Tonne agglomeriertes Eisenerz (Sinter und Pellets)

Bezeichnung Stoff/Vorprodukt	Einheit	Menge	abiotisches Material		biotisches Material		Bodenbewegungen		Wasser		Luft	
			MI-Faktor kg/Einheit	kg/Einheit Hauptprodukt	MI-Faktor kg/Einheit	kg/Einheit Hauptprodukt	MI-Faktor kg/Einheit	kg/Einheit Hauptprodukt	MI-Faktor kg/Einheit	kg/Einheit Hauptprodukt	MI-Faktor kg/Einheit	kg/Einheit Hauptprodukt
Eisenerz (65% Fe)	kg	1.033,00	3,156	3.260,15					2,95	3.043,22	0,02	18,59
Kalkstein	kg	46,50	1,660	77,19					9,70	451,05	0,06	2,79
Erdgas	MJ	228,00	0,030	6,84					0,01	2,74	0,09	20,52
Druckluft	Nm3	2,20									1,29	2,84
Strom	kWh	41,10	1,550	63,71					66,70	2.741,37	0,54	21,99
Wasser	kg	379							1,00	379,00		
Σ				3.407,88	0,00	0,00			6.617,37			66,73

**Berechnungsbogen:**

Daten beziehen sich auf: 1 Tonne Koks

Bezeichnung Stoff/Vorprodukt	Einheit	Menge	abiotisches Material		biotisches Material		Bodenbewegungen		Wasser		Luft	
			MI-Faktor kg/Einheit	kg/Einheit Hauptprodukt	MI-Faktor kg/Einheit	kg/Einheit Hauptprodukt	MI-Faktor kg/Einheit	kg/Einheit Hauptprodukt	MI-Faktor kg/Einheit	kg/Einheit Hauptprodukt	MI-Faktor kg/Einheit	kg/Einheit Hauptprodukt
Steinkohle	kg	1.350,00	2,360	3.186,00					9,10	12.285,00	0,05	64,80
Brennstoff, sekundär	MJ	3.500,00	0,000	0,00					0,00	0,00	0,00	0,00
Wasser	kg	50,00	1,000	50,00					1,00	50,00		
Strom	kWh	33,06	4,220	139,51					72,50	2.396,85	0,61	20,07
Luft	kg	1.600									1,00	1.600,00
Σ				3.375,51	0,00	0,00			14.731,85			1.684,87

**Berechnungsbogen:**

Daten beziehen sich auf: 1 Tonne Roheisen

Bezeichnung Stoff/Vorprodukt	Einheit	Menge	abiotisches Material		biotisches Material		Bodenbewegungen		Wasser		Luft	
			MI-Faktor kg/Einheit	kg/Einheit Hauptprodukt	MI-Faktor kg/Einheit	kg/Einheit Hauptprodukt	MI-Faktor kg/Einheit	kg/Einheit Hauptprodukt	MI-Faktor kg/Einheit	kg/Einheit Hauptprodukt	MI-Faktor kg/Einheit	kg/Einheit Hauptprodukt
Sinter	kg	1.034	3,41	3.522,84					6,62	6.841,98	1,03	1.067,09
Pellets	kg	404	3,41	1.376,43					6,62	2.673,27	1,03	416,12
Koks	kg	475	3,38	1.603,13					14,73	6.996,75	1,69	800,38
Kalkstein	kg	13	1,66	21,91					9,70	128,04	0,06	0,79
Steinkohle	kg	57	2,36	135,23					9,10	521,43	0,05	2,75
Wasser	kg	12.032							1,00	12.032,00		
Strom	kWh	92	4,22	388,24					72,50	6.670,00	0,61	55,84
$\Sigma$				7.047,77		0		0		35.863,47		2.342,97

Der letzte Berechnungsbogen, der des Roheisens, zeigt den errechneten Wert der gesamten Prozesskette:

- 7,05 Tonnen abiotisches Material,
- 35,9 Tonnen Wasser und
- 2,34 Tonnen Luft

werden verbraucht, um 1 Tonne Roheisen herzustellen!

*Schritt 6: Vom Material-Input zu MIPS*

Dieser Schritt wird hier aufgrund der gewählten Zielsetzung (Berechnung eines MI-Wertes für einen Grundstoff und nicht eines MIPS-Wertes für ein Produkt) nicht durchgeführt (s. Anmerkung Seite 17).

*Schritt 7: Interpretation der Ergebnisse*

Die Interpretation der Ergebnisse kann bei der gewählten Zielsetzung nur aufgrund der Stoffinputs in die einzelnen Prozesse geschehen. Eine grundlegende Diskussion über eine Veränderung des Roheisenerzeugungsprozesses ist, außerhalb der Stahlindustrie, aufgrund solcher Daten nicht zielführend, dazu ist der Prozess verfahrenstechnisch ausreichend optimiert worden. Optimierungsmöglichkeiten lassen sich aber auf der Ebene der Auswahl der Stromerzeugung oder der spezifischen Lagerstätten ausmachen, wenn auch im Vergleich zu dienstleistungsfähigen Produkten (z.B. Hallen oder Fahrzeuge aus Stahl) nur in sehr bedingtem Umfang.

## Beispiel: Teppichreiniger

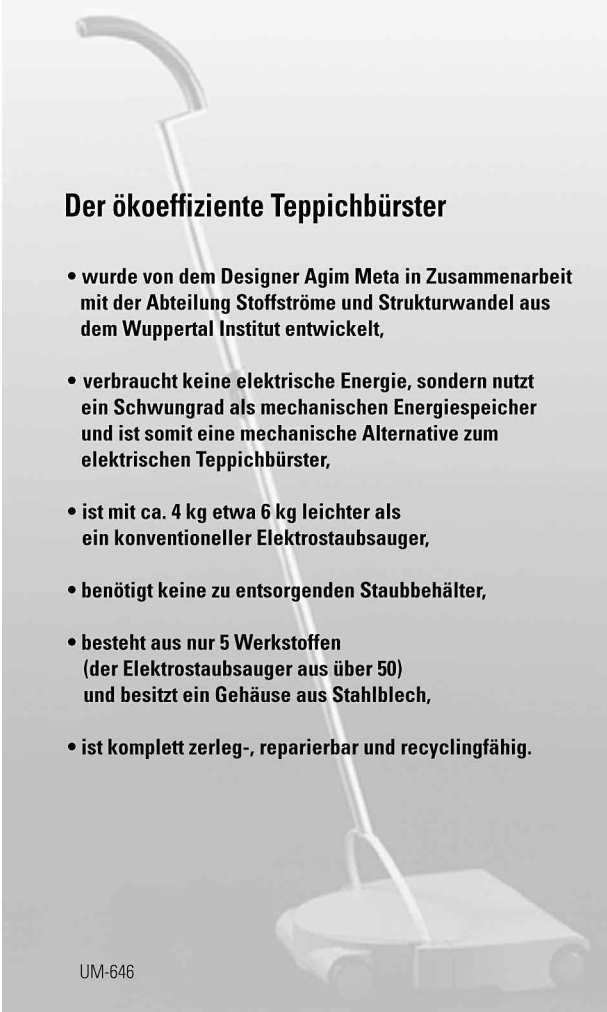
Zur anschaulichen Anwendung des vorliegenden MIPS-Leitfadens wird im Folgenden anhand zwei alternativer Teppichreiniger eine exemplarische MIPS-Berechnung aufgezeigt.

### *Schritt 1: Definition des Ziels, der Objekte und der Serviceeinheit*

Das Ziel der MIPS-Berechnung ist hier der Vergleich zweier alternativer Teppichreiniger, womit die Untersuchungsobjekte bereits gewählt sind. Als Serviceeinheit wurden gewählt:

- eine Stunde Teppichreinigen,
- ein Jahr Teppichreinigen (bei Annahme von x Stunden pro Woche),
- Teppichreinigen über die gesamte Lebensdauer des Produktes.

Die Wahl von drei Serviceeinheiten ermöglicht ein detailliertes Vergleichsbild beider Alternativen.



**Der ökoeffiziente Teppichbürster**

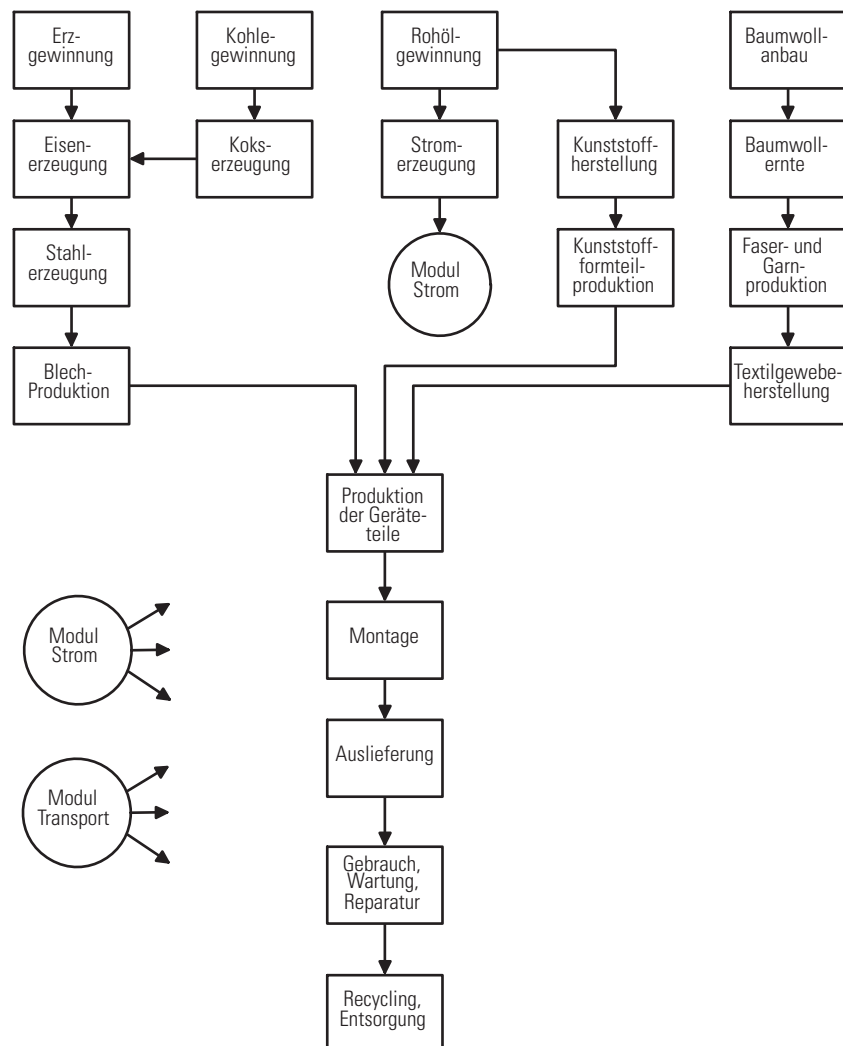
- wurde von dem Designer Agim Meta in Zusammenarbeit mit der Abteilung Stoffströme und Strukturwandel aus dem Wuppertal Institut entwickelt,
- verbraucht keine elektrische Energie, sondern nutzt ein Schwungrad als mechanischen Energiespeicher und ist somit eine mechanische Alternative zum elektrischen Teppichbürster,
- ist mit ca. 4 kg etwa 6 kg leichter als ein konventioneller Elektrostaubsauger,
- benötigt keine zu entsorgenden Staubbehälter,
- besteht aus nur 5 Werkstoffen (der Elektrostaubsauger aus über 50) und besitzt ein Gehäuse aus Stahlblech,
- ist komplett zerleg-, reparierbar und recyclingfähig.

UM-646

### Schritt 2: Darstellen der Prozesskette

Die Prozessketten zur Herstellung, zum Gebrauch und zur Entsorgung der Teppichreiniger, inkl. der Vorketten zur Erzeugung der Werkstoffe, Energieträger, des Stroms etc., sind sehr umfangreich. Über die eigentliche Produktion der Geräte, d.h. das Herstellen der Bauteile und das Montieren, liegen keine Daten vor. So ist z.B. nicht bekannt, welche Mengen an Abfällen, d.h. nicht genutzten Werkstoffen, in der Produktion anfallen oder wieviel Strom für die Maschinen verbraucht wird. Da diese Datenlücken häufig vorkommen, ist das gewählte Beispiel nicht außergewöhnlich.

Um dennoch einen MIPS-Wert berechnen zu können, wird eine Vereinfachung vorgenommen, die häufig angewandt wird: Der MI-Wert der Produkte wird anhand der tatsächlich im Produkt vorhandenen Werkstoffe berechnet. Diese Gewichtsanteile multipliziert man mit vorhandenen und passenden Material-Intensitätswerten, den so genannten MI-Faktoren. So erhält man auf relativ einfachem und schnellem Wege einen recht soliden Produkt-MI-Wert. Dieser MI-Wert wird durch den Bezug auf die spezifische Serviceeinheit zum gewünschten MIPS-Wert und damit zu einer vergleichbaren Größe.



*Schritt 3: Datenerhebung:*

Der Schritt der Datenerhebung umfasst damit

- die Gewichtsanalyse der Produkte,
- die Abschätzung der Gebrauchs- und Entsorgungs-/Recyclingphase
- und die Erhebung der zugehörigen MI-Faktoren.

**Gewichtsanteile der Produkte**

<b>Werkstoff</b>	<b>kg pro Gerät</b>
<i>Werkstoffzusammensetzung der Teppichbürste</i>	
Stahl (primär)	3,15
Kunststoffe	0,04
nachwachsende Rohstoffe	0,08
<b>Gesamt</b>	<b>3,27</b>
<i>Werkstoffzusammensetzung des Teppichsaugers</i>	
Stahl (primär)	1,85
Kunststoffe	2,1
Aluminium (primär)	0,247
Kupfer (50% prim. /50% sek.)	0,12
Zinn	0,001
Öl	0,002
Baumwolle	0,1
<b>Gesamt</b>	<b>4,42</b>

**Gebrauchs- und Entsorgungs-/Recyclingphase**

<b>Teppichbürste (Lebensdauer: 30 Jahre)</b>	<b>Teppichsauger (Lebensdauer: 10 Jahre)</b>
<i>Aufwendungen innerhalb der Gebrauchsphase pro Jahr</i>	
1 Bürste aus nachwachsenden Rohstoffen (0,08 kg)	12 Staubbeutel (0,1 kg pro Stück)
0,1 kg Reinigungsmittel	108 kWh Stromverbrauch
50 km zur Recyclingstation (Sammel-Lkw)	50 km zur Recyclingstation (Sammel-Lkw)

Anzahl der Staubbeutel und Stromverbrauch wurden abgeschätzt:

- Staubsaugerbeutel: 1 Beutel pro Monat
- Stromverbrauch: 1.500 Watt Leistung; 1,5 h Saugen/Woche; 48 Wochen/Jahr

### Angaben zu den Material-Intensitäten (MI-Faktoren)

Werkstoff	Material abiotisch t/t	Material biotisch t/t	Bodenbewegungen t/t	Wasser t/t	Luft t/t
<i>Material-Intensitäten der Werkstoffe, der Energieträger und des Transportes</i> (Diese Werte können sich im Laufe der Jahre ändern, aktuelle Werte unter: <a href="http://www.mips-online.info">www.mips-online.info</a> )					
Stahl, primär	6,97			44,6	1,3
Stahl, sekundär	3,36			57,5	0,56
Aluminium, primär	85,38			1378,6	9,78
Aluminium, sekundär	3,45			60,9	0,37
Kupfer, primär	500,0			260,0	2,0
Kupfer, sekundär	9,66			105,6	0,72
Kunststoff (PVC)	8,02			117,7	0,69
Kunststoff (PE)	5,4			64,9	2,1
Zinn (geschätzt)	6800,0			k.A.	k.A.
Öl (hier Heizöl)	1,5			11,4	0,03
nachw. Rohstoffe: hier als Näherung: Baumwolle (hier USA, West)	8,6	2,9	5,01	6814,0	2,74
Papier (primär)	1,2	5,0		14,7	0,24
Reinigungsmittel	6,0			98,0	0,7
	t/MWh	t/MWh		t/MWh	t/MWh
elektr. Strom (Deutschland, öffentl. Netz)	4,7			83,1	0,6
	kg/tkm	kg/tkm		kg/tkm	kg/tkm
Straßengüterverkehr ohne Infrastruktur (hier: Lastzüge > 8t)	0,107			0,927	0,1
Infrastruktur (hier: alle Straßen)	0,749			5,16	0,017

<b>Berechnungsbogen:</b>												
Daten beziehen sich auf: 1 kg Kammzug												
			abiotisches Material		biotisches Material		Bodenbewegungen		Wasser		Luft	
Bezeichnung	Einheit	Menge	MI-Faktor kg/Einheit	kg/Einheit Hauptprodukt	MI-Faktor kg/Einheit	kg/Einheit Hauptprodukt	MI-Faktor kg/Einheit	kg/Einheit Hauptprodukt	MI-Faktor kg/Einheit	kg/Einheit Hauptprodukt	MI-Faktor kg/Einheit	kg/Einheit Hauptprodukt
Rohwolle	kg	1,670	3,11	5,19	103,00	172,01			1,42	2,37	0,04	0,06
synthetische Waschmitte	kg	0,014	1,00	0,01					k.A.		k.A.	
Schmälze	kg	0,004	1,00	0,00					k.A.		k.A.	
Soda	kg	0,009	4,46	0,04					27,72	0,25	1,02	0,01
Polyethylen	kg	0,011	5,40	0,06					64,90	0,71	2,10	0,02
Strom	kWh	3,460	4,70	16,26					83,06	287,39	0,60	2,08
Wasser	kg	15,530							1,00	15,53		
<b>Σ</b>				21,57		172,01		0,00		306,25		2,17

*Schritt 4 und 5: Berechnung des Material-Inputs „von der Wiege bis zum Produkt“ und „von der Wiege bis zur Bahre“*

Die Schritte 4 und 5 sind hier zusammengefasst auf den Berechnungsbögen dargestellt worden.

*Schritt 6: Vom Material-Input zu MIPS*

Die in den Berechnungsbögen aufaddierten MI-Werte, für jeweils ein Gerät bezogen auf die gesamte Lebensdauer, können nun auf die drei eingangs gewählten Serviceeinheiten bezogen werden:

- eine Stunde Teppichreinigen,
- ein Jahr Teppichreinigen (bei Annahme von 1,5 Stunden pro Woche),
- Teppichreinigen über die gesamte Lebensdauer des Produktes.

Dazu werden die zuvor auf die gesamte Lebensdauer (10 bzw. 30 Jahre) berechneten MI-Werte entsprechend auf ein Jahr oder eine Stunde saugen berechnet.

### **MIPS – angegeben in TMR**

Serviceeinheit	Teppichsauger (Lebensdauer: 10 Jahre)	Teppichbürste (Lebensdauer: 30 Jahre)
gesamte Lebensdauer	5.174 kg	78,71 kg
ein Jahr Teppichreinigen	517 kg	2,6 kg
ein Mal Teppichreinigen (1/2 h)	3,6 kg	0,02 kg



*Schritt 7: Interpretation der Ergebnisse*

Allein die in der obigen Tabelle aufgelisteten Werte zeigen deutlich die Unterschiede im Materialverbrauch (TMR) der beiden Teppichreiniger. Betrachtet man darüber hinaus die jeweilige Lebenszyklusphase gesondert (siehe Tabelle), so zeigt sich, dass beim herkömmlichen Sauger die Gebrauchsphase die alles entscheidende ist und hier im Besonderen der Materialverbrauch bedingt durch den Stromkonsum.

**MIPS (angegeben in TMR) je Lebenszyklusphase**

Lebenszyklusphase	Teppichsauger (Lebensdauer: 10 Jahre)	Teppichbürste (Lebensdauer: 30 Jahre)
Herstellung	84,4 kg	23,5 kg
Gebrauch	5.150 kg	55 kg
Entsorgung/Recycling	0,2 kg	0,24 kg

Eine sich an diese Berechnung anschließende Optimierung der Produkte ist auch in diesem Falle möglich, v.a. die Optimierung des herkömmlichen Saugers in der am meisten Rohstoffe verbrauchenden Gebrauchsphase. Eine Optimierung jenseits des bestehenden Produktes war auch Anlass für den Designer Agim Meta, der die hier als Vergleichsobjekt dienende „Teppichbürste“ kreiert hat. Hier wurde, ausgehend von dem herkömmlichen Sauger, ein Teppichreinigungsgerät entworfen und konzipiert, welches möglichst wenig Ressourcen verbraucht. Und wir meinen, der Vergleich kann sich sehen lassen.

## Wissenswertes

### Literatur

- Bringezu, S.: „Ressourcennutzung in Wirtschaftsräumen – Stoffstromanalysen für eine nachhaltige Raumentwicklung“, Berlin, Heidelberg, New York 2000.
- Eurostat: „Economy-wide material flow accounts and derived indicators. A methodological guide“, Luxembourg 2001.
- Schmidt-Bleek, F.: „Wieviel Umwelt braucht der Mensch? MIPS – Das Maß für ökologisches Wirtschaften“, Basel: Birkhäuser Verlag, 1994.
- Schmidt-Bleek, F.; Bringezu, S.; Hinterberger, F.; Liedtke, C.; Spangenberg, J.; Stiller, H.; Welfens, M. J.: „Handbuch der Materialintensitätsanalyse MAIA“, Berlin; Basel; Boston: Birkhäuser Verlag, 1998.
- Schmidt-Bleek, F.: „Das MIPS Konzept: weniger Naturverbrauch – mehr Lebensqualität durch Faktor 10“, München: Knauer, 2000.

### Weitere Informationen und Links

[www.mips-online.info](http://www.mips-online.info)  
[www.wupperinst.org](http://www.wupperinst.org)  
[www.factor10.de](http://www.factor10.de)

### Software/Ökobilanzierungsprogramme

Gabi® vom Institut für Kunststoffprüfung und Kunststoffkunde (IKP), Uni Stuttgart und PE Product Engineering GmbH: [www.gabi-software.com](http://www.gabi-software.com)

Umberto® des Ifeu (Institut für Energie- und Umweltforschung, Heidelberg) und Ifu (Institut für Umweltinformatik, Hamburg): [www.ifeu.de](http://www.ifeu.de) bzw. [www.ifu.com](http://www.ifu.com)





Name des Prozesses  
gemäß Schaubild.

Bezugsgröße, 1 kg /Stück Produkt  
oder ein bestimmter Nutzen.

## Berechnungsbogen:

Daten beziehen sich auf:

Bezeichnung Stoff/Vorprodukt	Einheit	Menge	abiotisches Material		biotisches Material	
			MI-Faktor kg/Einheit	kg/Einheit Hauptprodukt	MI-Faktor kg/Einheit	kg/Einheit Hauptprodukt
				0,00		0,00