

Endbericht

Ermittlung und Bereitstellung von Koeffizienten zum Rohstoffeinsatz bei Importgütern

Im Auftrag des Statistischen Bundesamtes

Geschäftszeichen:
ZD 3851 10990-07W001

Jens Lansche
Heiko Lübs
Jürgen Giegrich
Axel Liebich

ifeu-Institut für Energie- und
Umweltforschung Heidelberg
Wilckensstr. 3, 69120 Heidelberg

November 2007

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 Einleitung und Zielsetzung	1
2 Rohstoffkoeffizienten biotischer/abiotischer Rohstoffe	2
2.1 Allgemeines Vorgehen	2
2.2 Erläuterungen zu biotischen Einfuhren	5
2.2.1 Prozesse landwirtschaftlicher Produkte	6
2.2.2 Kurzbeschreibungen wesentlicher biotischer Rohstoffe	8
2.3 Erläuterungen zu abiotischen Einfuhren	45
2.3.1 Energieträger für Transporte	45
2.3.2 Energierohstoffe	47
2.3.3 Metallrohstoffe	49
2.3.4 Nichtmetallische mineralischer Rohstoffe	66
2.3.5 Sonstige Stoffe	68
3 Koeffizienten für Transporte	70
3.1 Entfernungsmatrix für Länder und Regionen	70
3.1.1 Europa	70
3.1.2 Russland	72
3.1.3 Andere Länder	73
3.2 Energiekoeffizienten der Verkehrsträger	76
4 Ausblick	79
5 Literatur	82

1 Einleitung und Zielsetzung

Das Statistische Bundesamt betreut die Berechnung des Indikators „Rohstoffproduktivität“, der in verschiedenen Anwendungen wie z.B. der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie „Perspektiven für Deutschland“ oder dem Umweltbarometer des Umweltbundesamtes zu finden ist. Der bisher als Basis verwendete Indikator „Direkter Materialeinsatz“ (DMI – Direct Material Input) wird in Gewichtseinheiten gemessen und umfasst die in Deutschland gewonnenen Rohstoffe und alle importierten Rohstoffe, sowie Halb- und Fertigwaren.

Während die in Deutschland in das ökonomische System eingegangenen Rohmaterialien vollständig erfasst werden, ist dies für im Ausland hergestellten Materialien und Produkte nur teilweise der Fall. Das Konzept der „Rohstoffäquivalente“ (RME – Raw Material Equivalents) erlaubt es nun, einem eingeführten Material oder Produkt die im Ausland angefallenen aber nicht im eingeführten Gut enthaltenen Rohstoffgewichte, den sogenannten indirekten Materialeinsatz, zuzuweisen. Durch die Zuweisung dieser Äquivalentmengen zu dem jeweiligen eingeführten Material oder Produkt ergibt sich eine Gesamtmasse, die dem gesamten Rohstoffeinsatz entspricht und damit mit der inländischen Methodik korrespondiert.

Die Rohstoffäquivalente umfassen alle auf ein importiertes Gut bezogene Materialaufwendungen von der Rohstoffgewinnung, über die Herstellung von Zwischenmaterialien, zur Produktherstellung bis zu dem Transport nach Deutschland. Dabei soll eine Differenzierung nach Art der Rohstoffe erfolgen, um eine weitergehende Analyse zuzulassen. Insgesamt lässt sich damit die Summe des Rohstoffeinsatzes aller importierten Waren – unterschieden nach Rohstoffarten – berechnen.

Die Berechnung des indirekten Rohstoffeinsatzes erfolgt zum einen auf der Basis der physischen Input-Output-Tabellen (IOT) und zum anderen mit Hilfe der über direkte Prozessketten ermittelten Rohstoffmengen. Während der Ansatz über IOT für alle Waren beschriftet werden kann, die auch in Deutschland in vergleichbarer Weise hergestellt werden, muss der zweite Weg für die Waren gewählt werden, dem keine vergleichbare Produktion in Deutschland gegenüber steht. Mit dem Bezug in kg direkter Rohstoffeinsatz pro kg eingeführte Ware können dimensionslose Koeffizienten ermittelt werden, die die Lücke schließen.

Die Aufgabenstellung des ersten Bausteins des Vorhabens bestand in der Konzeptionierung der Vorgehensweise hinsichtlich der Ermittlung dieser Rohstoffkoeffizienten und deren Ermittlung selbst. Eine Unterscheidung in verschiedene Rohstoffarten wie mineralische Rohstoffe, metallische Rohstoffe, Energierohstoffe, biotische Rohstoffe, etc. wurde dabei in Absprache mit dem Auftraggeber vorgenommen. Rohstoffkoeffizienten lassen sich ohne Einschränkung für die Unterteilung in Rohstoffarten ermitteln und ebenso als dimensionslose Größen in Tabellenform darstellen.

Ein weiterer wesentlicher Baustein stellten die Transportaufwendungen dar, die mit dem Import und Export von Rohstoffen und Waren verbunden sind. Sowohl für den Ansatz über die Input-Output-Tabellen als auch über Rohstoffkoeffizienten sind die Transporte nach und von Deutschland zu berücksichtigen.

Deshalb wurden im zweiten Baustein die wesentlichen Transportentfernungen der Güterbeförderung als auch die transportbedingten Energiebedarfe pro tkm für importierte und exportierte Waren differenziert nach Herkunfts- bzw. Zielland ermittelt. Dabei wurden für alle als wesentlich identifizierten Länder bzw. Regionen typische Lieferstrecken zu Grunde gelegt. Energiekoeffizienten wurden für alle relevanten Verkehrsträger Flugzeug, Hochseeschiff, Binnenschiff, Bahn E-Traktion, Bahn D-Traktion, Lkw und Pipeline differenziert für verschiedene Gütergruppen ermittelt. Da eine Dringlichkeit zur Berechnung der Transportbeziehungen bestand, wurde der Baustein 2 in der Bearbeitung vorgezogen.

2 Rohstoffkoeffizienten biotischer/abiotischer Rohstoffe

2.1 Allgemeines Vorgehen

Auf Basis einer Liste des Statistischen Bundesamtes mit allen importierten Produkten wurde in einem iterativen Abstimmungsprozess mit dem Auftraggeber eine Auswahl an Rohstoffen getroffen. Für diese wurden Daten und Koeffizienten ermittelt. Die Selektion orientierte sich an den Kriterien Mengenrelevanz, Hauptimportländern und daran, ob in Deutschland das Produkt in vergleichbarer Art hergestellt wird (s.a. Abb. 2-1).

So ist z.B. die Importgruppe „201 Milch, Milcherzeugnisse ausgen. Butter und Käse“ mit 0,4% der Gesamtimporte mengenrelevant. Gleichzeitig stammen die Importe, die zu 50% aus Milch bestehen, fast ausschließlich aus EU-Ländern. Für diese wird aber angenommen, dass ähnliche Produktionsverhältnisse bestehen wie in Deutschland. Daher wurden für diese Produktgruppe keine eigenständigen Koeffizienten ermittelt, sondern Koeffizienten der UGR herangezogen, die deutsche Verhältnisse widerspiegeln.

Andere Produkte wurden in die Liste mit aufgenommen, obwohl sie nicht mengenrelevant sind. Als Beispiel ist hierfür die Gruppe „211 Fischmehl, Fleischmehl u.ä. Erzeugnisse“ zu nennen, deren Hauptprodukt Fischmehl darstellt, welches zu 59% aus Peru importiert wird. Da hierfür kein vergleichbarer deutscher Datensatz verfügbar ist und nicht ausgeschlossen werden konnte, dass die Herstellung mit hohen Rohstoffaufwendungen verbunden ist, wurde Fischmehl in die Rohstoffliste aufgenommen.

Bei der vorgegebenen Importliste des StaBA handelte es sich allgemein um eine Gliederung nach Gruppen (nach EGW und teilweise SIO), die teilweise viele sehr unterschiedliche Produkte beinhalten (z.B. „379 Gewürze“). Für die Gruppen wurden daher Repräsentanten bestimmt, deren Wahl sich an den Hauptprodukten orientiert hat.

Matrix der Importkoeffizienten					
	Anteil	Kommentar IFEU	Vorschlag für Repräsentant	Bemerkung Stat. Bundesamt	Koeffizientenbedarf (mit Erläuterung)
		Herkunft + Hauptprodukte			
		Vorschläge IFEU für:	Grün = Daten vorhanden	Importkoeff. benötigt	
		Importkoeff. benötigt	Orange = Vorschlag ifeu für Repräsentant muss mit StBA abgestimmt werden (Daten in Vorbereitung)	Keine Importkoeff. benötigt	
Gliederung der importierten Produkte	0.1-1%	Keine Importkoeff. benötigt			
EGWEGW-Text	1-5%				
Einheiten überall kg?	>5%	Rot = Diskussionsbedarf	Rot = Diskussionsbedarf	Rot = Diskussionsbedarf	
Kommentare zu Rohstoffarten					
102 Rinder	0,0%	EU	Rinder		
201 Milch, Milcherzeugnisse ausgen. Butter und Käse	0,4%	EU; ca. 50% Milch	Milch	Milch = 1/2 der importierten Produkte; detaillierter untersuchen oder Milch als Repräsentant?	
202 Butter, Fettstoffe der Milch, Milchstreichfette	0,0%	EU; 77% Butter	Butter		
203 Käse	0,1%	EU	Hartkäse (Gouda)	Gouda = 1/4 der importierten Produkte; detaillierter untersuchen oder Gouda als Repräsentant?	
204 Fleisch und Fleischwaren	0,4%	EU; ca. 50% Schweinefleisch	Schweinefleisch, Rindfleisch	Vorschlag: stärker detaillieren (Rindfleisch, Schweinefleisch...)	
206 Fische, Krebstiere, Weichtiere, Zubereitungen dar.	0,1%	Hauptanteile aus EU (17% Dänemark, Norwegen 10%, 10% China)			
206 Fischerzeugnisse u.a. Meeresfrüchte		23% Filet v. Paz. Pollack	Filet von pazifischen Pollack	? zu diskutieren	ja, ohne Beifang
206 Fische, frisch od. gekühlt (ohne Fischfilets u.a.)		52% Pazifischer Lachs	Pazifischer Lachs		ja, ohne Beifang
206 Fische, getrocknet, gesalzen oder in Salzlake		33% Heringe, gesalzen	Heringe gesalzen		ja, ohne Beifang
206 Fische, lebend		35% Forellen	Forellen		ja, ohne Beifang
206 Krebstiere, Austern, Muscheln, andere Wassertiere		31% Miesmuscheln	Miesmuscheln		ja, ohne Beifang
208 Tierische Öle und Fette	0,0%	EU; 37% Rinderfett	Rinderfett		
209 Eier, Eiweiß, Eigelb	0,1%	74% Niederlande			
209 Frische Eier			Eier		
209 Eier, haltbar gemacht			Flüssigeigeln mit Zucker		
211 Fischmehl, Fleischmehl u.ä. Erzeugnisse	0,0%	59% Peru	Fischmehl		ja
219 Nahrungsmittel tierischen Ursprungs, a.n.g.	0,1%		Honig	Ist dieser Detaillierungsgrad nötig?	nein
219 Natürlicher Honig					
301 Weizen	0,2%	überwiegend EU (Frankreich 49%)	Weizen		ja, für Kanada
303 Gerste	0,1%	überwiegend EU	Gerste		
304 Hafer	0,0%	78% Finnland	Hafer		
305 Mais	0,2%	überwiegend EU (Frankreich 56%)	Mais		
308 Sorghum, Hirse u. sonst. Getreide, ausgen. Reis	0,0%	44% Hirse; 23% Brasilien, 12% China, 10% Russland, 10% Frankreich	Hirse		
309 Reis und Reiserzeugnisse	0,1%	überwiegend EU (Italien)	Reis		

Abb. 2-1: Ausschnitt aus der „Arbeitstabelle“ zur Auswahl der wichtigsten Importprodukte

Für die mit dem StBA abgestimmte Liste an Import-Rohstoffen und -Halbwaren wurden Daten zum Kumulierten Rohstoffaufwand (KRA) recherchiert. Dabei wurden für viele Rohstoffe aufwändige Recherchen durchgeführt; ausgewertet und als Prozessketten in der Stoffstrom-Software Umberto abgebildet. Für einige Rohstoffe existierten bereits im IFEU Daten, die an die Erfordernisse dieses Projektes adaptiert wurden. Bei der Modellierung wurde die Bereitstellung der Infrastruktur, wie z.B. Produktionsanlagen und Verkehrswege, in Abstimmung mit dem StBA nicht berücksichtigt. Für die Stoffstromsysteme der modellierten Produkte wurde die Gewinnung jeweils für ein Kilogramm berechnet.

Die Gesamtentnahme von Rohstoffen je Produkt wurde nach Rohstoffarten ausgewertet und in eine Exceldatei überführt. Als Ergebnis der Auswertung aller Rohstoffe wurde die Exceldatei „Rohstoffkoeffizienten V12 für StBA.xls“ übergeben, die drei Arbeitsblätter beinhaltet:

- „Transport-Energievorketten“
- „Biotische Importwaren“
- „Abiotische Importwaren“

Die Excel-Arbeitsblätter sind grundsätzlich gleich aufgebaut (s.a. Abb. 2-2); in den Spalten sind die Import-Rohstoffe/-Halbwaren mit den zugehörigen Koeffizienten dargestellt. Die Aufschlüsselung der Werte in die verschiedenen Rohstoffarten erfolgt über Zeilen. Die Summe aller Koeffizienten einer Spalte ergibt den KRA des betrachte-

ten Gutes. Die Differenzierung der Rohstoffarten wurde in Abstimmung mit dem StBA vorgenommen.

Item	Unit	Steinkohle	Steinkohle	Steinkohle	Steinkohle	Braunkohle	Erdöl	Erdöl
		Südafrika	Osteuropa	Russland	Südamerika	Europa	Russland	Norwegen
		pro kg	pro kg	pro kg	pro kg	pro kg	pro kg	pro kg
Rohstoffliste KRA								
Abiotisch verwertete Rohstoffe								
Energieträger								
Steinkohle	kg	1,30	1,37	1,24	1,25	0,00	0,00	0,00
Braunkohle	kg	0,00	0,01	0,02	0,00	1,00	0,00	0,00
Torf	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Erdöl (roh)	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,04	1,00
Erdgas, Erdölgas	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,02
Grubengas	kg	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
And. Prod. Erdöl-/Erdgasgew.	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Uran- und Thoriumerze	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sonstige Energieträger	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mineralische Rohstoffe								
Erze								
Eisen- und Manganerze	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kupfererze	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nickelerze	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Aluminiumerze (Bauxit)	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bleierze	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zinkerze	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Edelmetallerze	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Andere Erze	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sonst. mineralische Rohstoffe								
Torf für gärtnerische Zwecke	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Natursteine, nicht gebrochen	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Naturwerksteine								
Kalk, Gips, Anhydrit, Kreide..	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kalk								
Gipsstein, Anhydrit; u.ä.								
Kreide								
Dolomit, auch gebrannt								
Schiefer	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kies, Sand, gebr. Steine, Ton								
Kieselsaure Sande + Quarzsande	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bausand; and. nat. Sande	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Baukies: Steine f. Betonbau	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ausbaggerung von Hafenbecken	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Feuerfester Ton und Lehm, roh	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bentonit, Bleich- und Walkerde	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kaolin u.ä. kaolinhaltiger Ton	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ziegelton	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Makadam (=Asphaltmischgut)	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sonstige Kiese, Sande, Tone	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Chem. und Düngemittelminerale								
Chem. und Düngemittelminerale	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Salz, NaCl; Meerwasser	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Steine + Erden, a.n.g.: ...								
Diamanten + Edelsteine, n.Ind.	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bimsstein; Schmirgel; Korund..	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nat. Graphit; Quarz + Quarzite	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Naturbitumen, Naturasphalt...	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Glimmer	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Feldspat	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kieselgur und verwandte Erden	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Speckstein	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sonstige Steine und Erden	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Biotische verwertete Rohstoffe								
Pflanzliche Biomasse a.d. LW								
Getreide								
Getreide	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hülsenfrüchte								
Soja	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Andere Hülsenfrüchte	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hackfrüchte								
Hackfrüchte	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Handelsgewächse								
Handelsgewächse	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Gemüse								

Abb. 2-2: Ausschnitt aus dem Arbeitsblatt „Abiotische Importwaren“

2.2 Erläuterungen zu biotischen Einfuhren

Die zu untersuchenden biotischen Rohstoffe und Halbwaren wurden in nachfolgende Gruppen zusammengefasst:

- Fischprodukte:
 - Filet vom pazifischen Pollack
 - Pazifischer Lachs
 - Hering, gesalzen
 - Forellen
 - Miesmuscheln
 - Fischmehl
- Getreide:
 - Weizen
 - Reis
- Kartoffeln und Kartoffelerzeugnisse
- Gemüse:
 - Tomaten
 - Paprika
 - Salate und Kohl
 - Pilze (Champignons)
 - Zucchini
 - Spargel
 - Auberginen
 - Gurken und Hülsenfrüchte
- Frischobst:
 - Brugnolen
 - Erdbeeren
 - Kiwis
 - Melonen
 - Trauben
- Südfrüchte:
 - Bananen
 - Orangen
- Schalen- und Trockenfrüchte:
 - Mandeln
 - Erdnüsse, geröstet
 - Sultaninen
- Genussmittel (und Drogen):
 - Kaffee
 - Kakao
 - Tee
 - Tabak

- Wein
- Ölfrüchte und deren Produkte:
 - Sojabohnen
 - Sojaschrot
 - Kokosöl
 - Palm(kern)öl
- Faserpflanzen:
 - Baumwolle
 - Kokospalme
 - Jute
 - Hanf
- Andere:
 - Zimmerpflanzen
 - Seide
 - Natronzellstoff
 - Schafswolle
 - Naturkautschuk
 - Garne und Gewebe

Diese Gruppierung dient der Übersichtlichkeit und wurde vorgenommen, um die Zusammengehörigkeit der Produkte zu systematisieren. Dennoch erfolgte bei den genannten Produkten eine individuelle Betrachtung des Rohstoffaufwandes.

2.2.1 Prozesse landwirtschaftlicher Produkte

In den Daten werden grundsätzlich folgende landwirtschaftliche Produktionsschritte bzw. Teilprozesse berücksichtigt:

- Feldarbeiten und Ernte
- Mineraldüngereinsatz
- Organische Dünger (Wirtschaftsdünger)
- Pestizide
- Saatgut (außer bei mehrjährigen Kulturen)
- Futtermittel
- Trocknung von Nahrungs- und Futtermitteln (Haltbarkeit)
- Energieeinsatz zur Bewässerung

Die Modellierung dieser Prozesse wurde mit der Software Umberto vorgenommen. Hierzu wurde das in Abb. 2-1 gezeigte Subnetz entworfen. Die Darstellung zeigt das Beispiel der Bananenproduktion in Costa Rica. Die Prozessdatensätze in Umberto beziehen sich grundsätzlich auf 1 kg Frischmasse.

Die Datenlage bei Verpackungen landwirtschaftlicher Produkte stellt sich insgesamt als unbefriedigend dar. Deshalb wurden Daten zu Verpackungen nur am Beispiel von

Bananen berücksichtigt, wobei auf eine ausreichende Datenbasis zurückgegriffen werden konnte.

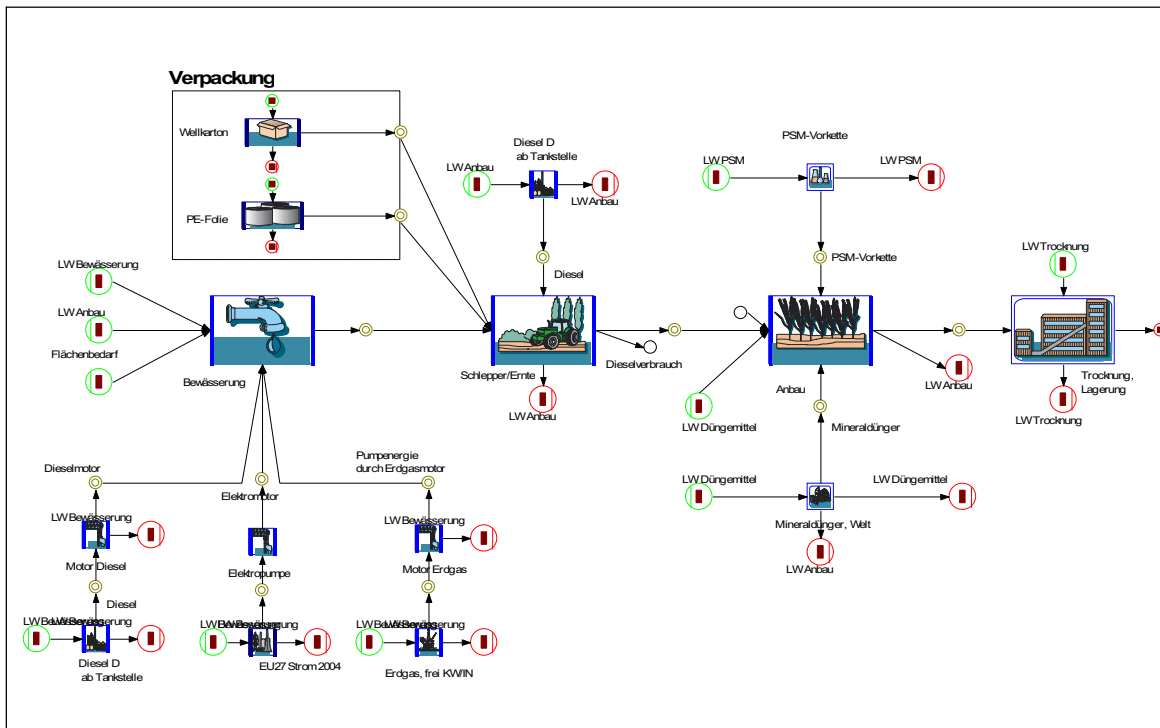


Abb.2-1: Subnetzebene der Software Umberto für landwirtschaftliche Importprodukte am Beispiel Bananen

Neben den eigentlichen landwirtschaftlichen Arbeitsgängen wurden auch die indirekten Aufwendungen der vorgelagerten Prozessketten berücksichtigt. So ist die Herstellung der Pflanzenschutzmittel, Mineraldünger, elektrischen Energie und Diesel mit modelliert worden. Für die Bewässerung wurde der Energieaufwand der Pumpen in den Rohstoffkoeffizienten beachtet aber nicht das eingesetzte Wasser selbst, da Wasser bisher in dem KRA nicht enthalten ist.

Der Einsatz von Wirtschaftsdünger stellt eine Besonderheit dar. Es handelt sich um ein Abfall- oder wichtiges Nebenprodukt der Tierhaltung, abhängig von der Düngersituation des landwirtschaftlichen Betriebes und auch des Umlandes. Im Sinne einer guten fachlichen Praxis sollte in der Landwirtschaft eine Bewirtschaftung unter Beachtung der Nährstoffkreisläufe erfolgen. Hierbei sollte die Nährstoffbilanz eines Betriebes insgesamt ausgeglichen sein. Nährstoffe, die in den Exkrementen von Nutztieren enthalten sind dienen in diesem Fall wiederum als Nährstoff für das Pflanzenwachstum. Damit sind diese Nährstoffe nicht im eigentlichen Sinn als Entnahme aus der Natur zu betrachten, sondern werden in einem Kreislaufsystem rezykliert. In Regionen, in denen die Landwirtschaft durch Tierhaltung geprägt ist mangelt es teilweise an Flächen zur Ausbringung von Wirtschaftsdüngern. Unter diesen Umständen ist der Wirtschaftsdünger eindeutig als Abfall zu betrachten. Da der organische Dünger sowohl über einen positiven wie auch negativen Wert verfügen kann, wurde eine neutrale Einstufung vorgenommen; d.h. die Menge an Wirtschaftsdünger aber nicht die vorgelagerten Prozesse der Tierhaltung wurden in den Rohstoffkoeffizienten berücksichtigt.

2.2.2 Kurzbeschreibungen wesentlicher biotischer Rohstoffe

Grundsätzlich gilt es anzumerken, dass die Inputs in landwirtschaftliche Produktionssysteme großen Schwankungen unterliegen. Je nach Bodentypen und –arten, (mikro-) klimatischen Verhältnissen und Anbauverfahren können selbst innerhalb eines Landes deutliche Unterschiede im Betriebsmittelaufwand auftreten. Durch sorgfältigste Auswahl der Repräsentanten und umfassende Datenrecherche können die ermittelten Ergebnisse deshalb dazu dienen, den KRA für die jeweilige Produktgruppe zu bestimmen. Für eine detailliertere Beurteilung einzelner Produkte wäre eine intensivere Betrachtung der Einflussfaktoren notwendig, die auf länderspezifischer oder evtl. regionaler Ebene zu erfolgen hätte.

Bei der Betrachtung des Rohstoffeinsatzes war der Einfluss des Wirtschaftsdüngereinsatzes auf das Gesamtergebnis besonders auffallend. Grundsätzlich stellt sich die Frage, ob es im Rahmen der Ermittlung des KRA für landwirtschaftliche Importprodukte adäquatere Möglichkeiten gibt, den Einsatz von Wirtschaftsdünger mit einzubeziehen. So könnte eine Option darin bestehen, den Nährstoffgehalt des Wirtschaftsdüngers zu berücksichtigen.

In den aktuellen Ergebnissen wurde der Einsatz von Wirtschaftsdünger soweit möglich mit in die Ergebnisse einbezogen, um die Konsistenz der ermittelten Daten nicht zu stören. Bei einigen Produkten waren allerdings keine Daten zum Einsatz von Wirtschaftsdünger verfügbar und wurden deshalb vernachlässigt. Diese Produkte sind durch einen Vermerk gekennzeichnet.

Bei der Produktion von Schafswolle ist der Einsatz dieses Düngemittels ebenfalls vernachlässigt, da hier der Anfall der Exkremente und deren Verwertung durch das Pflanzenwachstum eindeutig auf derselben Fläche stattfinden, und damit keine Entnahme aus einem anderen Produktionssystem stattfindet. Allerdings sind zum ermittelten KRA für die Produktion von Schafswolle weitere Anmerkungen nötig, die unter der Überschrift „Schafswolle“ zu finden sind.

Fischprodukte und Fischmehl

Bei der Betrachtung des Rohstoffeinsatzes bei den Fischprodukten wurde im Wesentlichen auf eine Veröffentlichung von Tyedmers (2004) zurückgegriffen. Ausnahmen bilden hierbei die Produkte Forellen und Fischmehl. Forellen sind Süßwasserfische und werden in Aquakultur produziert. Hierbei ist das verwendete Fischfutter als Hauptinput zu nennen. Im Gegensatz dazu bestimmt sich der Rohstoffinput bei den Fangfischen durch den Kraftstoffverbrauch des Schiffsdieselmotors, welcher i.d.R. die einzige Energiequelle an Bord eines Fischereifahrzeugs darstellt. Deshalb wurde eine Betrachtung anhand der Kriterien Fischfutter nach (Reiter) bzw. Verbrauch an Schiffsdiesel vorgenommen.

Als Repräsentant der Importländer für Fischmehl wurde ursprünglich Peru ausgewählt. Damit sollte das weltweit bedeutendste Produktionsland für Fischmehl und –öl betrachtet werden. Zudem stellt Peru den bedeutendsten Importeur für Fischmehl nach Deutschland dar. Während der Recherche hat sich allerdings gezeigt, dass die Datenlage für die peruanische Fischmehlproduktion sehr dürftig ist und die vorhandenen Daten nicht verifiziert werden können. Deshalb wurde auf (Olesen, 2003) zugegriffen, der Produktionsdaten für Dänemark nennt. Die betrachtete Produktionsstätte stellt sich als weltweit zweitgrößter Produzent von Fischmehl dar. Damit kann von Daten ausgegangen werden, die eine repräsentative Aussage über die globale Fischmehlproduktion ermöglichen. Die betrachteten Daten finden sich ebenfalls in ProBas wieder.

Als Inputstoffe der Fischmehlproduktion wurden betrachtet:

- Fisch
- Antioxidantien
- Formaldehyd
- Schwefelsäure
- Natriumhydroxid
- Salpetersäure
- Chlorwasserstoff, aquatisiert (Salzsäure)
- Elektrischer Strom
- Wärmeenergie (Energieträger: Heizöl)

Weizen

Parameter	Wert	Einheit
Feldfruchtertrag bei Erntefeuchte	2000	kg/ha
Mineralische N-Dünger	45	kg N/ha
Mineralische P ₂ O ₅ -Dünger	25	kg P ₂ O ₅ /ha
Mineralische K ₂ O-Dünger	5	kg K ₂ O/ha
Wirtschaftsdünger-Einsatz	0	kg/ha
Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffmenge	1,5	kg/ha
Dieselvebrauch	40,4	l/ha
Saatgutbedarf	230	kg/ha
Stromverbrauch Ein- und Auslagerung	3,7	kWh/t
Trocknung	ja	
Feuchte vor Trocknung	20	%
Feuchte nach Trocknung	14	%
Anteil solare Trocknung	0	%
Anteil fossile Heizungstrocknung	100	%
Bewässerungsbedarf	nein	
Wassermenge für Bewässerung	0	m ³ /(ha*a)
Oberflächenbewässerungs-Anteil	0	%
Mikrobewässerungs-Anteil	0	%
Beregnungs-Anteil	0	%

Quellen: FAO, 1999; Isermeyer, 2006; McKell, 2007; KTBL, 2006; Wolff, 1999

Für Weizen wurden die kanadischen Produktionsverhältnisse abgebildet. Die kanadische Weizenproduktion ist im Vergleich zu mitteleuropäischen Verhältnissen durch eine extensivere Wirtschaftsweise gekennzeichnet. Dies schlägt sich in einer reduzierten Bodenbearbeitung, geringerem Mineraldüngereinsatz (FAO, 1999) und niedrigeren Erträgen nieder (Isermeyer, 2006). Die reduzierte Bodenbearbeitung hat hierbei einen erheblichen Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch der Weizenproduktion in Kanada. Nach (McKell, 2007) werden rund 50% der kanadischen Ackerflächen in Direktsaat bewirtschaftet. Auf Basis dieser Aussage und unter der Annahme, dass die übrigen Flächen in wendender Bodenbearbeitung bestellt werden, konnte der Kraftstoffverbrauch berechnet werden. Hierbei wurde (KTBL, 2006) zugrunde gelegt. Es wurde eine Schlaggröße von 20 ha angenommen. Die Annahme der Bewässerungsmenge erfolgte aufgrund der Evapotranspiration von Weizen (Wolff, 1999), der jährlichen Niederschlagssumme in Kanada und der dortigen -vorwiegend extensiven- Bewirtschaftungsweise. Als Evapotranspiration wird die Summe aus der unproduktiven Verdunstung der Böden (Evaporation) und der produktiven Verdunstung über die Pflanzen (Transpiration) bezeichnet.

Reis

Parameter	Wert	Einheit
Feldfruchtertrag bei Erntefeuchte	58000	kg/ha
Mineralische N-Dünger	95	kg N/ha
Mineralische P ₂ O ₅ -Dünger	66	kg P ₂ O ₅ /ha
Mineralische K ₂ O-Dünger	85	kg K ₂ O/ha
Wirtschaftsdünger-Einsatz	0	kg/ha
Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffmenge	2,99	kg/ha
Dieselvebrauch	64,6	l/ha
Saatgutbedarf	8	kg/ha
Stromverbrauch Ein- und Auslagerung	3,7	kWh/t
Trocknung	ja	
Feuchte vor Trocknung	25	%
Feuchte nach Trocknung	14	%
Anteil solare Trocknung	0	%
Anteil fossile Heizungstrocknung	100	%
Bewässerungsbedarf	ja	
Wassermenge für Bewässerung	37700	m ³ /(ha*a)
Oberflächenbewässerungs-Anteil	95	%
Mikrobewässerungs-Anteil	0	%
Beregnungs-Anteil	5	%

Quellen: Agromil, 2007; IFA, 1992

Die Rohstoffaufwendungen für die Reisproduktion wurden soweit möglich anhand der italienischen Verhältnisse betrachtet. Italien ist der größte europäische Reisproduzent und auch am internationalen Markt in nennenswerter Größenordnung beteiligt. Dies erklärt sich nach (Agromil, 2007) dadurch, dass 95 % der Weltreisproduktion für den Eigenverbrauch genutzt werden. Italien jedoch exportiert ca. 7,5 Mio. t Reis jährlich und bedient auch den deutschen Markt maßgeblich. Als Hauptanbauverfahren ist der Nassreisanbau in Italien vorherrschend, was den hohen Wasserverbrauch erklärt. Der Beregnungsanteil von 5% wurde hierbei gewählt, um den Energiebedarf eventuell eingesetzter Bewässerungspumpen mit abzubilden. Der Aufwand an Mineraldünger wurde nach (IFA, 1992), der Treibstoffbedarf nach (KTBL, 2006) und der Pestizideinsatz nach (UBA, 2002) mit einbezogen.

Kartoffeln

Parameter	Wert	Einheit
Feldfruchtertrag bei Erntefeuchte	11000	kg/ha
Mineralische N-Dünger	300	kg N/ha
Mineralische P ₂ O ₅ -Dünger	145	kg P ₂ O ₅ /ha
Mineralische K ₂ O-Dünger	115	kg K ₂ O/ha
Wirtschaftsdünger-Einsatz	0	kg/ha
Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffmenge	5,4	kg/ha
Dieserverbrauch	49,25	l/ha
Pflanzgutbedarf	0	kg/ha
Stromverbrauch Ein- und Auslagerung	0	kWh/t
Trocknung	nein	
Feuchte vor Trocknung	0	%
Feuchte nach Trocknung	0	%
Anteil solare Trocknung	0	%
Anteil fossile Heizungstrocknung	0	%
Bewässerungsbedarf	ja	
Wassermenge für Bewässerung	5000	m ³ /(ha*a)
Oberflächenbewässerungs-Anteil	93,9	%
Mikrobewässerungs-Anteil	2,5	%
Beregnungs-Anteil	3,6	%

Quellen: IFA, 1992; FAO, 2005; FAO, 2004; LfL, 2005

Der Kartoffelanbau wurde anhand der ägyptischen Produktionsverhältnisse betrachtet. Die ägyptische Landwirtschaft beschränkt sich nach (wikipedia, 2007) auf das Niltal und das Nildelta. Dies führte zu der Annahme, dass das vorherrschende Bewässerungsverfahren in Ägypten die Oberflächenbewässerung ist. Bei weiterführenden Recherchen wurde diese Annahme durch (FAO, 2004) bestätigt. Zusätzlich wurde die Annahme getroffen, dass ausschließlich drucklose Bewässerungsverfahren zum Einsatz kommen und diese händisch betrieben werden.

In Ägypten ist der Einsatz von Zugtieren bei Feldarbeiten üblich, allerdings konnte hierbei der genaue Umfang nicht ermittelt werden, da in den letzten Jahre ein Wandel der ägyptischen Landwirtschaft von der Subsistenzlandwirtschaft hin zu einer exportorientierten Landwirtschaft festzustellen ist. Dieser Sachverhalt bestimmt den Einsatz von Zugtieren bzw. deren Ablösung durch moderne Landmaschinen maßgeblich mit. Deshalb wären aktuelle Daten zur Beschreibung der tatsächlichen Situation notwendig gewesen. Aufgrund der mangelnden Verfügbarkeit solcher Daten wurde die Annahme getroffen, dass 50% der Kartoffeln durch Zugtiereinsatz bestellt werden. Für die restliche Menge wurde der Einsatz moderner Landmaschinen angenommen und unter diesen Vorgaben nach (KTBL, 2006) der Kraftstoffverbrauch berechnet.

Kartoffeln benötigen in der Zeit vom Knollenansatz bis zur Hauptblüte 80% ihres Gesamtwasserbedarfs (Lütke-Entrup/Oehmichen, 2000). Der Gesamtbedarf entspricht ca. 500 mm. Die jährliche Niederschlagsmenge in Ägypten beträgt nach (FAO, 2004) ca.120 mm. Deshalb wurde diesbezüglich die Annahme getroffen, dass die gesamte Wassermenge durch Bewässerung zugeführt wird.

Der Bedarf an Pflanzgut und der Einsatz an Wirtschaftsdünger wurden vernachlässigt, da keine verlässlichen Daten für Ägypten verfügbar waren.

Kartoffelerzeugnisse

Repräsentativ wurde für Kartoffelerzeugnisse die Produktion von tiefgekühlten Pommes- Frites betrachtet. Die hierbei verwendeten Daten wurden im Rahmen des BMU-Förderprojekts „Ernährungswende“ durch verschiedene Institutionen ermittelt (Ökolnst, 2005). Die Daten werden als hinreichend genau eingeschätzt.

Tomaten

Parameter	Wert	Einheit
Feldfruchtertrag bei Erntefeuchte	200000	kg/ha
Mineralische N-Dünger	175	kg N/ha
Mineralische P ₂ O ₅ -Dünger	175	kg P ₂ O ₅ /ha
Mineralische K ₂ O-Dünger	225	kg K ₂ O/ha
Wirtschaftsdünger-Einsatz	30000	kg/ha
Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffmenge	1,02	kg/ha
Dieserverbrauch	38,5	l/ha
Saatgutbedarf	0,12	kg/ha
Stromverbrauch Ein- und Auslagerung	0	kWh/t
Trocknung	nein	
Feuchte vor Trocknung	0	%
Feuchte nach Trocknung	0	%
Anteil solare Trocknung	0	%
Anteil fossile Heizungstrocknung	0	%
Bewässerungsbedarf	ja	
Wassermenge für Bewässerung	7500	m ³ /(ha*a)
Oberflächenbewässerungs-Anteil	0	%
Mikrobewässerungs-Anteil	100	%
Beregnungs-Anteil	0	%

Quellen: KTBL, 2002; IFA, 1992, Treppens, 2007

Der Tomatenanbau wurde anhand des Folienanbaus für Deutschland betrachtet. Zur Abbildung der Materialflüsse in den Importländern wären Daten zur Produktion in den südspanischen Provinzen Almeria bzw. El Ejido nötig gewesen. Diesbezügliche Daten waren in der Literatur nicht in zufrieden stellender Form und Qualität verfügbar. Die Gemüseproduktion in Südspanien ist durch einen Mangel an Umweltstandards und intensivste Produktionsverhältnisse gekennzeichnet. Als Kultursubstrat wird in Spanien häufig Steinwolle eingesetzt, welche in anderen Ländern im Gewächshausanbau zum Einsatz kommt. Unterschiede im Materialeinsatz zwischen der Gewächshausproduktion und dem Freilandanbau können bezüglich des KRA ergebnisrelevant sein, dürften sich aber nach eigener Einschätzung dadurch relativieren, dass die Höhe der Erträge und der dazu nötige Rohstoffeinsatz positiv korreliert sind. Für eine detailliertere Beurteilung der Abweichungen wäre eine Begutachtung der tatsächlichen Materialflüsse vor Ort nötig.

Paprika

Parameter	Wert	Einheit
Feldfruchtertrag bei Erntefeuchte	42500	kg/ha
Mineralische N-Dünger	275	kg N/ha
Mineralische P ₂ O ₅ -Dünger	125	kg P ₂ O ₅ /ha
Mineralische K ₂ O-Dünger	250	kg K ₂ O/ha
Wirtschaftsdünger-Einsatz	10000	kg/ha
Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffmenge	5,4	kg/ha
Dieserverbrauch	43,8	l/ha
Saatgutbedarf	0,4	kg/ha
Stromverbrauch Ein- und Auslagerung	0	kWh/t
Trocknung	nein	
Feuchte vor Trocknung	0	%
Feuchte nach Trocknung	0	%
Anteil solare Trocknung	0	%
Anteil fossile Heizungstrocknung	0	%
Bewässerungsbedarf	ja	
Wassermenge für Bewässerung	8250	m ³ /(ha*a)
Oberflächenbewässerungs-Anteil	0	%
Mikrobewässerungs-Anteil	50	%
Beregnungs-Anteil	50	%

Quellen: IFA, 1992; KTBL, 2002; ÖKL, 2005; KTBL, 2000; EnzaZaden, 2007

Für Paprika wurde der Freilandanbau für die gemäßigte Klimazone betrachtet. Ergänzend wurden zur Berechnung des Kraftstoffverbrauchs Daten für die deutschen Produktionsverhältnisse mit einbezogen. Dieses Vorgehen wurde gewählt, da die deutschen Verhältnisse mit einer guten Datenqualität abgebildet werden konnten. Weiterhin sind bei der Produktion von Paprika keine signifikanten länderspezifischen Unterschiede bezüglich des Treibstoffverbrauchs zu erwarten.

Zur Abbildung der Materialflüsse in den Importländern wären Daten zur Produktion in den südspanischen Provinzen Almeria bzw. El Ejido nötig gewesen. Diesbezügliche Daten waren in der Literatur nicht in zufrieden stellender Form und Qualität verfügbar. Die Gemüseproduktion in Südspanien ist durch einen Mangel an Umweltstandards und intensivste Produktionsverhältnisse gekennzeichnet. Als Kultursubstrat wird häufig Steinwolle eingesetzt. Unterschiede im Materialeinsatz zwischen der Gewächshausproduktion und dem Freilandanbau können bezüglich des KRA ergebnisrelevant sein, dürften sich aber nach eigener Einschätzung dadurch relativieren, dass die Höhe der Erträge und der dazu nötige Rohstoffeinsatz positiv korreliert sind. Für eine detailliertere Beurteilung der Abweichungen wäre eine Begutachtung der tatsächlichen Materialflüsse vor Ort nötig.

Salate und Kohl

Parameter	Wert	Einheit
Feldfruchtertrag bei Erntefeuchte	30000	kg/ha
Mineralische N-Dünger	175	kg N/ha
Mineralische P ₂ O ₅ -Dünger	75	kg P ₂ O ₅ /ha
Mineralische K ₂ O-Dünger	225	kg K ₂ O/ha
Wirtschaftsdünger-Einsatz	12500	kg/ha
Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffmenge	6,4	kg/ha
Dieselvebrauch	41,9	l/ha
Saatgutbedarf	0,8	kg/ha
Stromverbrauch Ein- und Auslagerung	0	kWh/t
Trocknung	nein	
Feuchte vor Trocknung	0	%
Feuchte nach Trocknung	0	%
Anteil solare Trocknung	0	%
Anteil fossile Heizungstrocknung	0	%
Bewässerungsbedarf	ja	
Wassermenge für Bewässerung	1000	m ³ /(ha*a)
Oberflächenbewässerungs-Anteil	0	%
Mikrobewässerungs-Anteil	50	%
Beregnungs-Anteil	50	%

Quellen: IFA, 1992; eigene Berechnung nach: KTBL, 2002; ÖKL, 2005; Treppens, 2007

Bei der Produktgruppe „Salate und Kohl“ wurde Kopfsalat als Repräsentant ausgewählt. Die Berechnung des KRA erfolgte hierbei nach (IFA, 1992) für die gemäßigte Klimazone. Ergänzend wurden zur Berechnung des Kraftstoffverbrauchs Daten für die deutschen Produktionsverhältnisse mit einbezogen. Dieses Vorgehen wurde gewählt, da die deutschen Verhältnisse mit einer guten Datenqualität abgebildet werden konnten. Weiterhin sind bei der Produktion von Kopfsalat keine signifikanten länder-spezifischen Unterschiede bezüglich des Treibstoffverbrauchs zu erwarten.

Kopfsalat wird im Erwerbsanbau gepflanzt; dennoch wurde in der vorliegenden Betrachtung der Saatgutbedarf mit einbezogen, der nötig ist, um das Pflanzgut zu erzeugen. Dieses Vorgehen wurde gewählt, da zum Pflanzgutbedarf keine Daten verfügbar waren.

Pilze

Parameter	Wert	Einheit
Feldfruchtertrag bei Erntefeuchte	2400000	kg/ha
Mineralische N-Dünger	0	kg N/ha
Mineralische P ₂ O ₅ -Dünger	0	kg P ₂ O ₅ /ha
Mineralische K ₂ O-Dünger	0	kg K ₂ O/ha
Wirtschaftsdünger-Einsatz	3430000	kg/ha
Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffmenge	5,4	kg/ha
Heizölverbrauch	210000	l/ha
Saatgutbedarf	0	kg/ha
Stromverbrauch Ein- und Auslagerung	0	kWh/t
Trocknung	nein	
Feuchte vor Trocknung	0	%
Feuchte nach Trocknung	0	%
Anteil solare Trocknung	0	%
Anteil fossile Heizungstrocknung	0	%
Bewässerungsbedarf	ja	
Wassermenge für Bewässerung	1000	m ³ /(ha*a)
Oberflächenbewässerungs-Anteil	0	%
Mikrobewässerungs-Anteil	100	%
Beregnungs-Anteil	0	%

Quellen: LH Hannover, 2006; Häußermann, 2002 und KTBL, 2002

Als Repräsentant für die Produktgruppe Pilze wurde der Zuchtchampignon bestimmt. Zuchtchampignons werden in Kulturräumen erzeugt. Diese unterscheiden sich z.B. von Gewächshäusern dadurch, dass keine Fensterflächen notwendig sind, da der Zuchtchampignon kein Licht zum Wachstum benötigt. Bei der Betrachtung dieses Produktionssystems wurde der Heizenergiebedarf anhand von Daten für den Gewächshausanbau abgeleitet, da keine spezifischen Daten für die Produktion von Champignons verfügbar waren. Der Ertrag und der Einsatz von Wirtschaftsdünger wurden nach (LH Hannover, 2006) und (Häußermann, 2002) berechnet. Beim Einsatz von Wirtschaftsdünger ist nicht von länderspezifischen Unterschieden auszugehen, da der Bedarf durch die angestrebte Erntemenge bestimmt ist. Deshalb bildet hierbei die Betrachtung der deutschen Verhältnisse auch jenen Input hinreichend genau ab, der zur Produktion der importierten Zuchtchampignons nötig ist.

Zucchini

Parameter	Wert	Einheit
Feldfruchtertrag bei Erntefeuchte	37000	kg/ha
Mineralische N-Dünger	170	kg N/ha
Mineralische P ₂ O ₅ -Dünger	34	kg P ₂ O ₅ /ha
Mineralische K ₂ O-Dünger	120	kg K ₂ O/ha
Wirtschaftsdünger-Einsatz	30000	kg/ha
Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffmenge	11	kg/ha
Dieselvebrauch	48,9	l/ha
Saatgutbedarf	5,5	kg/ha
Stromverbrauch Ein- und Auslagerung	0	kWh/t
Trocknung	nein	
Feuchte vor Trocknung	0	%
Feuchte nach Trocknung	0	%
Anteil solare Trocknung	0	%
Anteil fossile Heizungstrocknung	0	%
Bewässerungsbedarf	ja	
Wassermenge für Bewässerung	1000	m ³ /(ha*a)
Oberflächenbewässerungs-Anteil	0	%
Mikrobewässerungs-Anteil	50	%
Beregnungs-Anteil	50	%

Quellen: KTBL, 2002; IFA, 1992; Bozen, 2004; ÖKL, 2005

Der Anbau von Zucchini wurde anhand der Anbauverhältnisse in der gemäßigten Klimazone betrachtet. Die Feldarbeiten sind hierbei mechanisiert, die Ernte wird händisch erledigt. Der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und der Kraftstoffeinsatz wurden für deutsche Verhältnisse nach (KTBL, 2002) berechnet.

Spargel

Parameter	Wert	Einheit
Feldfruchtertrag bei Erntefeuchte	6000	kg/ha
Mineralische N-Dünger	125	kg N/ha
Mineralische P ₂ O ₅ -Dünger	125	kg P ₂ O ₅ /ha
Mineralische K ₂ O-Dünger	175	kg K ₂ O/ha
Wirtschaftsdünger-Einsatz	10400	kg/ha
Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffmenge	3,6	kg/ha
Dieselvebrauch	46	l/ha
Saatgutbedarf	0	kg/ha
Stromverbrauch Ein- und Auslagerung	0	kWh/t
Trocknung	nein	
Feuchte vor Trocknung	0	%
Feuchte nach Trocknung	0	%
Anteil solare Trocknung	0	%
Anteil fossile Heizungstrocknung	0	%
Bewässerungsbedarf	ja	
Wassermenge für Bewässerung	1500	m ³ /(ha*a)
Oberflächenbewässerungs-Anteil	0	%
Mikrobewässerungs-Anteil	0	%
Beregnungs-Anteil	100	%

Quellen: IFA, 1992; KTBL, 2002; ÖKL, 2005

Der Spargelanbau wurde nach (IFA, 2006) für gemäßigte Anbauggebiete betrachtet. Die wesentlichen Daten stammen aus dieser Quelle, welche Mittelwerte für Anbauggebiete in der gemäßigten Klimazone angibt. Der Einsatz von Wirtschaftsdünger wurde unter der Annahme berechnet, dass vor der Pflanzung 35 t und in den Ertragsjahren jeweils 10 t auf die Spargelanbaufläche ausgebracht werden. Hierbei wurden 10 Ertragsjahre unterstellt beginnend ab dem 3.Jahr nach der Pflanzung. Der Kraftstoffverbrauch wurde nach (KTBL, 2002) und (ÖKL, 2005) für deutsche Verhältnisse berechnet.

Auberginen

Parameter	Wert	Einheit
Feldfruchtertrag bei Erntefeuchte	30000	kg/ha
Mineralische N-Dünger	273	kg N/ha
Mineralische P ₂ O ₅ -Dünger	343	kg P ₂ O ₅ /ha
Mineralische K ₂ O-Dünger	203	kg K ₂ O/ha
Wirtschaftsdünger-Einsatz	20000	kg/ha
Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffmenge	5,4	kg/ha
Dieselvebrauch	43,8	l/ha
Saatgutbedarf	0,24	kg/ha
Stromverbrauch Ein- und Auslagerung	0	kWh/t
Trocknung	nein	
Feuchte vor Trocknung	0	%
Feuchte nach Trocknung	0	%
Anteil solare Trocknung	0	%
Anteil fossile Heizungstrocknung	0	%
Bewässerungsbedarf	ja	
Wassermenge für Bewässerung	1000	m ³ /(ha*a)
Oberflächenbewässerungs-Anteil	0	%
Mikrobewässerungs-Anteil	50	%
Beregnungs-Anteil	50	%

Quellen: IFA, 1992; KTBL, 2002; ÖKL, 2005; Aders, 2007

Bei Auberginen wurde eine erhebliche Schwankungsbreite der in der Literatur angegebenen Ertragsdaten festgestellt. Nach (IFA, 1992) ist der angegebene Ertrag von 30 t/ha als akzeptabel anzusehen.

Gurken und Hülsenfrüchte

Parameter	Wert	Einheit
Feldfruchtertrag bei Erntefeuchte	50000	kg/ha
Mineralische N-Dünger	150	kg N/ha
Mineralische P ₂ O ₅ -Dünger	100	kg P ₂ O ₅ /ha
Mineralische K ₂ O-Dünger	200	kg K ₂ O/ha
Wirtschaftsdünger-Einsatz	20000	kg/ha
Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffmenge	5,03	kg/ha
Dieselvebrauch	43,8	l/ha
Saatgutbedarf	1,35	kg/ha
Stromverbrauch Ein- und Auslagerung	0	kWh/t
Trocknung	nein	
Feuchte vor Trocknung	0	%
Feuchte nach Trocknung	0	%
Anteil solare Trocknung	0	%
Anteil fossile Heizungstrocknung	0	%
Bewässerungsbedarf	ja	
Wassermenge für Bewässerung	1000	m ³ /(ha*a)
Oberflächenbewässerungs-Anteil	0	%
Mikrobewässerungs-Anteil	50	%
Beregnungs-Anteil	50	%

Quellen: IFA, 1992; KTBL, 2002; ÖKL, 2005; Bozen, 2004

Bei der Bearbeitung der Produktgruppe „Gurken und Hülsenfrüchte“ wurden Gurken als Repräsentant festgelegt. Hierbei war auffallend, dass die in der Literatur angegebenen Ertragsdaten eine erhebliche Schwankungsbreite aufweisen. Für Freilandanbau werden Werte zwischen 30 bis über 100 t/ha angegeben (IFA, 1992). Der ausgewählte Wert von 50 t/ha kann nach eigener Einschätzung als repräsentativ angesehen werden.

Brugnolen

Parameter	Wert	Einheit
Feldfruchtertrag bei Erntefeuchte	28000	kg/ha
Mineralische N-Dünger	100	kg N/ha
Mineralische P ₂ O ₅ -Dünger	45	kg P ₂ O ₅ /ha
Mineralische K ₂ O-Dünger	145	kg K ₂ O/ha
Wirtschaftsdünger-Einsatz	0	kg/ha
Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffmenge	5,4	kg/ha
Dieselvebrauch	392	l/ha
Saatgutbedarf	0	kg/ha
Stromverbrauch Ein- und Auslagerung	0	kWh/t
Trocknung	nein	
Feuchte vor Trocknung	0	%
Feuchte nach Trocknung	0	%
Anteil solare Trocknung	0	%
Anteil fossile Heizungstrocknung	0	%
Bewässerungsbedarf	ja	
Wassermenge für Bewässerung	2500	m ³ /(ha*a)
Oberflächenbewässerungs-Anteil	0	%
Mikrobewässerungs-Anteil	50	%
Beregnungs-Anteil	50	%

Quellen: IFA, 1992; IfoL, 2000; ÖWAV, 2003

Die Datenlage bei der Betrachtung von Brugnolen stellt sich insgesamt als unbefriedigend dar. Deshalb wurden repräsentative Daten allgemein für Steinobst recherchiert. Lediglich zum Einsatz von Wirtschaftsdüngern lagen keine belastbaren Daten vor, weshalb dieser Inputstoff vernachlässigt wurde.

Erdbeeren

Parameter	Wert	Einheit
Feldfruchtertrag bei Erntefeuchte	13000	kg/ha
Mineralische N-Dünger	175	kg N/ha
Mineralische P ₂ O ₅ -Dünger	100	kg P ₂ O ₅ /ha
Mineralische K ₂ O-Dünger	275	kg K ₂ O/ha
Wirtschaftsdünger-Einsatz	15000	kg/ha
Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffmenge	5,4	kg/ha
Dieserverbrauch	43,8	l/ha
Pflanzgutbedarf	0	kg/ha
Stromverbrauch Ein- und Auslagerung	0	kWh/t
Trocknung	nein	
Feuchte vor Trocknung	0	%
Feuchte nach Trocknung	0	%
Anteil solare Trocknung	0	%
Anteil fossile Heizungstrocknung	0	%
Bewässerungsbedarf	ja	
Wassermenge für Bewässerung	2500	m ³ /(ha*a)
Oberflächenbewässerungs-Anteil	0	%
Mikrobewässerungs-Anteil	50	%
Beregnungs-Anteil	50	%

Quellen: KTBL, 2002b; IFA, 1992; ÖWAV, 2003

Die Erdbeerproduktion wurde anhand des Freilandanbaus in Reihenkultur betrachtet. Zur Abbildung der tatsächlichen Produktion in den Importländern wären entweder Daten zur Gewächshausproduktion in den Niederlanden oder zur Produktion in den südspanischen Provinzen Almeria bzw. El Ejido nötig gewesen. Diesbezügliche Daten waren nicht in zufrieden stellender Form und Qualität verfügbar. Insbesondere die Erdbeerproduktion in Südspanien ist durch einen Mangel an Umweltstandards und intensivste Produktionsverhältnisse gekennzeichnet. Sowohl die niederländische Gewächshausproduktion als auch die südspanischen Anbauverhältnisse sind durch einen erdelosen Anbau charakterisiert. Als Kultursubstrat wird häufig Steinwolle eingesetzt. Welchen Einfluss dieser Materialinput auf den KRA der Erdbeerproduktion hat, kann nur schwer abgeschätzt werden.

Sonstige Unterschiede im Materialeinsatz zwischen der Gewächshausproduktion und des Freilandanbaus können bezüglich des KRA ergebnisrelevant sein, dürften sich aber nach eigener Einschätzung dadurch relativieren, dass die Höhe der Erträge und der dazu nötige Rohstoffeinsatz positiv korreliert sind.

Kiwis

Parameter	Wert	Einheit
Feldfruchtertrag bei Erntefeuchte	23000	kg/ha
Mineralische N-Dünger	170	kg N/ha
Mineralische P ₂ O ₅ -Dünger	128	kg P ₂ O ₅ /ha
Mineralische K ₂ O-Dünger	240	kg K ₂ O/ha
Wirtschaftsdünger-Einsatz	0	kg/ha
Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffmenge	5,4	kg/ha
Dieselvebrauch	50,5	l/ha
Saatgutbedarf	0	kg/ha
Stromverbrauch Ein- und Auslagerung	0	kWh/t
Trocknung	nein	
Feuchte vor Trocknung	0	%
Feuchte nach Trocknung	0	%
Anteil solare Trocknung	0	%
Anteil fossile Heizungstrocknung	0	%
Bewässerungsbedarf	ja	
Wassermenge für Bewässerung	2500	m ³ /(ha*a)
Oberflächenbewässerungs-Anteil	0	%
Mikrobewässerungs-Anteil	50	%
Beregnungs-Anteil	50	%

Quellen: IFA, 1992; ÖKL, 2005; ÖWAV, 2003; KTBL, 2002b

Für den Kiwianbau konnten keine länderspezifischen Daten ermittelt werden. (IFA, 1992) macht allgemeine Angaben, die als Datengrundlage herangezogen wurden. Der Einsatz von Wirtschaftsdünger wurde vernachlässigt, da keine verlässlichen Daten verfügbar waren.

Melonen

Parameter	Wert	Einheit
Feldfruchtertrag bei Erntefeuchte	30000	kg/ha
Mineralische N-Dünger	125	kg N/ha
Mineralische P ₂ O ₅ -Dünger	150	kg P ₂ O ₅ /ha
Mineralische K ₂ O-Dünger	195	kg K ₂ O/ha
Wirtschaftsdünger-Einsatz	20000	kg/ha
Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffmenge	5,4	kg/ha
Dieselvebrauch	43,8	l/ha
Saatgutbedarf	1	kg/ha
Stromverbrauch Ein- und Auslagerung	0	kWh/t
Trocknung	nein	
Feuchte vor Trocknung	0	%
Feuchte nach Trocknung	0	%
Anteil solare Trocknung	0	%
Anteil fossile Heizungstrocknung	0	%
Bewässerungsbedarf	ja	
Wassermenge für Bewässerung	2500	m ³ /(ha*a)
Oberflächenbewässerungs-Anteil	0	%
Mikrobewässerungs-Anteil	50	%
Beregnungs-Anteil	50	%

Quellen: IFA, 1992; ÖWAV, 2003

Der Anbau von Melonen wurde nach (IFA, 1992) für internationale Verhältnisse anhand der Freilandkultur betrachtet. Für den Einsatz von Dieselmkraftstoff wurde ein Mittelwert der Gemüsekulturen herangezogen. Da die Anbauverfahren der betrachteten Freilandgemüsekulturen und das Anbauverfahren bei Melonen grundsätzlich vergleichbar sind, wird angenommen, dass auch die Kraftstoffaufwendungen in der gleichen Größenordnung liegen. Bei dem Einsatz von Pflanzenschutzmittel wurde ebenso verfahren.

Tafeltrauben

Parameter	Wert	Einheit
Feldfruchtertrag bei Erntefeuchte	20000	kg/ha
Mineralische N-Dünger	90	kg N/ha
Mineralische P ₂ O ₅ -Dünger	35	kg P ₂ O ₅ /ha
Mineralische K ₂ O-Dünger	125	kg K ₂ O/ha
Wirtschaftsdünger-Einsatz	0	kg/ha
Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffmenge	5,4	kg/ha
Dieserverbrauch	160	l/ha
Saatgutbedarf	0	kg/ha
Stromverbrauch Ein- und Auslagerung	0	kWh/t
Trocknung	nein	
Feuchte vor Trocknung	0	%
Feuchte nach Trocknung	0	%
Anteil solare Trocknung	0	%
Anteil fossile Heizungstrocknung	0	%
Bewässerungsbedarf	ja	
Wassermenge für Bewässerung	1250	m ³ /(ha*a)
Oberflächenbewässerungs-Anteil	0	%
Mikrobewässerungs-Anteil	20	%
Beregnungs-Anteil	80	%

Quellen: IFA, 1992; ÖKL, 2005; ÖWAV, 2003

Der Anbau von Tafeltrauben wurde nach den Angaben in (IFA, 1992) betrachtet. Hierbei war auffallend, dass die Daten zum Einsatz von Mineraldünger eine große Schwankungsbreite aufwiesen. Aus diesem Grund wurden Mittelwerte gebildet. Der Einsatz von Wirtschaftsdünger wurde vernachlässigt, da keinen verlässlichen Daten für die italienischen Verhältnisse verfügbar waren. Der hohe Kraftstoffverbrauch ergibt sich teilweise durch den zu Grunde gelegten Einsatz eines Traubenvollernters, welcher in zunehmendem Maß die händische Traubenernte ablöst. Die Berechnungen erfolgten nach (ÖKL, 2005).

Bananen

Parameter	Wert	Einheit
Feldfruchtertrag bei Erntefeuchte	40000	kg/ha
Mineralische N-Dünger	550	kg N/ha
Mineralische P ₂ O ₅ -Dünger	225	kg P ₂ O ₅ /ha
Mineralische K ₂ O-Dünger	1050	kg K ₂ O/ha
Wirtschaftsdünger-Einsatz	77500	kg/ha
Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffmenge	40	kg/ha
Dieselvebrauch	140	l/ha
Saatgutbedarf	0	kg/ha
Stromverbrauch Ein- und Auslagerung	0	kWh/t
Trocknung	nein	
Feuchte vor Trocknung	0	%
Feuchte nach Trocknung	0	%
Anteil solare Trocknung	0	%
Anteil fossile Heizungstrocknung	0	%
Bewässerungsbedarf	ja	
Wassermenge für Bewässerung	220	m ³ /(ha*a)
Oberflächenbewässerungs-Anteil	0	%
Mikrobewässerungs-Anteil	50	%
Beregnungs-Anteil	50	%

Quellen: Giljum, 1999; IFA, 1992; ForoEmaus,

Für die Produktion von Bananen wurden die Verhältnisse in Costa Rica betrachtet. Der Bananananbau ist generell durch einen hohen Pestizideinsatz gekennzeichnet. Die Ausbringung der Pestizide erfolgt in der Regel durch Kleinflugzeuge. Diese Applikationstechnik erhöht den Bedarf an Pestiziden signifikant, da eine wesentlich größere Abdrift der Wirkstoffe auftritt als bei anderen Ausbringtechniken. Ebenso erhöht sich der Kraftstoffbedarf des Anbauverfahrens. Weiterhin ist die Menge an ausgebrachtem Wirtschaftsdünger auffallend hoch. Dieser Wert ist nach (IFA, 1992) in vielen Anbauregionen üblich. Konkrete Daten für den Wirtschaftsdüngereinsatz auf Costa Rica waren keine verfügbar. Allerdings verfügt Costa Rica nach (Dieckmann, 2006) über rund 2 Mio. Rinder. Deshalb wurde die Annahme getroffen, dass ausreichend Wirtschaftsdünger zur Verfügung steht, um die genannten Mengen zur Bananenproduktion bereitzustellen.

Beim Anbau von Bananen wurden folgenden Materialien mit berücksichtigt, die zur Produktion bzw. Verpackung der Bananen dienen:

- Folienbeutel (250 kg PE/ 100t Bananen) entspricht 100kg/ha
- Plastikschnüre (225 kg PE/ 100t Bananen) entspricht 90 kg/ha
- Transportkiste (1300 g Wellkarton/ 18,14 kg Bananen) entspricht 2868 kg/ha

Orangen

Parameter	Wert	Einheit
Feldfruchtertrag bei Erntefeuchte	38000	kg/ha
Mineralische N-Dünger	250	kg N/ha
Mineralische P ₂ O ₅ -Dünger	118	kg P ₂ O ₅ /ha
Mineralische K ₂ O-Dünger	225	kg K ₂ O/ha
Wirtschaftsdünger-Einsatz	0	kg/ha
Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffmenge	40	kg/ha
Dieselvebrauch	140	l/ha
Saatgutbedarf	0	kg/ha
Stromverbrauch Ein- und Auslagerung	0	kWh/t
Trocknung	nein	
Feuchte vor Trocknung	0	%
Feuchte nach Trocknung	0	%
Anteil solare Trocknung	0	%
Anteil fossile Heizungstrocknung	0	%
Bewässerungsbedarf	ja	
Wassermenge für Bewässerung	7500	m ³ /(ha*a)
Oberflächenbewässerungs-Anteil	0	%
Mikrobewässerungs-Anteil	50	%
Beregnungs-Anteil	50	%

Quellen: IFA, 1992; Hickman, 2006

Der Anbau von Navelorangen wurde anhand internationaler Durchschnittswerte betrachtet. Als Grundlage zur Berechnung des Dieselvebrauchs dieses Anbauverfahrens wurde die Annahme getroffen, dass die Pestizidausbringung analog zur Bananenproduktion mit Kleinflugzeugen erfolgt. Der Einsatz von Wirtschaftsdüngern wurde vernachlässigt, da keine belastbaren Literaturangaben vorhanden waren.

Mandeln

Parameter	Wert	Einheit
Feldfruchtertrag bei Erntefeuchte	2200	kg/ha
Mineralische N-Dünger	79	kg N/ha
Mineralische P ₂ O ₅ -Dünger	0	kg P ₂ O ₅ /ha
Mineralische K ₂ O-Dünger	120	kg K ₂ O/ha
Wirtschaftsdünger-Einsatz	0	kg/ha
Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffmenge	4	kg/ha
Dieselvebrauch	80	l/ha
Saatgutbedarf	0	kg/ha
Stromverbrauch Ein- und Auslagerung	0	kWh/t
Trocknung	nein	
Feuchte vor Trocknung	0	%
Feuchte nach Trocknung	0	%
Anteil solare Trocknung	0	%
Anteil fossile Heizungstrocknung	0	%
Bewässerungsbedarf	ja	
Wassermenge für Bewässerung	1000	m ³ /(ha*a)
Oberflächenbewässerungs-Anteil	0	%
Mikrobewässerungs-Anteil	50	%
Beregnungs-Anteil	50	%

Quellen: IFA, 1992; FAT, 2005; KTBL; 2002b und eigene Berechnungen

Für die Mandelproduktion wurde eine Mechanisierung von Anbau und Ernte angenommen. Der nötige Kraftstoffbedarf wurde nach (FAT, 2005) und (KTBL, 2002b) berechnet, da hierzu keine Literaturdaten verfügbar waren. Daten zum Einsatz von Wirtschaftsdünger waren ebenfalls keine verfügbar. Deshalb wurde dieser Parameter in der Betrachtung vernachlässigt.

Erdnüsse, geröstet

Parameter	Wert	Einheit
Feldfruchtertrag bei Erntefeuchte	2500	kg/ha
Mineralische N-Dünger	0	kg N/ha
Mineralische P ₂ O ₅ -Dünger	68	kg P ₂ O ₅ /ha
Mineralische K ₂ O-Dünger	73	kg K ₂ O/ha
Wirtschaftsdünger-Einsatz	0	kg/ha
Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffmenge	4	kg/ha
Dieselvebrauch	50	l/ha
Saatgutbedarf	185	kg/ha
Stromverbrauch Ein- und Auslagerung	0	kWh/t
Trocknung	ja	
Feuchte vor Trocknung	50	%
Feuchte nach Trocknung	5	%
Anteil solare Trocknung	0	%
Anteil fossile Heizungstrocknung	100	%
Bewässerungsbedarf	ja	
Wassermenge für Bewässerung	1500	m ³ /(ha*a)
Oberflächenbewässerungs-Anteil	0	%
Mikrobewässerungs-Anteil	100	%
Beregnungs-Anteil	0	%

Quellen: IFA, 1992; eigene Berechnungen nach: ÖKL, 2005; ÖWAV, 2003; UU, 2006

Die vorliegenden Daten beschreiben den Anbau von Erdnüssen in den USA. Bei der Betrachtung fällt der fehlende Einsatz von mineralischem Stickstoffdünger auf. Dies ist dadurch zu erklären, dass die Erdnusspflanze botanisch zur Familie der Leguminosen gehört. Diese kennzeichnen sich dadurch, dass im Wurzelbereich solcher Pflanzen oftmals eine Symbiose mit bestimmten Bakterien aus der Familie der Rhizobiaceae entsteht. Diese so genannten Rhizobien besitzen die Fähigkeit den Luftstickstoff zu binden und den Leguminosen zugänglich zu machen. Eine mineralische Stickstoffdüngung würde diesen Effekt hemmen bzw. vollständig unterbinden. Daten zum Einsatz von Wirtschaftsdünger waren keine verfügbar. Deshalb wurde dieser Parameter in der Betrachtung vernachlässigt.

Sultaninen

Parameter Sultantraubenanbau	Wert	Einheit
Feldfruchtertrag bei Erntefeuchte	20000	kg/ha
Mineralische N-Dünger	90	kg N/ha
Mineralische P ₂ O ₅ -Dünger	35	kg P ₂ O ₅ /ha
Mineralische K ₂ O-Dünger	125	kg K ₂ O/ha
Wirtschaftsdünger-Einsatz	0	kg/ha
Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffmenge	5,4	kg/ha
Dieserverbrauch	80	l/ha
Saatgutbedarf	0	kg/ha
Stromverbrauch Ein- und Auslagerung	0	kWh/t
Trocknung	ja	
Feuchte vor Trocknung	85	%
Feuchte nach Trocknung	25	%
Anteil solare Trocknung	80	%
Anteil fossile Heizungstrocknung	20	%
Bewässerungsbedarf	ja	
Wassermenge für Bewässerung	1250	m ³ /(ha*a)
Oberflächenbewässerungs-Anteil	0	%
Mikrobewässerungs-Anteil	50	%
Beregnungs-Anteil	50	%

Quellen: IFA, 1992

Botanisch betrachtet sind Sultaninen getrocknete Weinbeeren. Aus diesem Grund wurde die Traubenproduktion als Basis gewählt, um die Rohstoffaufwendungen des Anbaus von Sultaninen zu erfassen. Zusätzlich zum Anbau der Beeren wurde die Trocknung derselben berücksichtigt. Teilweise werden Sultaninen gebleicht und geschwefelt (GDV, 2007). Hierzu waren in der Literatur allerdings keine verlässlichen Daten verfügbar. Ungesicherte Daten nennen eine Höchstmenge von 1 g Schwefelsäureeinsatz pro kg Sultaninen. Weiterhin wird von [DEBInet, 2007] bei Sultaninen ein Schwefelgehalt von 230 µg/kg genannt. Bei dieser Größenordnung kann davon ausgegangen werden, dass kein ergebnisrelevanter Einfluss des Schwefeleinsatzes auf den Rohstoffaufwand vorliegt. Deshalb wurden diese Konservierungsverfahren nicht betrachtet. Ebenso wurde der Einsatz von Wirtschaftsdüngern zur Produktion der Beeren aus der Betrachtung ausgeschlossen.

Kakaobohnen

Parameter	Wert	Einheit
Feldfruchtertrag bei Erntefeuchte	600	kg/ha
Mineralische N-Dünger	11d5	kg N/ha
Mineralische P ₂ O ₅ -Dünger	90	kg P ₂ O ₅ /ha
Mineralische K ₂ O-Dünger	130	kg K ₂ O/ha
Wirtschaftsdünger-Einsatz	0	kg/ha
Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffmenge	1,5	kg/ha
Dieserverbrauch	0	l/ha
Saatgutbedarf	0	kg/ha
Stromverbrauch Ein- und Auslagerung	0	kWh/t
Trocknung	ja	
Feuchte vor Trocknung	60	%
Feuchte nach Trocknung	7	%
Anteil solare Trocknung	100	%
Anteil fossile Heizungstrocknung	0	%
Bewässerungsbedarf	nein	
Wassermenge für Bewässerung	0	m ³ /(ha*a)
Oberflächenbewässerungs-Anteil	0	%
Mikrobewässerungs-Anteil	0	%
Beregnungs-Anteil	0	%

Quellen: Pipitone, 2007; IFA, 1992

Unter afrikanischen Verhältnissen wird Kakao als Mischkultur angepflanzt und benötigt keine Bewässerung. Da die Elfenbeinküste ein bedeutendes Importland für Kakao ist, wird in der vorliegenden Betrachtung von einer Kultivierung der Kakaopflanze im Regenfeldbau ausgegangen. Dieses Anbauverfahren nutzt lediglich die jährlichen Niederschläge als Wasserressource.

Nach (Havelaar, 2007) erfolgt der globale Kakaoanbau zu 70% in Westafrika. Deshalb wurde ein von (Pipitone, 2007) genannter globaler Durchschnittswert für den Hektarertrag verwendet, der dementsprechend auch die Ertragsverhältnisse der Elfenbeinküste ausreichend genau abbildet. Daten zum Einsatz von Wirtschaftsdünger waren keine verfügbar. Deshalb wurde dieser Parameter in der Betrachtung vernachlässigt.

Sojaöl und –schrot

Parameter Sojabohnenanbau	Wert	Einheit
Feldfruchtertrag bei Erntefeuchte	2300	kg/ha
Mineralische N-Dünger	0	kg N/ha
Mineralische P ₂ O ₅ -Dünger	30	kg P ₂ O ₅ /ha
Mineralische K ₂ O-Dünger	30	kg K ₂ O/ha
Wirtschaftsdünger-Einsatz	0	kg/ha
Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffmenge	4,2	kg/ha
Dieserverbrauch	70	l/ha
Saatgutbedarf	70	kg/ha
Stromverbrauch Ein- und Auslagerung	3,7	kWh/t
Trocknung	ja	
Feuchte vor Trocknung	17,6	%
Feuchte nach Trocknung	12,3	%
Anteil solare Trocknung	0	%
Anteil fossile Heizungstrocknung	100	%
Bewässerungsbedarf	ja	
Wassermenge für Bewässerung	1900	m ³ /(ha*a)
Oberflächenbewässerungs-Anteil	0	%
Mikrobewässerungs-Anteil	100	%
Beregnungs-Anteil	100	%

Quellen: FNP, 2000; USDA, 1998; USDA-NASS, 1998

Der Anbau von Sojabohnen wurde anhand der südamerikanischen Verhältnisse betrachtet. Das Hauptimportland für Sojaprodukte ist Brasilien. Zur Betrachtung der brasilianischen Sojaproduktion konnte auf Originaldaten des brasilianischen Agrarberichts aus dem Jahr 2000 zurückgegriffen werden (FNP, 2000). Ergänzt wurden die dort gemachten Angaben durch US- amerikanische Anbaudaten des amerikanischen Landwirtschaftsamts (USDA, 1998).

Kokosöl

Kokospalmen tragen im Alter von 5 bis 7 Jahren die ersten Früchte, insgesamt kann von 60 bis 70 Ertragsjahren ausgegangen werden. Die Produktion des Kokosöls ist durch 3 Produktionsschritte gekennzeichnet: die Ernte der Kokosnüsse, die Gewinnung von Kopra und schließlich die Weiterverarbeitung in der Ölmühle.

Quelle: Ecoinvent, 2004

Palmöl und Palmkernöl

Ölpalmen tragen im Alter von ca. 3 Jahren die ersten Früchte, insgesamt kann von 20 bis 25 Ertragsjahren ausgegangen werden. Nach der Ernte der Früchte erfolgt die Weiterverarbeitung in der Ölmühle.

Quelle: Ecoinvent, 2004

Zimmerpflanzen

Parameter	Wert	Einheit
Gewächshausertrag	33000	kg/ha
Mineralische N-Dünger	165	kg N/ha
Mineralische P ₂ O ₅ -Dünger	83	kg P ₂ O ₅ /ha
Mineralische K ₂ O-Dünger	100	kg K ₂ O/ha
Wirtschaftsdünger-Einsatz	0	kg/ha
Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffmenge	4	kg/ha
Heizölverbrauch	330000	l/ha
Saatgutbedarf	0	kg/ha
Stromverbrauch Ein- und Auslagerung	0	kWh/t
Trocknung	nein	
Feuchte vor Trocknung	0	%
Feuchte nach Trocknung	0	%
Anteil solare Trocknung	0	%
Anteil fossile Heizungstrocknung	0	%
Bewässerungsbedarf	ja	
Wassermenge für Bewässerung	10000	m ³ /(ha*a)
Oberflächenbewässerungs-Anteil	0	%
Mikrobewässerungs-Anteil	100	%
Beregnungs-Anteil	0	%

Quellen: MLR, 2005; Myclimate, 2006; IFA, 1992; AEL, 2003

Die Produktion von Zimmerpflanzen wurde anhand der Situation in den Niederlanden betrachtet, welche das Hauptimportland für diese Produktgruppe darstellen. Das niederländische Produktionssystem ist hierbei durch die Gewächshausproduktion charakterisiert. Die Pflanzenproduktion in Gewächshäusern ist generell eine ressourcenintensive Produktionsweise, was sich im Wesentlichen durch den Heizenergiebedarf der Gewächshausproduktion erklären lässt. Bei der Gewächshausproduktion in den Niederlanden wird häufig ein erdeloses Anbauverfahren betrieben, wobei i.d.R. Steinwolle als Kultursubstrat eingesetzt wird. Bei der Betrachtung der Zimmerpflanzenproduktion wurde allerdings von einer Kultur auf Erde ausgegangen, da die Pflanzen in Erde eingetopft gehandelt werden.

Kaffee

Parameter	Wert	Einheit
Feldfruchtertrag bei Erntefeuchte	1000	kg/ha
Mineralische N-Dünger	250	kg N/ha
Mineralische P ₂ O ₅ -Dünger	25	kg P ₂ O ₅ /ha
Mineralische K ₂ O-Dünger	250	kg K ₂ O/ha
Wirtschaftsdünger-Einsatz	0	kg/ha
Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffmenge	1,5	kg/ha
Dieselvebrauch	0	l/ha
Saatgutbedarf	0	kg/ha
Stromverbrauch Ein- und Auslagerung	0	kWh/t
Trocknung	ja	
Feuchte vor Trocknung	55	%
Feuchte nach Trocknung	12	%
Anteil solare Trocknung	50	%
Anteil fossile Heizungstrocknung	50	%
Bewässerungsbedarf	nein	
Wassermenge für Bewässerung	0	m ³ /(ha*a)
Oberflächenbewässerungs-Anteil	0	%
Mikrobewässerungs-Anteil	0	%
Beregnungs-Anteil	0	%

Quellen: Kaffeeverband, 2004; IFA, 1992; FAO, 2004

Repräsentativ wurde die Kaffeeproduktion in Brasilien untersucht. Der Anbau von Kaffee ist durch mehrere Faktoren gekennzeichnet. Durch den Anbau einer perennierenden Pflanze, welche zudem praktisch ausschließlich in Handarbeit kultiviert wird unterscheidet sich der Kaffeeanbau maßgeblich von den meisten anderen modernen Kulturverfahren. Die Hektarerträge sind im Vergleich zu anderen landwirtschaftlichen Produkten als gering zu bezeichnen. Der globale Durchschnittsertrag liegt nach (Kaffeeverband, 2004) bei 680 kg/ha. Für brasilianische Verhältnisse sind ca. 1000 kg anzunehmen.

Bei den Nachernteverfahren ist bei Kaffee die Trocknung zu nennen. Weitere Verarbeitungsschritte von der geernteten Bohne zum gerösteten Endprodukt wurden in der vorliegenden Arbeit nicht betrachtet, da diese in der Regel in Deutschland stattfinden und deshalb nicht den Importländern zugerechnet werden können. Bezüglich der Trocknung wurde die Annahme getroffen, dass diese zu 50% solar und zu 50% unter Einsatz fossiler Brennstoffe stattfindet.

Laut deutschem Kaffeeverband e.V. kann eine Kaffeepflanze ihren Wasserbedarf bei einem jährlichen Niederschlag zw. 1500-2000 mm vollständig decken. Der durchschnittliche Niederschlag liegt in Brasilien bei ca. 1900 mm (FAO, 2004). Deshalb wird davon ausgegangen, dass brasilianische Kaffeepflanzungen nicht künstlich bewässert werden. Daten zum Einsatz von Wirtschaftsdünger waren keine verfügbar. Deshalb wurde dieser Parameter in der Betrachtung vernachlässigt.

Schwarzer Tee

Parameter	Wert	Einheit
Feldfruchtertrag bei Erntefeuchte	3000	kg/ha
Mineralische N-Dünger	264	kg N/ha
Mineralische P ₂ O ₅ -Dünger	105	kg P ₂ O ₅ /ha
Mineralische K ₂ O-Dünger	13	kg K ₂ O/ha
Wirtschaftsdünger-Einsatz	0	kg/ha
Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffmenge	1,5	kg/ha
Dieserverbrauch	8	l/ha
Saatgutbedarf	0	kg/ha
Stromverbrauch Ein- und Auslagerung	0	kWh/t
Trocknung	ja	
Feuchte vor Trocknung	78	%
Feuchte nach Trocknung	5	%
Anteil solare Trocknung	100	%
Anteil fossile Heizungstrocknung	0	%
Bewässerungsbedarf	nein	
Wassermenge für Bewässerung	0	m ³ /(ha*a)
Oberflächenbewässerungs-Anteil	0	%
Mikrobewässerungs-Anteil	0	%
Beregnungs-Anteil	0	%

Quellen: IFA 1992; FAO, 1999

Die Ernte der Teepflanze erfolgt vorwiegend händisch. Lediglich der Pflegeschnitt der Teesträucher erfolgt in manchen Anbaugebieten teilweise mechanisiert. Deshalb wurde nach (ÖKL, 2005) hierfür der Kraftstoffverbrauch kalkuliert. Laut (IFA, 1992) wird Tee i.d.R ohne künstliche Bewässerung in Regenfeldbau kultiviert. Deshalb wird auch im Rahmen dieser Datenerhebung davon ausgegangen, dass beim Anbau von Tee keine zusätzliche Bewässerung nötig ist.

Tabak

Parameter	Wert	Einheit
Feldfruchtertrag bei Erntefeuchte	2500	kg/ha
Mineralische N-Dünger	52,5	kg N/ha
Mineralische P ₂ O ₅ -Dünger	130	kg P ₂ O ₅ /ha
Mineralische K ₂ O-Dünger	100	kg K ₂ O/ha
Wirtschaftsdünger-Einsatz	0	kg/ha
Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffmenge	1,5	kg/ha
Dieselvebrauch	40	l/ha
Saatgutbedarf	0,002	kg/ha
Stromverbrauch Ein- und Auslagerung	0	kWh/t
Trocknung	ja	
Feuchte vor Trocknung	85	%
Feuchte nach Trocknung	13	%
Anteil solare Trocknung	0	%
Anteil fossile Heizungstrocknung (hier: mit LPG)	100	%
Bewässerungsbedarf	nein	
Wassermenge für Bewässerung	0	m ³ /(ha*a)
Oberflächenbewässerungs-Anteil	0	%
Mikrobewässerungs-Anteil	0	%
Beregnungs-Anteil	0	%

Quellen: CIPM, 2007; IFA, 1992

Für Tabak dienen Virginia Tabake als Repräsentant. Die Ernte der Tabakblätter erfolgt hierbei händisch und in mehreren Erntedurchgängen. Nach der Ernte werden diese Blätter durch Heißlufttrocknung getrocknet, wobei als Brennstoff nach (CIPM, 2007) vorwiegend Flüssiggas (LPG) zum Einsatz kommt. Der Brennstoffbedarf wird hierbei mit 0,15l LPG/kg erntefeuchtem Tabak angegeben.

Brasilien stellt das bedeutendste Importland für Tabak dar. Aufgrund der hohen durchschnittlichen Niederschlägen in Brasilien von über 1900 mm/m²a wird davon ausgegangen, dass keine Bewässerung notwendig ist.

Wein

Parameter	Wert	Einheit
Feldfruchtertrag bei Erntefeuchte	7013	kg/ha
Mineralische N-Dünger	90	kg N/ha
Mineralische P ₂ O ₅ -Dünger	35	kg P ₂ O ₅ /ha
Mineralische K ₂ O-Dünger	125	kg K ₂ O/ha
Wirtschaftsdünger-Einsatz	0	kg/ha
Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffmenge	4	kg/ha
Dieselvebrauch	160	l/ha
Saatgutbedarf	0	kg/ha
Stromverbrauch Ein- und Auslagerung	0	kWh/t
Trocknung	nein	
Feuchte vor Trocknung	0	%
Feuchte nach Trocknung	0	%
Anteil solare Trocknung	0	%
Anteil fossile Heizungstrocknung	0	%
Bewässerungsbedarf	ja	
Wassermenge für Bewässerung	552	m ³ /(ha*a)
Oberflächenbewässerungs-Anteil	0	%
Mikrobewässerungs-Anteil	50	%
Beregnungs-Anteil	50	%

Quellen: DREAM, 2006; IFA, 1992; ÖKL, 2005; ÖWAV, 2003

Der Weinbau wurde nach den Angaben von (DREAM, 2006) betrachtet. Diese Studie befasst sich mit der italienischen Weinproduktion am Beispiel von qualitativ hochwertigem Wein. Ergänzt wurden die Angaben z. B. durch Berechnungen des Dieseleinsatzes nach (ÖKL, 2005).

Schafswolle

Zur Betrachtung der Schafswollproduktion wurde die Erzeugung der so genannten Schweißwolle ausgewählt. Als Schweißwolle wird das ungewaschene Produkt der Schur bezeichnet. Landesrepräsentant ist in diesem Fall Australien. Die australische Schafshaltung zur Wollproduktion wird in extensiver Wirtschaftsweise als Weidehaltung betrieben. In der vorliegenden Betrachtung wurde hierbei die Annahme getroffen, dass lediglich der Grünlandaufwuchs als Futtermittel zum Einsatz kommt. Fraglich ist hierbei, ob die Nutzung von Grünlandaufwuchs im Sinne der Ermittlung von Koeffizienten zum Rohstoffeinsatz bei Importgütern betrachtet werden sollte. Eine Verwendung dieses erneuerbaren Rohstoffs ist im eigentlichen Sinn nicht als endgültige Entnahme aus der Natur zu betrachten. Die Verwendung von Desinfektionsmitteln und Medikamenten wurde mangels Daten nicht betrachtet. Ebenso wurde der Energieaufwand für die elektrischen Wollscheren vernachlässigt. Eine signifikante Auswirkung dieser Daten auf den KRA der Schafswollproduktion ist nicht zu erwarten.

Quellen: Ulmer, 2003; KTBL, 2005; AuGov, 2007; Waßmuth, 2004

Baumwolle

Parameter	Wert	Einheit
Faserertrag Rohbaumwolle	700	kg/ha
Mineralische N-Dünger	114	kg N/ha
Mineralische P ₂ O ₅ -Dünger	70	kg P ₂ O ₅ /ha
Mineralische K ₂ O-Dünger	58	kg K ₂ O/ha
Wirtschaftsdünger-Einsatz	0	kg/ha
Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffmenge	5,34	kg/ha
Dieserverbrauch	40,7	l/ha
Saatgutbedarf	32,5	kg/ha
Stromverbrauch Ein- und Auslagerung	0	kWh/t
Trocknung	nein	
Feuchte vor Trocknung	0	%
Feuchte nach Trocknung	0	%
Anteil solare Trocknung	0	%
Anteil fossile Heizungstrocknung	0	%
Bewässerungsbedarf	ja	
Wassermenge für Bewässerung	9000	m ³ /(ha*a)
Oberflächenbewässerungs-Anteil	0	%
Mikrobewässerungs-Anteil	50	%
Beregnungs-Anteil	50	%

Quelle: Ökolnst, 2000; IFA, 1992

Die Baumwollproduktion wurde anhand der US- amerikanischen Verhältnisse betrachtet. Das dortige Produktionssystem ist durch eine Mechanisierung von Anbau und Ernte gekennzeichnet (Ökolnst, 2000). Als Produkt wird die so genannte Rohbaumwolle geerntet. Die eigentliche Baumwollfaser wird aus den Samenhaaren der Baumwollsträucher gewonnen. Der angegebene Hektarertrag bezieht sich hierbei auf die entkörnte Baumwolle, also die reine Baumwollfaser.

Baumwoll-Linters

Quellen: Gruber, 2004; ÖkoInst, 2000

Der Energiebedarf, der zur Herstellung der Baumwoll-Linters nötig ist, wurde nach (Gruber, 2004) massenbezogen alloziert.

Kokosfasern

Parameter	Wert	Einheit
Faserertrag	480	kg/ha
Mineralische N-Dünger	17	kg N/ha
Mineralische P ₂ O ₅ -Dünger	13	kg P ₂ O ₅ /ha
Mineralische K ₂ O-Dünger	51	kg K ₂ O/ha
Wirtschaftsdünger-Einsatz	0	kg/ha
Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffmenge	0	kg/ha
Dieserverbrauch	0	l/ha
Saatgutbedarf	0	kg/ha
Stromverbrauch Ein- und Auslagerung	0	kWh/t
Trocknung	nein	
Feuchte vor Trocknung	0	%
Feuchte nach Trocknung	0	%
Anteil solare Trocknung	0	%
Anteil fossile Heizungstrocknung	0	%
Bewässerungsbedarf	nein	
Wassermenge für Bewässerung	0	m ³ /(ha*a)
Oberflächenbewässerungs-Anteil	0	%
Mikrobewässerungs-Anteil	0	%
Beregnungs-Anteil	0	%

Quellen: eigene Berechnung nach: Duke, 1981; CRI, 2005; FAO, 2002; IFA, 1992; MMM, 2007

Die Produktion von Kokosfasern ist durch folgende Schritte gekennzeichnet. Zunächst werden die unreifen Kokosnüsse händisch geerntet. Nach dem Aufschlagen der Frucht wird das Mesocarp durch Lagerung in Wasser einer so genannten Röstung unterzogen, wobei das enthaltene Pektin durch Mikroorganismen zersetzt wird. Danach erfolgt die eigentliche Gewinnung der Fasern maschinell. Der hierzu benötigte Energiebedarf wurde nach (MMM, 2007) berechnet.

Naturkautschuk

Parameter Kautschukanbau	Wert	Einheit
Feldfruchtertrag bei Erntefeuchte	1800	kg/ha
Mineralische N-Dünger	24	kg N/ha
Mineralische P ₂ O ₅ -Dünger	34	kg P ₂ O ₅ /ha
Mineralische K ₂ O-Dünger	81	kg K ₂ O/ha
Wirtschaftsdünger-Einsatz	0	kg/ha
Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffmenge	0	kg/ha
Dieserverbrauch	0	l/ha
Saatgutbedarf	0	kg/ha
Stromverbrauch Ein- und Auslagerung	0	kWh/t
Trocknung	nein	
Feuchte vor Trocknung	0	%
Feuchte nach Trocknung	0	%
Anteil solare Trocknung	0	%
Anteil fossile Heizungstrocknung	0	%
Bewässerungsbedarf	nein	
Wassermenge für Bewässerung	0	m ³ /(ha*a)
Oberflächenbewässerungs-Anteil	0	%
Mikrobewässerungs-Anteil	0	%
Beregnungs-Anteil	0	%

Quellen: Greve, 1993; IFA, 1992; Rahaman, 1994; FAO, 2004

Die Gewinnung von Naturkautschuk erfolgt weltweit zu 99% aus Latex des Kautschukbaumes *Hevea Brasiliensis* (Greve, 1993). Deshalb wurde die Kultur dieser Bäume als Grundlage zur Betrachtung der Produktion von Naturkautschuk herangezogen. Hierbei wurde Malaysia als Landesrepräsentant für diese Importprodukt ausgewählt. Die malaysischen Hektarerträge wurden auf Grundlage der Angaben in (Greve, 1993) abgeschätzt. Der Anbau und die Ernte erfolgt hierbei händisch. Aufgrund der in (FAO, 2004) genannten Niederschlagsmengen für Malaysia von rund 3000 mm/m²a wurde die Annahme getroffen, dass keine zusätzliche Bewässerung notwendig ist.

Wollgarn

Quellen: BWK, 2006

Zur Herstellung von Wollgarn wurde die Produktion der Schweißwolle als Vorkette mit einbezogen. Die anschließende Aufbereitung der Wolle umfasst zunächst eine Wollwäsche. Hierbei wurde nach Bremer Wollkämmerei als Rechenwert ein Faseranteil der Rohwolle von 50% angenommen. Im Anschluss an die Wollwäsche wird die so gewonnene Wollfaser zu Garn versponnen. Da zum Energiebedarf der Garnherstellung von Wollgarn keine verlässlichen Daten verfügbar waren, wurde auf die Angaben in (Ökolinstitut, 2000) zur Herstellung von Baumwollgarn zurückgegriffen.

Baumwollgarn

Quellen: Ökolnst, 2000

Die Herstellung von Baumwollgarn hat zunächst der Anbau der Baumwolle als Grundlage. Der Energiebedarf zur Garnherstellung wurde nach (Ökolnst, 2000) berechnet.

Jutegarn

Parameter Jutefaseranbau	Wert	Einheit
Faserertrag bei Erntefeuchte	1350	kg/ha
Mineralische N-Dünger	35	kg N/ha
Mineralische P ₂ O ₅ -Dünger	45	kg P ₂ O ₅ /ha
Mineralische K ₂ O-Dünger	45	kg K ₂ O/ha
Wirtschaftsdünger-Einsatz	0	kg/ha
Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffmenge	0	kg/ha
Dieserverbrauch	69	l/ha
Saatgutbedarf	45	kg/ha
Stromverbrauch Ein- und Auslagerung	0	kWh/t
Trocknung	nein	
Feuchte vor Trocknung	20	%
Feuchte nach Trocknung	12	%
Anteil solare Trocknung	0	%
Anteil fossile Heizungstrocknung	0	%
Bewässerungsbedarf	nein	
Wassermenge für Bewässerung	0	m ³ /(ha*a)
Oberflächenbewässerungs-Anteil	0	%
Mikrobewässerungs-Anteil	0	%
Beregnungs-Anteil	0	%

Quellen: Katalyse, 2006; IFA, 1992; ÖKL, 2005

Der Einsatz an Mineraldüngern ist beim Anbau von Jute als gering einzustufen. Daten zur Garnherstellung wurden aus (Ökolnst, 2000) und (MMM, 2007) abgeleitet.

Natronzellstoff

Der Datensatz beschreibt die Herstellung von elementar-chlor-frei (ECF) gebleichtem Sulfatzellstoff aus Nadelholz in einer nordischen Papierfabrik. Der Datensatz repräsentiert 92% der skandinavischen ECF-Produktion im Jahr 1995, wobei die Zahlen 2003 aktualisiert wurden. Die Daten stellen einen nach Produktionsmenge gewichteten Mittelwert dar.

Die Transition umfasst den Gesamtprozess der Zellstoffherstellung in skandinavischen Werken. Eingeschlossen ist Aufwand für die Waldbewirtschaftung und Holzverarbeitung. Ebenfalls berücksichtigt sind alle Transporte zur Papierfabrik sowie die Energiebereitstellung inklusive vorgelagerter Prozesse. Soweit die Datenlage dies ermöglichte, ist die Herstellung der eingesetzten Hilfschemikalien der Zellstoffproduktion (Kalziumoxid, Natronlauge, Natriumchlorat, Sauerstoff, Schwefelsäure) integriert. Als Bleichmaterial fungiert Chlordioxid. Der erzeugte Zellstoff hat einen Wassergehalt von 10%.

Die Zellstoffherstellung ist ein sehr energieaufwendiger Prozess, so dass der Energiebereitstellung große Bedeutung im Gesamtprozess zukommt. Die Erhebungen bei der nordischen Industrie führten zu folgenden Annahmen bei der ECF-Zellstoff-Herstellung: Elektrische und thermische Energie werden zu 95% in eigenen Heizkraftwerken in Kraft-Wärme-Kopplung bereitgestellt. Dort werden zu 90% Produktions-Reststoffe (Biomasse) als Brennstoff eingesetzt. Der Einsatz fossiler Energieträger ist somit relativ gering.

Quelle: IFEU 2000

Seidenstoffe

Parameter Maulbeerbaumanbau	Wert	Einheit
Feldfruchtertrag bei Erntefeuchte	37500	kg/ha
Mineralische N-Dünger	685	kg N/ha
Mineralische P ₂ O ₅ -Dünger	254	kg P ₂ O ₅ /ha
Mineralische K ₂ O-Dünger	437	kg K ₂ O/ha
Wirtschaftsdünger-Einsatz	0	kg/ha
Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffmenge	1,5	kg/ha
Dieserverbrauch	0	l/ha
Saatgutbedarf	0	kg/ha
Stromverbrauch Ein- und Auslagerung	0	kWh/t
Trocknung	nein	
Feuchte vor Trocknung	20	%
Feuchte nach Trocknung	12	%
Anteil solare Trocknung	0	%
Anteil fossile Heizungstrocknung	0	%
Bewässerungsbedarf	ja	
Wassermenge für Bewässerung	1000	m ³ /(ha*a)
Oberflächenbewässerungs-Anteil	0	%
Mikrobewässerungs-Anteil	100	%
Beregnungs-Anteil	0	%

Quellen: FIA, 1992; Haack, 2007; Spinnhütte, 2007,

Der Ausgangspunkt bei der Herstellung von Seidenstoffen ist die Zucht und Haltung von Seidenraupen. Als Futtergrundlage ist hierzu die Kultivierung von Maulbeerbäumen notwendig, da die Blätter dieser Bäume als alleiniges Futtermittel Verwendung finden. Der Energieverbrauch zur Stoffherstellung ist nach (Ökolnst, 2000) in das berechnete Ergebnis eingeflossen.

Wollstoff

Quelle: Ökolnst, 2000

Wollgarn dient als Grundstoff zur Herstellung von Wollstoff. Der Energiebedarf zur Flächenbildung von Stoffen wurde (Ökolnst, 2000) entnommen. Die Daten werden als gut eingeschätzt.

Baumwollstoff

Quelle: Ökolnst, 2000

Baumwollgarn dient als Grundstoff zur Herstellung von Baumwollstoff. Der Energiebedarf zur Flächenbildung von Stoffen wurde (Ökolnst, 2000) entnommen. Die Daten werden als gut eingeschätzt.

Hanfgewebe

Parameter Hanffaseranbau	Wert	Einheit
Faserertrag	1500	kg/ha
Mineralische N-Dünger	90	kg N/ha
Mineralische P ₂ O ₅ -Dünger	68	kg P ₂ O ₅ /ha
Mineralische K ₂ O-Dünger	68	kg K ₂ O/ha
Wirtschaftsdünger-Einsatz	0	kg/ha
Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffmenge	0	kg/ha
Dieserverbrauch	69	l/ha
Saatgutbedarf	45	kg/ha
Stromverbrauch Ein- und Auslagerung	0	kWh/t
Trocknung	nein	
Feuchte vor Trocknung	0	%
Feuchte nach Trocknung	0	%
Anteil solare Trocknung	0	%
Anteil fossile Heizungstrocknung	0	%
Bewässerungsbedarf	ja	
Wassermenge für Bewässerung	0	m ³ /(ha*a)
Oberflächenbewässerungs-Anteil	0	%
Mikrobewässerungs-Anteil	0	%
Beregnungs-Anteil	0	%

Quellen: IFA, 1992; eigene Berechnungen nach: ÖKL; 2005; Ökolnst, 2000

Der Anbau von Hanf wurde anhand der Daten von (IFA, 1992) betrachtet. Ertragsdaten lagen hierbei keine vor, deshalb wurde eine eigene Abschätzung anhand des genetischen Potenzials der Hanfpflanze vorgenommen. Der Hanfanbau unterscheidet sich von anderen Feldfrüchten dadurch, dass ein Einsatz von Pflanzenschutzmitteln i.d.R. nicht nötig ist. Die Produktion der Hanffasern wurde als einziges Produkt angenommen, die Hanfsamen wurden als nicht marktfähiges Produkt betrachtet. Eine Nutzung der Samen zur Ölgewinnung oder als Nahrungsmittel ist zwar möglich, allerdings gibt es keine flächendeckenden Absatzmärkte. Da konkrete Daten zum Anteil der Nutzung der Hanfsamen nicht vorlagen, wurde diese Nutzung im Rahmen der Betrachtung ausgeschlossen.

Die Entholzung der Hanffasern als erster Schritt der Verarbeitung zu Hanfgewebe wurde nach (Nova-Inst, 1997) mit in die Kalkulation einbezogen. Weitere Daten zur Verarbeitung wurden analog zur Baumwolle angenommen, da keine produktspezifischen Daten der Hanfverarbeitung zur Faserproduktion verfügbar waren.

2.3 Erläuterungen zu abiotischen Einfuhren

Die zu untersuchenden abiotischen Rohstoffe und Halbwaren wurden in nachfolgende Gruppen zusammengefasst:

- Energieträger für Transporte
- Energierohstoffe
- Metallrohstoffe
- Nichtmetallische mineralische Rohstoffe

Für die meisten Energieträger und Metallrohstoffe konnten Daten mit einer mittleren bis hohen Datenqualität zur Verfügung gestellt werden. Für einige Metalle, die mengenmäßig eine geringere Relevanz haben, liegen keine oder wenige Informationen zu den Gewinnungsprozessen vor. Die Prozesse werden über allgemeine verfahrenstechnische Angaben und Analogien zu anderen Metallen abgebildet. Annahmen werden in den einzelnen Beschreibungen aufgeführt.

2.3.1 Energieträger für Transporte

Strom (EU 27)

Strom ist der überwiegende Energieträger für Bahn-Gütertransporte in Europa sowie in Russland und wird für die Pumpen der Erdölpipelines eingesetzt. Der Strommix ist länderabhängig und der Bahnstrom wird häufig aus anderen Kraftwerksanteilen bezogen als der allgemeine Strommix eines Landes für Privatverbraucher und Industrie. Da aber der spezifische Bahnstrommix für viele Länder nicht bekannt ist und die Ergebnisrelevanz ausdifferenzierter Strommixe nicht hoch ist, wird in Abstimmung mit dem Statistischen Bundesamt zunächst nur ein durchschnittlicher Strommix für die Länder der EU-27 bereitgestellt. Diese Annahme sollte bei der Auswertung der Ergebnisse überprüft werden. In der folgenden Tabelle sind die Energieträgeranteile des Strommixes für das Jahr 2004 dargestellt (Quellen: Eurostat 2002, Eurostat 2003, IEA 2005).

Strommix EU-27	
Energieträger	2004
Steinkohle	18,3%
Braunkohle	10,7%
Mineralöl	4,2%
Gase (Erdgas, Grubengas)	19,6%
Kernkraft	31,0%
Wasserkraft	11,1%
Windkraft	2,6%
Solarstrom	0,0%
Erdwärme	0,1%
Biomasse	1,1%
Abfallverbrennung	0,4%
Rest	0,8%

Erdgas

Erdgas wird für die Kompression und den Transport von Erdgas in Pipelines eingesetzt.

In **Russland** findet die Erdgasförderung inländisch (Onshore) hauptsächlich in West-Sibirien statt. Es handelt sich um eine kombinierte Erdgas- und Erdölproduktion. Bei dieser Förderungsart gehören mehrere hundert Förderstellen zu einem Produktionsfeld. Die Bilanz wird für ein Feld mit 100 Bohrstellen vorgenommen. Die Verluste bei der Onshore-Förderung von Erdgas sind mit ca. 0,5% deutlich geringer als die für die Erdölförderung.

Neue Gasfelder mit hohem Druck benötigen für die Förderung und den Transport zur Aufbereitungsanlage sehr wenig Kompressionsenergie. Bei älteren Feldern und bei der Gasaufbereitung nach der Förderung ist eine Verdichtung notwendig. Für die Kompression werden Gasturbinen bereitgestellt, die im Leistungsbereich zwischen 10 und 20 MW liegen. Für die Förderung in Russland wird ein durchschnittlicher Energieaufwand von 1% des geförderten Gases angenommen, dies entspricht $0,4 \text{ MJ/m}^3$. Darin enthalten ist der Kompressionsaufwand für das Sammeln des Erdgases, für den Transport zur Aufbereitungsanlage und zum Ausgleich der Druckverluste in der Aufbereitungsanlage. Die Menge abgefackelten Erdgases beträgt $0,0024 \text{ m}^3/\text{m}^3$ Fördergas. (BP Amoco, 2001)

In **Norwegen** wird auf dem norwegischen Kontinentalschelf Öl und Gas kombiniert mittels Offshore-Anlagen gefördert. Es wurden Energieaufwendungen und Emissionen von 49 norwegischen produzierenden Feldern und 178 Explorations- und Produktions-/Injektionsbohrungen zusammengefasst (OLF, 2001). Die Daten wurden nach Energieinhalt der Energieträger alloziert. Sie beschreiben die gesamte norwegische Gas- und Ölförderung und werden deshalb als gut eingestuft. Die Menge des abgefackelten Erdgases beträgt $0,0029 \text{ m}^3/\text{m}^3$ Fördergas (BP Amoco, 2001).

Diesel (ab Tankstelle)

Bei der Erdölrektifikation wird Mitteldestillat gewonnen. Den Kolonnenböden des Mitteldestillats wird Diesel entnommen. Der Diesel ist in seiner Zusammensetzung dem Heizöl sehr ähnlich. Um die Verbrennungseigenschaften zu verbessern werden verschiedene Additive beigemischt. Die Tabelle zeigt die chemische Zusammensetzung von Diesel.

C	86,5 %
H	13,3 %
S	0,35 %
Hg	20 ppb
Pb	110 ppb
Schwermetalle	2,84 mg/kg

Es wurden die durchschnittlichen in Europa raffinierten Erdölprodukte bilanziert. Raffineriestandorte außerhalb Europas wurden nicht betrachtet, da für diese keine verlässlichen Daten zur Verfügung stehen. In Europa gibt es 104 Raffinerien, die betrachtet wurden. (IPPC 2001) untersuchte den technologischen Standard dieser Anlagen und veröffentlichte umfangreiche Daten zu Energie- und Ressourcenverbrä-

chen sowie zu Emissionen. Für die Sachbilanz wurden diese Angaben zugrunde gelegt. Ein durchschnittlicher Transport zu den Tankstellen wird berücksichtigt.

Kerosin

Kerosin wird wie Diesel durch Destillation von Rohöl als Mitteldestillat gewonnen. Für die Zusammensetzung von Kerosin werden Daten aus (Ellison et al., 1999) aufgeführt. Mengenmäßig von Bedeutung ist der Jet-A1-Düsenkraftstoff mit einem europäischen Gesamtkonsum von 33,7 Mio. t im Jahr 1996. Wie im Abschnitt „Diesel“ beschrieben wurden Prozessdaten europäischer Raffinerien herangezogen.

Schweröl

Schweröl ist ein Rückstandsöl aus der Destillation von Erdöl. Handelsbezeichnungen eines solchen (Abfall-) Öles sind Bunker C und Bunkeröl C. Nach dem man dem Rohöl sämtliche Bestandteile entzogen hat, die zu Heizöl oder Benzin verarbeitet werden, bleibt als Restdestillat Schweröl übrig. Es fällt gleichsam als Abfall in Raffinerien an. In Raffinerien werden aus dem Rohöl 20% Benzin sowie 40% Heizöl und Diesel gewonnen, 40% bleiben übrig als Schweröl. Wegen des niedrigen Preises ist es wirtschaftlich sehr interessant. In den deutschen Mineralölfirmen kommt so gut wie kein Schweröl mehr zum Einsatz, in der Schifffahrt wird es als Treibstoff verwendet. Hier darf nur Bunkeröl mit einem Schwefelgehalt von unter 5% eingesetzt werden. Es wird von einem mittleren Schwefelgehalt von 1,5% ausgegangen. Auch für Schweröl wurden hauptsächlich europäische Raffineriedaten nach IPPC (2001) ausgewertet.

2.3.2 Energierohstoffe

Steinkohle

Im Jahr 2005 wurden 43,3 Mio. t Steinkohle und Steinkohleprodukte nach Deutschland importiert. Dies entspricht einem Rückgang von 8,8% bezogen auf das Jahr 2004. Die Importe stammen im Wesentlichen aus Polen, der Republik Südafrika, Australien, Kolumbien, Russland und Kanada. Dabei ist Russland Hauptlieferant von Anthrazitkohle (42,7% der Anthraziteinfuhr), aus Australien und Kanada wird überwiegend Koks-kohle importiert, aus Polen und Australien stammen Koks. Dabei hat Anthrazit mit 95% bis 97% den größten Kohlenstoffgehalt. Wichtigstes Importland ist Südafrika mit 6 Mio. t Steinkohle im Jahr 2005. Der Anteil der Importe am gesamten Kohleaufkommen in Deutschland beträgt 63%. (BGR, 2006).

Untersucht wurden folgende Schritte: Förderung, Aufbereitung und Veredelung. Anders als bei Erdöl- und Erdgasfeldern sind die Lagerstätten der Kohle weitestgehend bekannt, so dass es bei der Erkundung dieser hauptsächlich um das Bestimmen der Abbauteufe, Flözmächtigkeit und –verlauf, Kohlequalität und das Abklären der hydrologischen Verhältnisse geht. Selten werden neue Lagerstätten erschlossen, das Abbaugelände wird meist nur ausgedehnt. Steinkohlen werden im Tage- und Untertagebau abgebaut. Zur Gewinnung der Kohle im Tagebau wird die Deckschicht oberhalb des Flözes entfernt. Im Untertagebau werden Schachtanlagen angelegt, um die Kohle

auch in 1.000 m Teufe und mehr abbauen zu können. Mittels Hebeanlagen und Zechenzügen wird die Kohle an die Oberfläche gefördert.

Aus den für Deutschland wichtigen Importregionen Nord-Amerika, Süd-Afrika, Australien und Süd-Amerika stammen 93% der Steinkohle aus dem Tagebau. Für die Steinkohlen aus Südafrika, Osteuropa, Russland und Südamerika wurden separate Datensätze auf Basis von Ecoinvent (2004a) berechnet.

Braunkohle

Deutschland liegt weltweit mit Abstand an der Spitze der Braunkohleproduktion, gefolgt von Russland und den USA. Der Import sank von 2,45 Mio. t im Jahr 2001 auf nur noch 0,1 Mio. t im Jahr 2005. 90% der importierten Braunkohle stammt aus Tschechien. Die restlichen 10% werden aus Polen importiert. (BGR, 2006).

Für den Abbau im Tagebau und die Aufbereitung stehen allgemeine europäische Daten zur Verfügung (Ecoinvent, 2004a). Aufgrund des geringen Heizwertes wird Braunkohle meist in der Nähe des Bergbaus aufbereitet und verfeuert. Braunkohle wird i.d.R. im Tagebau gewonnen, der Abbau findet meist in Teufen von 200 m statt. Die zwei bis sechsfache Menge der Braunkohle wird als Abraum gefördert, daher sind riesige Volumina umzulagern, was leistungsstarke Geräte verlangt. Für den Tagebau wurden Daten von drei Abbaustätten verwendet und ein Durchschnittswert ermittelt (Levin, 1993).

Erdöl

Der Rohölbedarf in Deutschland erhöhte sich im Jahr 2005 um 2,2 Mio. t auf insgesamt 115,7 Mio. t. Dieser Bedarf wurde fast vollständig (97%) durch Importe gedeckt. Die wichtigsten Lieferländer waren in 2005 Russland (32,8%), Großbritannien (17,1%), Norwegen (14,9%), Libyen (10,2%) und Kasachstan (6%).

Die Erdölprozesskette enthält die Schritte Erschließung der Lagerstätte und die Förderung. Bei der Erdölförderung werden spezifische Daten für die jeweiligen Förderregionen erhoben. Für Großbritannien stehen Zahlen der Erdölförderung zur Verfügung, die durch Umweltberichte einzelner Firmen ergänzt wurden. Für Russland liegt eine umfassende Studie zu den Umweltbelastungen von Greenpeace vor (Lode-wijkx et al. 2001). Die Daten zur Erdölförderung in Norwegen und den Niederlanden basieren auf Ecoinvent (2004a) und Faist (2003).

Wie beim Erdgas gehören mehrere 100 Förderstellen zu einem Produktionsfeld. Bei den Bohrungen kommt das Drehbohrverfahren zur Anwendung. Für den Energiebedarf werden 250 l Diesel je Meter Bohrung angenommen. Durch die auflastenden Erdschichten und ggf. des assoziierten Erdgases steht das Erdöl in großen Tiefen unter Druck. Nach einem Anbohren wird es aus dem Bohrloch gepresst, da es leichter als Wasser und das Umgebungsgestein ist. Das erste Öl kann so ohne weitere Maßnahmen durch Eigendruck gewonnen werden (Primärförderung). Lässt der Druck nach, wird das Öl durch Tiefpumpen zutage gefördert. Durch Einpressen von Wasser oder Erdgas kann der Druck wieder erhöht werden (Sekundärförderung). Durch die Förderverfahren können zwischen 20 und 75% des Erdöls, welches sich in der Lagerstätte befindet, gewonnen werden. (Schmidt et al., 1981).

In Russland wird Rohöl überwiegend in West-Sibirien inländisch (Onshore) gefördert. In Europa dominieren Großbritannien und Norwegen mit 90% des geförderten Rohöls die Förderung. Die Erdölfelder liegen dort in der Nordsee und werden mit Offshore-Technologie gefördert. Die Tab. 2-1 zeigt die angenommenen Förderungsarten für die wichtigsten Importländer.

Tab. 2-1: Förderungsarten für Erdöl

Land	Förderung	Bemerkung
Großbritannien	Offshore	kombinierte Förderung (Erdöl/Erdgas)
Niederlande	On- und Offshore	kombinierte Förderung
Norwegen	Offshore	kombinierte Förderung
Russland	Onshore	Gesamtbilanz

2.3.3 Metallrohstoffe

Aluminium

Unter die Gruppe „Aluminium“ fallen „Aluminiumerze u. ihre Konzentrate“ (Bauxit, feucht) und Primäraluminium.

In Deutschland importiertes Bauxit – „Aluminiumerze u. ihre Konzentrate“ zugeordnet – stammt zu 80% aus Guinea (2005). Der Durchschnittsgehalt an Bauxit im Ausgangsgestein beträgt 47,9%. Etwa 2,4 Mio. t Bauxit wurden 2005 eingeführt. (BGR, 2006).

Mehr als 95% des Bauxits wird im Tagebau gewonnen. Die Deckschicht, welche bis zu einem Meter dick ist, wird abgetragen, in der Nähe abgelagert und nach dem Aufbrauch der Mine für die Rekultivierung genutzt. Das Erz wird durch hydraulische Ausgräber und Bagger gewonnen. Bohr- und Sprengarbeiten sind nur in wenigen Minen mit sehr hartem Bauxit notwendig. Die Daten für den Abbauprozess stammen aus (Mori & Andelhardt, 1998). Sie stellen einen Durchschnitts-Weltmix des Tagebaus von Bauxit dar. Beinhaltet sind der Abbau und die Abtrennung des Erzes vom tauben Gestein. Der Al_2O_3 -Gehalt wird mit ca. 45% und die Feuchtigkeit mit 11% angenommen.

Die Gewinnung von Primäraluminium erfolgt über den sog. Hall-Héroult-Prozess. Dabei wird Aluminiumoxid in Kryolith gelöst und reines Aluminium durch Schmelzflusselektrolyse gewonnen. Die Daten stammen aus (EAA, 2000) und stellen den europäischen Technologiemarkt dar. Laut der „European Aluminium Association“ (EAA 2000) setzt sich der durchschnittliche Strommix von Aluminium auf dem europäischen Markt wie folgt zusammen:

Tab. 2-2: Strommix der europäischen Aluminiumherstellung

Braunkohle	Steinkohle	Erdgas	Erdöl	Kernenergie	Wasserkraft
5.1%	20.0%	4.6%	3.1%	14.6%	52.6%

Da die Herstellung von Primäraluminium mit einem sehr hohen Stromverbrauch verbunden ist, werden Primäraluminiumhütten in Regionen gebaut und betrieben, die über preisgünstigen Strom verfügen. Etwa 650.000 t nicht legiertes Primäraluminium wurden 2005 nach Deutschland importiert. Es stammte hauptsächlich aus Russland (23,3%), weitere Importländer waren Island (17,3%), Brasilien (14,9%) und Norwegen (11,7%). Legiertes Primäraluminium wurde größtenteils aus den Niederlanden (25,4%) und Norwegen (21,6%) importiert. Weitere wichtige Lieferländer waren Großbritannien

(15,8%) und Island (10,6%). Insgesamt wurden 690.000 t legiertes Primäraluminium importiert. (BGR, 1006).

Antimonkonzentrat

Antimonerze und -konzentrate wurden in den letzten Jahren nicht oder nur in sehr geringem Umfang – 15 t in 2004 – nach Deutschland importiert. 2004 stellt aber das Bezugsjahr dar, so dass ein Datensatz bereitgestellt wurde. Es wurden hierfür generische Abbau- und Aufbereitungsdaten aus Ecoinvent (2004d) herangezogen. Der mittlere Antimongehalt des Erzes wurde mit 31% und der des Konzentrates mit 60% angenommen (Ullmann 1992, USGS Sb 2004).

Beryllium

Beryllium ist ein seltenes Element, sein Anteil an der obersten Erdkruste beträgt nur etwa 0,006%. Infolge seines unedlen Charakters kommt es in der Natur nur in Form von Verbindungen vor. Wichtigstes Beryllium-Mineral ist der Beryll, der Ausgangsmaterial für die Gewinnung von metallischem Beryllium ist. Ungefähr 80% des weltweiten Beryllium-Erzabbaus findet in den USA statt. Der Berylliumgehalt des Erzes liegt typischerweise zwischen 2,5% und 4,5% (Brush 2007).

Die Beryllium-Mineralien werden über komplexe Fluoride oder über Sulfate aufgeschlossen und hieraus $\text{Be}(\text{OH})_2$ hergestellt. Nach Überführung in BeCl_2 bzw. BeF_2 wird reines Beryllium durch Schmelzflusselektrolyse bzw. Reduktion mit Magnesium gewonnen. Für die Herstellung liegen keine prozessspezifischen Informationen vor, die eine direkte Modellierung erlauben würden. Aufgrund der Ähnlichkeit zu den Verarbeitungsprozessen der Primäraluminiumherstellung wurde diese auch für die Berylliumgewinnung zugrundegelegt, mit Anpassungen an die Erzgehalte. Der hohe Energieverbrauch der Elektrolyse trägt in relevantem Maße (45%) zu dem Rohstoffäquivalent des Metalls bei. Der Anteil der eingesetzten Beryllium-Erze liegt nur bei 51%. Dies ist bemerkenswert, da für andere Metalle die Erzmenge häufig die Ergebnisse mit über 95% klar dominiert.

Bismut (Wismut)

Bismut gehört zu den seltensten Elementen der Erdkruste. 1.489 Tonnen wurden 2005 als Rohmetall (incl. Schrott) nach Deutschland importiert (BGR 2006). Es liegt häufig vergesellschaftet mit Blei und Zink vor (Ullmann 1992).

Die Gewinnung von Bismut als Nebenprodukte der Blei- und Zinkherstellung wurde über die Herstellungsprozesse der Hauptprodukte abgebildet. Die Aufwendungen müssen hierbei zwischen den Produkten verteilt werden. Die Allokation erfolgte auf Basis mittlerer Preise der Metalle über 20 Jahre (1978 – 1998; USGS) und ist für die Blei/Zinkgewinnung in Tab. 2-3 dargestellt.

Tab. 2-3: Bismutgewinnung als Nebenprodukt der Blei-/Zinkherstellung
Metallgehalte der Erze, mittlere Preise über 20 Jahre und Allokationsfaktoren

	Gehalt im Erz	Verhältnis Metalle	Preise [US\$/kg]	Wert pro kg Erz [US\$/kg]	Verhältnis Werte
Blei	2,9700%	35,716%	0,8	0,0236	28,64%
Zink	5,3400%	64,217%	1,1	0,0585	70,85%
Bismut	0,0055%	0,066%	7,6	0,0004	0,51%

Blei und Zink

Blei kommt vergesellschaftet mit Zink vor. 70% beider Metalle stammen aus sulfidischen Erzen. Dabei wird ein Bleigehalt von 5% im Sulfid angenommen. Zink-Blei-Erze werden hauptsächlich untertage durch Sprengarbeiten abgebaut. Nichtmetallischer Abraum wird teilweise abseits deponiert und teilweise zur Widerbefüllung benutzt. Aus dem metallhaltigen Mineral werden metallische Anteile abgetrennt. Danach erfolgt eine Flotation um taubes Gestein aus dem Mineral zu entfernen. Für eine Neutralisierung wird Kalk hinzu gegeben. Das Bleikonzentrat wird in die Metallurgie gegeben oder exportiert. Eine Allokation der beiden Metalle wurde nach Wert vorgenommen. Die Marktpreise für Blei und Zink sind ähnlich mit 0,8 und 1,1 US-\$/kg über 20 Jahre. Der Zinkgewinn aus dem Konzentrat ist höher als der Bleigewinn, dafür ist der Energieverbrauch bei der Zinkveredelung auch höher, als der bei der Bleiveredelung. Daher wird angenommen, dass eine monetäre Allokation ähnliche Werte wie die Allokation nach Masse liefert. (Ecoinvent, 2004d).

Der Bleigehalt im Konzentrat wird mit 53% angenommen. (Sutherland et al. 1997). Importierte Bleierze und ihre Konzentrate stammen mit 24% aus Australien. Die importierten Konzentrate hatten einen Pb-Inhalt von 103.000 t. Antimonenthaltendes Blei stammt mit 35% aus Schweden als Hauptlieferland. Großbritannien ist mit 28% das wichtigste Lieferland für alle weiteren Bleiimporte. (BGR, 2006). Das Modul beschreibt den Weltproduktionsmix für die gemeinsame Produktion von Zink- und Bleikonzentraten aus sulfidischen Erzen.

Für metallisches Blei in Rohform existiert ein Datensatz, der für die Herstellung die westeuropäische Situation abbildet. Zwei Prozesse der Bleigewinnung aus dem Konzentrat wurden untersucht, die Hochofenreduktion und Direktschmelzprozesse. Es wurde ein Mix gewählt mit einem Anteil von 56% für die Direktschmelze und 44% für die Hochofenreduktion. Für die Hochofenreduktion wird ein Energiebedarf von 120 kWh angegeben, für den Direktschmelzprozess 188 kWh. Beiden Prozessen schließt sich eine Aufbereitung an, welcher das Endprodukt in der benötigten Reinheit liefert. (Sutherland et al., 1997). Das Modul stellt Mix für Primärblei in Europa dar und beinhaltet nicht die Sekundärproduktion von Blei. (IPPC, 2001).

In der EU war Deutschland im Jahr 2005 größter Zinkverbraucher. Zinkerz und -konzentrat wurde im Jahr 2005 überwiegend aus Schweden und Irland bezogen (zusammen 42%). Der Nettoimport bei den Konzentraten betrug 200.000 t Zn-Inhalt und beim Rohmetall rund 165.000 t. (BGR, 2006).

Der Gehalt an Zink im Erz beträgt 9%, der im Konzentrat wird wie bei Blei mit 53% angenommen. Zinkmetall wird auf pyro- und hydrometallurgischem Weg gewonnen, der angenommene Mix setzt sich aus 80% hydrometallurgischem Weg und 20%

pyrometallurgischem Weg zusammen. Für legiertes und nicht legiertes Zink in Rohform steht ein Datensatz zur Verfügung, der westeuropäische Verhältnisse widerspiegelt (Ecoinvent 2004d). Hauptlieferländer stammen auch überwiegend aus dieser Region: nicht legiertes Zink aus Spanien (30%) und legiertes aus Belgien (62%).

Cermets

Cermets (zusammengesetzt aus engl. ceramic und metal) sind Verbundwerkstoffe aus keramischen Werkstoffen in einer metallischen Matrix (Bindemittel). Sie zeichnen sich durch eine besonders hohe Härte und Verschleißfestigkeit aus. Cermets werden als Schneidstoff auf der Basis von TiC und TaC (Titancarbid und Tantalcarbid), die in einer Niob, Molybdän oder seltener Cobalt-Bindephase eingebettet sind, verwendet. Sie sind heutzutage ein komplexes Vielstoffsystem mit weiteren Elementen wie W, Ta, Nb und Mo. Die Vorteile von Cermets als Schneidstoff liegen in der hohen Temperaturwechsel-
festigkeit, die durch das TiC/TaC erreicht wird und bis zu 1.800°Celsius betragen kann. (Wikipedia 2007).

Aufgrund der Vielzahl an möglichen Bestandteilen und der Bandbreite an Gehalten in Abhängigkeit vom Anwendungskontext, lässt sich kein typischer Vertreter für Cermets definieren. Erschwerend kommt hinzu, dass nur selten Zusammensetzungen dokumentiert sind und die Aufwendungen für die Herstellung sehr unterschiedlich ausfallen können. Einen guten Überblick über typische Produktionsprozesse gibt Weiland (2007). Dort ist auch eine Zusammensetzung genannt, die für die Erstellung des Datensatzes herangezogen wurde:

Zusammensetzung eines Cermets	
Co	9,0%
TiC	7,0%
TaC	10,5%
WC	73,5%

Für die Prozesse Mischen, Mahlen, Pressen und die Sinterung wurden Energieverbräuche auf Basis der Prozessbeschreibung von Weiland (2007) abgeschätzt. Die Aufwendungen sind der Tab. 2-4 dargestellt. Durch Verknüpfung der Herstellung mit den vorgelagerten Prozessen im Modell erhält man ein Rohstoffäquivalent von ca. 370 kg/kg. Dieses Ergebnis ist als grober Anhaltswert für die Cermets zu betrachten.

Tab. 2-4: Inputdaten der Cermetherstellung

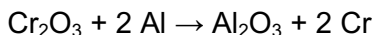
Material- und Energieinput	
Co	0,0945 kg/kg
TiO2	0,0980 kg/kg
Ta	0,1034 kg/kg
Wo	0,7245 kg/kg
C	0,0688 kg/kg
H2	0,1000 kg/kg
Strom	14,0 kWh/kg

Chrom und Ferrochrom

Nach Deutschland importierte Chromerze und ihre Konzentrate stammen im Jahr 2005 zu 65% aus Südafrika und 25% aus der Türkei. Chromit ist das bedeutendste Chromerz. In 2005 wurden ca. 142.000 t Chromerze bzw. -konzentrate importiert. (BGR, 2006).

Es wird die Produktion von Chromit für einen weltweiten Produktionsmix erfasst. Die weltweit durchschnittlichen Anteile wurden mit 37,3% Cr_2O_3 und 25,5% Cr im Chromit angegeben (Adelhardt & Antrekowitsch 1998). Das Chromit dient als Zwischenprodukt für die Herstellung von Ferrochrom und Dichromat. Die produzierten Konzentrate haben einen Anteil von 30,7% Cr (44,9% Cr_2O_3).

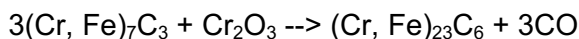
Der Abbau wird zu 29% auf Tagebau und 71% auf Tiefbau abgeschätzt. Abraum wird in der Nähe des Abbaus abgelagert. Er wird als Halden und in Tümpeln deponiert. Die wichtigsten Bestandteile des Abraums sind Cr und Ni, welche als unlösliche Bestandteile auftreten (IPPC, 2002). Nach dem Abbau wird das Erz gebrochen und zerkleinert. Das Chromit wird vom tauben Gestein befreit. Vom klassierten Material wird metallhaltiger Anteil von ungewolltem Mineral getrennt. Eine Flotation findet nicht statt. Im nächsten Schritt erfolgt ein oxidierender Aufschluss bei 1200°C zu Chromat. Das Natriumchromat wird mit heißem Wasser extrahiert und mit Schwefelsäure ins Dichromat überführt. Beim Abkühlen kristallisiert Natriumdichromat als Dihydrat aus der Lösung. Durch eine anschließende Reduktion mit Kohle erhält man Chrom(III)-oxid. Reines Chrom wird durch elektrolytische und thermische Prozesse gewonnen. Beim thermischen Prozess wird Aluminium als Reduktionsmittel für Chromoxid benutzt.



Das Material gelangt in einen Feuerungstopf, wo die exotherme Reaktion stattfindet. Das Metall sammelt sich am Boden, Wasser wird zur Kühlung auf unter 100°C genutzt. Nach der Kühlung wird das Metall zur Produktherstellung gegeben. (IPPC, 2001).

Ferrochrom ist ein Gemisch aus Chrom und Eisen mit unterschiedlichen Anteilen anderer chemischer Bestandteile. Der Chromgehalt kann zwischen 45 und 95% liegen. Im Jahr 2005 wurden 455.000 t chromhaltige Ferrolegierungen importiert, wovon Ferrochrom mit ca. 41% den größten Importanteil einnimmt. Die Erze werden vorwiegend aus Südafrika und der Türkei eingefahren, Ferrochrom wird hauptsächlich aus Südafrika und den Niederlanden bezogen. (BGR, 2006). Der Importmix stellt die Situation in Deutschland dar (Ecoinvent, 2004d).

Hochgekohltes Ferrochrom wird durch eine direkte Reduktion des Chromits mit Kohle in großen Dreiphasen-Lichtbogenöfen produziert. Die Eisen- und Chromoxide, die im Chromit vorhanden sind, können bei den hohen Temperaturen (2800°C) leicht durch Kohle reduziert werden. Die Reaktion, die im Ofen stattfindet, kann durch folgende Reaktionsgleichung beschrieben werden:



Die Lichtbogenöfen arbeiten kontinuierlich mit einem Input an Chromit, Kohle, Dolomit, Siliziumdioxid und Bauxit oder anderen aluminiumoxidhaltigen Stoffen. Metall und

Schlamm werden in regelmäßigen Abständen abgezapft. In älteren Fabriken mit kleinen Öfen werden Abgase verbrannt und gereinigt, in modernen Werken mit halbgeschlossenen Öfen brauchen die Abgase nicht verbrannt werden (Adelhardt & Antrekowitsch, 1998). Es wird von einer Aufteilung von jeweils 50% ausgegangen. Die Daten beschreiben den Weltproduktionsmix von 1994. Sie beinhalten die Gewinnung und Förderung, aber nicht den Transport. Der Chromgehalt beträgt 68%.

Cobalt

Cobalt ist ein Nebenprodukt der Herstellung anderer Metalle, hauptsächlich fällt es bei der Eisen-, Kupfer-, und Nickelherstellung an. Im Jahr 2001 betrug die Weltproduktion an Cobalt 40 kt. Im Jahr 2005 waren Kanada (15%), Russland (14%) und Belgien (13,5%) für Deutschland die Hauptbezugsländer für Cobalt. (BGR, 2006).

Für Cobalt lagen keine eigenen Daten für den Abbau und die weiteren Prozessschritte vor. Es wurden Daten aus der Produktion von Class-1-Nickel zugrunde gelegt. Die Reduktion erfolgt mit Kohlenmonoxid oder Wasserstoff im Verhältnis: 50% CO und 50% H₂. Als Ausgangsmaterial werden hierfür 50% graues Cobaltoxid (CoO) und 50% schwarzes (Co₃O₄) angenommen. Der Energiebedarf beläuft sich auf. 1,2 MJ Strom und 2 MJ Gas (Wärme) (Donaldson, 2000).

Eisen und Rohstahl

Eisen wird zum Großteil als Erz und Konzentrat nach Deutschland importiert. Im Jahr 2005 beliefen sich die Importe von Eisenerz und –konzentrat auf 39 Mio. t. Der für die Roheisenerzeugung erforderliche Eisenerzbedarf wird ausschließlich über Importe gedeckt. Hauptlieferland ist hierbei Brasilien mit 56%. Aus den Ländern Schweden, Kanada und Südafrika kommen zusammen 33% (BGR, 2006). Der Eisengehalt von Erz/Konzentrat wurde mit 46% ab Abbau und 65% ab Anreicherung angenommen. Eine Übersicht über die Eisen- und Stahlproduktion gibt folgende Abbildung.

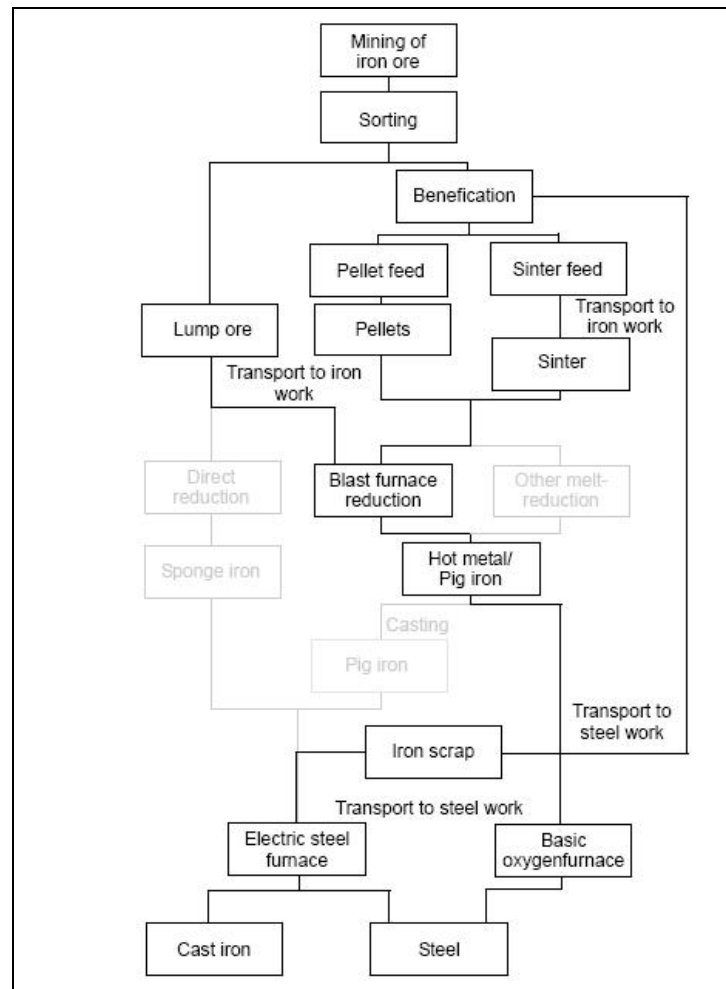


Abb. 2-3: Schematischer Überblick über die Eisen- und Stahlproduktion (Ecoinvent 2004d)

Der Hauptteil der Eisenerze wird im Tagebau abgebaut. Mit Hilfe von Hydraulikbaggern und Förderbändern werden sie gewonnen. Vor der Verarbeitung wird das Erz zerkleinert und gemahlen, danach werden die Erzkörner nach ihrer Größe sortiert und gesintert. Nur in der gesinterten Form ist der Einsatz im Hochofen möglich. Roheisen wird durch Reduktion des Eisenoxides im Hochofen gewonnen. In den Hochofen werden abwechselnd Koks und Erz gegeben, welche im Ofenschacht absinken und durch das Prozessgas getrocknet, aufgeheizt, reduziert und geschmolzen werden. Neben dem Eisen wird Schlacke erzeugt, beides wird durch ein Stichloch abgezogen. Außerhalb des Ofens werden Metall und Schlacke getrennt. Roheisen besitzt einen Eisengehalt von ca. 95%. (Roth et al., 1998).

Die letzte Eisenerzgrube in Deutschland wurde 1987 geschlossen. Roheisen wird zu 52% aus Russland importiert. Insgesamt wurden im Jahr 2005 320.000 t Roheisen eingeführt (BGR, 2006).

Deutschland lag 2005 an weltweit fünfter Stelle beim Stahlverbrauch. **Rohstahl** wurde im Jahr 2005 fast zur Hälfte aus der Tschechischen Republik bezogen. (BGR, 2006). Stahl ist eine metallische Legierung mit Eisen als Hauptbestandteil und einem Kohlen-

stoffgehalt von 2%. Für die Stahlproduktion werden geschmolzenes Eisen, Eisenschrott und Roheisen (geschmolzen in Elektroöfen) benutzt. Hauptziel ist es dabei, den C-Gehalt zu senken, um das Eisen verformbar zu machen. Zwei Hauptprozesse der Stahlgewinnung wurden betrachtet, das Sauerstoffblasstahl-Verfahren und die Stahlgewinnung im Lichtbogenofen. Beim Blasstahlverfahren werden ungewünschte Unreinheiten im Rohmetall oxidiert. Dies sind Kohlenstoff, Silizium, Mangan, Phosphor und Schwefel. Der Kohlenstoffgehalt wird dabei von ungefähr 4% bis auf 1% reduziert. Es schließen sich Prozessschritte an um Stahl gewünschter Qualität zu erhalten. Die Daten für das Blasstahlverfahren sind eine Aggregation von 4 der 95 Blasstahlöfen Europas (Frischknecht et al., 2003).

Gallium, Indium, Thallium

Gallium, Indium und Thallium sind wie Aluminium Metalle der Borgruppe im Periodensystem. Die Importmenge lag 2005 für alle drei Metalle (incl. Schrott) bei nur 15 t.

Das wichtigste Erz der **Gallium**gewinnung ist Bauxit, dem es als Begleitmetall während der Schmelzflusselektrolyse bei der Aluminiumgewinnung entzogen wird. Die Galliumgehalte im Bauxit liegen zwischen 0,003% und 0,008% (Ullmann 1992). Die Aufwendungen für die Herstellung werden für die beiden Produkte wertmäßig angerechnet, wobei für die Metallpreise zwanzigjährige Mittelwerte nach USGS (1978 – 1998) herangezogen wurden. Die Allokationsfaktoren sind in Tab. 2-5 dargestellt.

Tab. 2-5: Kombinierte Gewinnung von Aluminium und Gallium
Metallgehalte der Erze, mittlere Preise über 20 Jahre und Allokationsfaktoren

	Gehalt im Erz	Verhältnis Metalle	Preise [US\$/kg]	Wert pro kg Erz [US\$/kg]	Verhältnis Werte
Aluminium	21,0000%	99,97%	1,5	0,314	92,2%
Gallium	0,0055%	0,03%	482,5	0,027	7,8%

Indium wird fast ausschließlich als Nebenprodukt bei der Produktion von Zink oder Blei gewonnen. Eine wirtschaftliche Gewinnung ist möglich, wenn sich an bestimmten Stellen des Produktionsprozesses Indium anreichert. Dies sind etwa Flugstäube, die während des Röstens von Zinksulfid entstehen und Rückstände, die bei der Elektrolyse während des nassen Verfahrens der Zinkherstellung zurückbleiben.

Der bereitgestellte Datensatz der Indiumgewinnung geht von einem Blei-Zink-Indium-Erz mit 0,0015% Indium aus (Ullmann 1992). Die Allokationsfaktoren für die drei Produkte basieren wie für Gallium auf dem Verhältnis der mittleren Preise für die Metallprodukte (s.a. Tab. 2-6).

Tab. 2-6: Kombinierte Gewinnung von Blei, Zink und Indium
Metallgehalte der Erze, mittlere Preise über 20 Jahre und Allokationsfaktoren

	Gehalt im Erz	Verhältnis Metalle	Preise [US\$/kg]	Wert pro kg Erz [US\$/kg]	Verhältnis Werte
Blei	2,9700%	35,73%	0,8	0,024	27,5%
Zink	5,3400%	64,25%	1,1	0,058	68,1%
Indium	0,0015%	0,02%	249,7	0,004	4,4%

Thallium wird wie Indium häufig als Nebenprodukt der Blei- und Zinkherstellung gewonnen. Für die Ermittlung der Rohstoffäquivalente wird analog zu Indium vorgegangen. Die Metallgehalte im Erz und die Allokationsfaktoren sind in Tab. 2-7 dokumentiert.

Tab. 2-7: Kombinierte Gewinnung von Blei, Zink und Thallium
Metallgehalte der Erze, mittlere Preise über 20 Jahre und Allokationsfaktoren

	Gehalt im Erz	Verhältnis Metalle	Preise [US\$/kg]	Wert pro kg Erz [US\$/kg]	Verhältnis Werte
Blei	2,97%	35,65%	0,8	0,024	13,0%
Zink	5,34%	64,10%	1,1	0,058	32,2%
Indium	0,02%	0,25%	475,3	0,099	54,7%

Germanium

In BGR (2006) werden keine metallischen Germaniumimporte aufgeführt, aber für Germaniumoxide in Höhe von 2.349 t in 2005; Frankreich (35%), China (23%) Großbritannien (14%) und die USA (13%) stellen hierfür die Hauptlieferländer dar.

Germanium fällt im allgemeinen als Nebenprodukt bei der Gewinnung anderer Metalle (Zn, Cu, Pb) oder als Flugasche an. Für die Germaniumherstellung wird von einem Blei-Zink-Germaniumerz ausgegangen, das im Mittel 0,03% Germanium enthält (Ullmann 1992). Die Allokation für die Herstellung erfolgt wertmäßig über langjährige Preisverhältnisse (s.a. Tab. 2-8).

Tab. 2-8: Gewinnung von Germanium als Nebenprodukt der Blei- und Zinkherstellung
Metallgehalte der Erze, mittlere Preise über 20 Jahre und Allokationsfaktoren

	Gehalt im Erz	Verhältnis Metalle	Preise [US\$/kg]	Wert pro kg Erz [US\$/kg]	Verhältnis Werte
Blei	2,970%	35,74%	0,8	0,024	25,4%
Zink	5,340%	64,25%	1,1	0,058	62,9%
Germanium	0,001%	0,01%	1076,7	0,011	11,7%

Gold

In den Jahren 2002 bis 2004 wurden noch ca. 40 t pro Jahr importiert, in 2005 nur noch 29 kg (BGR 2006). Trotz des niedrigen Imports wurden etwa 92 t Gold in dem gleichen Jahr in Deutschland eingesetzt. Die Differenz könnte über Gold als Halbware, Aufarbeitung goldhaltiger Schrotte gedeckt worden sein oder über Importe von Gold als Begleitmetall von Kupfererzen.

Der Goldgehalt von Golderzen liegt zwischen 10 und 30 g/t; typisch sind für abgebaute Erze 12 g/t (Ullmann 1992). Im Gegensatz zu vielen anderen Metallen liegt Gold meist gediegen vor und muss von den Verunreinigungen befreit werden. Industriell kommen hierfür zu etwa zwei Dritteln das Amalgamverfahren und zu einem Drittel die Cyanidlaugung zum Einsatz

Das **Amalgamverfahren** beruht auf der Eigenschaft von Gold, mit Quecksilber eine Legierung (Amalgam) zu bilden. Das pulverförmige Erz wird mit Wasser zu einem Brei vermischt und über eine Kupferplatte geleitet, die mit einer dünnen Quecksilberschicht überzogen ist. Quecksilber und Gold verbinden sich zu Amalgam, wodurch das Gold dem Erz entzogen wird. Von der Platte wird regelmäßig die Legierung abgekratzt. Durch eine abschließende Destillation wird reines Gold gewonnen. Diese Methode hat eine Effizienz von 70 bis 80%. Bei sulfidischen Erzen sinkt die Effizienz des Amalgamverfahrens auf unter 50%, dort wird i.d.R. die **Cyanidlaugung** verwendet. Das dabei eingesetzte Natriumcyanid ist in der Lage Edelmetalle zu lösen. Der Erzschlamm wird dabei in großen Behältern mit Natriumcyanidlösung ausgelaugt. Anschließend wird die Lösung mit Zinkstaub ausgefällt und filtriert. Das Kupfer wird durch Behandlung mit Schwefelsäure wieder herausgelöst. (Ullmann 1992, Mineralienatlas 2007)

Trotz intensiver Recherchen konnten für die Goldgewinnung keine befriedigende quantitativen Prozessdaten gefunden werden, die eine Abbildung der Verfahren erlaubt hätten. Für die Ermittlung der Rohstoffäquivalente sind die mit der Gewinnung verbundenen Aufwendungen auch weniger bedeutend, da die Erzentnahme unter Berücksichtigung der Verluste für das Ergebnis ausschlaggebend ist. Sie beläuft sich auf ca. 105.000 kg pro kg Gold und die Prozessaufwendungen, abgeleitet aus der Kupferherstellung, trägt mit ca. 5.000 kg/kg bei.

Kupfer

Hauptlieferland für Kupfererze und -Konzentrate ist Chile mit 41%. Im Jahr 2005 wurden Kupferkonzentrate mit einem Cu-Inhalt von 345.000 t und 475.000 t Rohkupfer importiert (BGR, 2006).

Kupfer liegt in der Regel vergesellschaftet mit Molybdän in Pyritgestein vor. Aus dem Erz werden beide Metallkonzentrate gewonnen, so dass eine Zurechnung der Herstellungsaufwendungen und der Gangart (= nicht metallhaltigen Begleitminerale) auf die beiden Produkte erfolgen muss. Die Aufwendungen von der Förderung bis zu Herstellung der separaten Metallkonzentrate müssen dabei auf die verschiedenen Metalle mittels Allokationsfaktoren aufgeteilt werden. In den übermittelten Rohstoffkoeffizienten zu den Konzentraten und Metallen wurde eine Allokation nach Marktwert vorgenommen. Die Allokation ist in der folgenden Tabelle aufgeschlüsselt.

Tab. 2-9: Gewinnung der vergesellschafteten Metalle Kupfer und Molybdän
Metallgehalte der Erze, mittlere Preise über 20 Jahre und Allokationsfaktoren

	Gehalt im Erz	Verhältnis Metalle	Preise [US\$/kg]	Wert pro kg Erz [US\$/kg]	Verhältnis Werte
Kupfer	0,36000%	97,8%	1,8	0,0066	95,3%
Molybdän	0,00820%	2,2%	8,0	0,0007	9,4%

Raffiniertes Kupfer wird mit 36% überwiegend aus Russland importiert. (BGR, 2006). Der verfügbare Datensatz für die Kupferherstellung berücksichtigt aber Aufwendungen einer durchschnittlichen Kupferhütte auf der Welt. Dies gilt für den Energieeinsatz wie auch für die Emissionen. Der hohe Strombedarf für die Elektrolyse wird dabei zu 60% aus betriebseigenen Wasserkraftwerken gedeckt und zu 40% aus Strom des öffentlichen Netzes, das sich wie folgt zusammensetzt: (Ecoinvent, 2004d).

Tab. 2-10: Energieträgermix des öffentlichen Stromnetzes für die Kupfergewinnung

Braunkohle	Steinkohle	Erdgas	Heizöl	Kernenergie	Wasserkraft	Sonst. Regenerative
8%	19%	14%	7%	36%	11%	6%

Magnesium

Hauptlieferland für Deutschland war im Jahr 2005 China mit 50%; weitere wichtige Lieferländer liegen im europäischen Raum. (BGR, 2006).

Der verwendete Datensatz repräsentiert die durchschnittliche europäische Produktionstechnologie und ist daher als Näherung zu betrachten. Magnesium wird aus dem Meerwasser und aus Dolomitgestein gewonnen. Aus dem Dolomit wird Magnesiumhydroxid ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) gewonnen, welches als Filterkuchen vorliegt. Dieser Filterkuchen wird zu Magnesiumoxid (MgO) kalziniert. Durch eine Chlorierung des MgO erhält man wasserfreies Magnesiumchlorid (MgCl_2). Das Magnesiumchlorid gelangt in einen Elektrolyseschritt und es werden Magnesiumbarren in der Gießerei geformt. In der Bilanz sind alle Prozesse von der Aufnahme aus dem Meerwasser bis zum Verlassen des Magnesiums aus der Fabrik enthalten. Energie wird aufgewandt für die Behandlung des Dolomitgesteins, zur Entfernung von Meerwasser und Säuren aus dem Magnesiumchlorid und für die Elektrolyse. Als Gesamtenergieverbrauch werden für die Produktion von einem Kilogramm Magnesium 144 MJ ausgegangen (Albright & Haagensen, 1997).

Mangan

Bis auf geringe Ausnahmen von Ferromangan und manganhaltigem Schrott wurde die Nachfrage nach Mangan im Jahr 2005 vollständig durch Importe abgedeckt (BGR, 2006). Manganerz und ihre Konzentrate werden als Konzentrat mit einem Mangangehalt von 42,4% abgebildet. Hauptlieferland hierfür ist die Niederlande mit 38%, wobei davon auszugehen ist, dass dieses nur als Transitland fungiert.

Für Mangan in metallische Rohform ist Norwegen Hauptlieferland. Der Datensatz zu Herstellung von Mangan spiegelt die durchschnittliche westeuropäische Situation wider. Manganerze werden normalerweise im Tagebau abgebaut. Nach dem Abbau werden die Erze mit Backen- und/oder Kegelbrechern gebrochen, danach grundiert

und abschließend gesiebt. Im zweiten Schritt wird metallhaltiges Material durch Gravitation von Gangart getrennt. Eine Flotation findet nicht statt. Der Abraum von 2,41 kg je kg konzentriertem Erz wird in Halden, die nicht weit von der Mine entfernt sind, abgelagert. Daten für die Ablagerung von nicht sulfidischem Abraum wurden angesetzt. Für die Sprengarbeiten wird ein Weltdurchschnitt von 0,26 kg/t Erz angegeben, der Dieselverbrauch liegt bei 1,2 l/t Erz. Das konzentrierte Erz geht in die Metallurgie. Die beiden Hauptprozesse der Mangangewinnung sind die Elektrolyse von wässrigen Mangansalzen und die elektrothermische Zersetzung von Manganerzen. Für den Elektrolyseprozess wird ein Strombedarf von 9 bis 12 kWh/kg Mn angegeben. (Adelhardt & Saiger, 1999)

Molybdän

Molybdän liegt vergesellschaftet mit Kupfer im Pyritgestein vor, daraus werden beide Metallkonzentrate gewonnen. Die Allokation der Metalle wurde im Zusammenhang mit Kupfer erklärt. Der Molybdängehalt im Gestein liegt zwischen 0,05 und 0,25%. Mehr als die Hälfte des weltweit hergestellten Molybdäns kommt aus der Kupferindustrie (58%), der Rest wird im Bergbau gewonnen (42%, davon 70% im Tagebau und 30% im Tiefbau). Für beide Gewinnungsarten liegen Datensätze vor.

Die Nachfrage nach Molybdän wird hauptsächlich durch den Import von Molybdänerzen und ihre Konzentraten gedeckt. Molybdänkonzentrat wird durch die Flotation von Molybdänerz gewonnen, es beinhaltet 90 – 95% Molybdändisulfid. Molybdändisulfid ist der Ausgangsstoff für Molybdäntrioxid, welches die Ausgangsverbindung für die meisten Molybdänprodukte ist. (Sebenik et al., 1997).

Die Erze und Konzentrate stammen überwiegend aus den USA (23%). Im Jahr 2005 beliefen sich die Importe auf ca. 11.500 t Erze und Konzentrate. (BGR, 2006) Die Aufwendungen und die Emissionen des übermittelten Datensatzes gehen von einem Konzentrat mit 55% Molybdän als Produkt aus (Ecoinvent 2004d)

Nickel

Im Jahr 2005 wurden ungefähr 88.000 t Nickelmetall nach Deutschland importiert. Die Metalleinfuhren kamen dabei aus Russland, Großbritannien und Norwegen. (BGR, 2006).

Bei den Nickelerzen unterscheidet man sulfidische und oxidische Erze. Aus oxidischen Erzen werden 40% des Nickels gewonnen, den größeren Teil (60%) machen die sulfidischen Erze aus, da der Nickelgehalt in sulfidischen Erzen leichter zu extrahieren ist. Der Nickelgehalt liegt bei 0,4 bis 2%. Daneben enthalten sind teilweise noch Kupfer, Eisen und Schwefel.

95% der sulfidischen Nickelerze werden untertage in Tiefen zwischen 200 m und 1800 m abgebaut. Der Abbau- und der Veredelungsprozess entspricht dem, der bei den PGM-Metallen angewandt wird. Das Ergebnis ist ein Konzentrat mit einem Nickelgehalt von 7 bis 25%. Die Gewinnung des Metalls erfolgt auf pyro- und hydrometallurgischem Weg. Die wesentlichen Prozessdaten wurden Hilbrans & Hinrichs (1999) und Ecoinvent (2004d) entnommen.

Niob und Tantal

Die Metalle Niob und Tantal liegen vergesellschaftet in den Erzen als Nb_2O_5 und Ta_2O_5 vor. Im Jahr 2005 wurden 79.274 t Niob-/Tantalerze und -Konzentrate nach Deutschland eingeführt; Angaben zu Importen der Reinforme werden in BGR 2006 nicht aufgeführt.

Für den Abbau der Erze, die Aufbereitung zu Konzentraten und die Metallgewinnung liegen keine spezifischen Daten vor. Daher wurden generische Daten für die Konzentraterstellung und Prozessdaten der relativ ähnlichen Zinkgewinnung herangezogen. Berücksichtigt wurden dabei die unterschiedlichen Metallgehalte der Erze und Konzentrate für die Prozessaufwendungen. Diese Vereinfachung ist bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen. Wie auch bei den anderen Metallen werden aber die Rohstoffäquivalent-Ergebnisse hauptsächlich durch die benötigten Erzmengen bestimmt, die sich aus den mittleren Gehalten im Erz ergeben.

Ausgehend von einem mittleren Nb_2O_5 -Gehalt von 1,85% und Ta_2O_5 -Gehalt von 0,072% im Erz liegen die Gehalte in den Konzentraten nach der Aufbereitung bei 57,6% und 1,88% (USGS Nb 2005, Ullmann 1992). Die anschließende Metallgewinnung muss hinsichtlich der Aufwendungen auf die Kuppelprodukte verteilt werden. Die Allokation wurde über die Preisverhältnisse zwischen 1978 und 1998 vorgenommen; diese sind auch in Tab. 2-11. dargestellt.

Tab. 2-11: Gewinnung der vergesellschafteten Metalle Niob und Tantal
Metallgehalte der Erze, mittlere Preise über 20 Jahre und Allokationsfaktoren

	Gehalt im Erz	Verhältnis Metalle	Preise [US\$/kg]	Wert pro kg Erz [US\$/kg]	Verhältnis Werte
Niob	1,293%	95,7%	8,0	0,103	92,8%
Tantal	0,059%	4,3%	13,7	0,008	7,2%

Platingruppenmetalle (PGM)

Platin wird als Rohmetall nach Deutschland importiert. Dabei sank das Volumen der Platin-Importe im Jahr 2005 um 17% auf 46,4 t im Vergleich zum Vorjahr. Die importierten Waren stammen zu 80% aus Südafrika und zu 20% aus Russland. Das Importvolumen an Palladium ist deutlich angestiegen. Im Jahr 2005 wurden etwa 45 t importiert. Diese teilen sich in etwa zur Hälfte auf Südafrika und zur anderen Hälfte auf Russland auf. Die Rhodiumimporte betrugen 5,8 t, wovon 80% des aus Südafrika kommt, der Rest wurde aus Russland bezogen. (BGR, 2006)

Platin ist das Hauptmetall der sog. Platingruppenmetalle, zu denen noch **Palladium** und **Rhodium** gehören. Es handelt sich bei der Gewinnung des Metalls um einen Kuppelprozess, Nebenprodukte sind auch noch Nickel und Kupfer. Man geht bei der Erzzusammensetzung von folgenden Anteilen aus: Platin 4 – 4,7%, Palladium 1 – 4%, und Rhodium 0,2 – 4%. Die Nickel- und Kupfergehalte wurden nach den beiden Hauptimportländern unterschieden. Für Russland sind das 2,3% Ni und 3,2% Cu, für Südafrika 0,037% Ni und 0,052% Cu. Die PGM-enthaltenden Erze werden untertage abgebaut und zur Veredelung gebracht. Durch Sprengarbeiten werden Tunnel dafür geschaffen. Abraummaterial, welches keine PGM enthält, wird teilweise für die

Wiederbefüllung der Tunnel genutzt. Während der Aufkonzentrierung werden metallische Teile von PGM-tragenden Mineralien getrennt. Durch eine Flotation wird taubes Gestein aus dem Mineral ausgetragen. Das Mineral wird auf pyrometallurgischem Weg behandelt. Zunächst wird das Erz bei Temperaturen von 600 – 700°C geröstet. Eisen wird dadurch oxidiert, das Erz wird dadurch getrocknet und vorgeheizt. Durch die Schmelze bei 1400°C wird der Großteil an taubem Gestein und Eisensulfid zerstört. Im Umwandlungsschritt wird weiteres Eisensulfid entfernt. Die Hauptmetalle der Herstellung sind Kupfer und Nickel. In einem hydrometallurgischen Schritt erfolgt die Abtrennung der PGM von Nickel und Kupfer. Dabei wird das Konzentrat in einer Sulfat- oder Chloridlösung gelöst. Die übrig gebliebene Lösung enthält das gesamte PGM, welches durch Raffination gewonnen wird. (Hochfeld, 1997)

Silber

Nach BGR (2006) wurde Silber in den letzten Jahren nicht als Erz oder Konzentrat eingeführt, sondern nur in Metall- oder Pulverform sowie als Begleitmetall in anderen Metallerzen. Der Import an metallischem Silber belief sich 2005 auf 1.665 t mit den Hauptlieferländern Kasachstan (31%), Großbritannien (28%) und Italien (5%).

Die weltweite Gewinnung von Silber erfolgt nur zu etwa 29% aus Erzen, deren Hauptprodukt Silber ist, 33% fällt im Blei/Zinkbergbau, 26 % bei der Kupfergewinnung und 12 % bei der Goldgewinnung an (BGR 2006). Für die Ermittlung der Rohstoffaufwendungen wurden die drei wichtigsten Pfade der Silbergewinnung über reine Silbererze, aus Blei-/Zinkerzen und über die Kupfergewinnung berücksichtigt.

Silber liegt ähnlich wie Kupfer meist in sulfidischen Erzen vor, wobei der Silbergehalt mit durchschnittlich 0,4 kg/t (USGS Ag 2004) gegenüber Kupfererzen mit ca. 4 kg/t Kupfer eine Größenordnung niedriger liegt. Da für die reine Silbergewinnung keine Prozessdaten existieren, wurden Daten der Kupfergewinnung herangezogen, wobei sowohl für die Aufbereitung zum Konzentrat (1 kg Ag/t) wie auch für die Gewinnung des Metalls die geringeren Gehalte bei den Prozessaufwendungen berücksichtigt wurden. Diese Vereinfachung ist bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen. Wie auch bei den anderen Metallen werden aber die Rohstoffäquivalent-Ergebnisse hauptsächlich durch die benötigten Erzmengen bestimmt, die sich aus den mittleren Gehalten im Erz ergeben.

Die Gewinnung von Silber als Nebenprodukte der Blei-, Zink- und Kupferherstellung wurde über die Herstellungsprozesse der Hauptprodukte abgebildet. Die Aufwendungen müssen hierbei zwischen den Produkten verteilt werden. Die Allokation erfolgte auf Basis mittlerer Preise der Metalle über 20 Jahre (1978 – 1998; USGS) und ist für die Blei/Zinkgewinnung in Tab. 2-12 dargestellt.

Tab. 2-12: Silbergewinnung als Nebenprodukt der Blei-/Zinkherstellung
Metallgehalte der Erze, mittlere Preise über 20 Jahre und Allokationsfaktoren

	Gehalt im Erz	Verhältnis Metalle	Preise [US\$/kg]	Wert pro kg Erz [US\$/kg]	Verhältnis Werte
Blei	1,3000%	14,76%	0,8	0,010	9,4%
Zink	7,5000%	85,15%	1,1	0,082	75,0%
Silber	0,0075%	0,09%	227,4	0,017	15,6%

In Tab. 2-13 sind Metallgehalte im Erz und die Allokationsfaktoren für die Silbergewinnung als Nebenprodukt der Kupferherstellung abgebildet.

Tab. 2-13: Silbergewinnung als Nebenprodukt der Kupferherstellung
Metallgehalte der Erze, mittlere Preise über 20 Jahre und Allokationsfaktoren

	Gehalt im Erz	Verhältnis Metalle	Preise [US\$/kg]	Wert pro kg Erz [US\$/kg]	Verhältnis Werte
Kupfer	0,36000%	99,96%	1,8	0,007	95,3%
Silber	0,00014%	0,04%	227,4	0,000	4,7%

Titanerz (Rutil) und Ilmenit

Im Jahr 2005 wurden ca. 560 kt titanhaltige Erze & Konzentrate nach Deutschland eingeführt (BGR 2006). Lieferländer waren Norwegen (42%), Kanada (28%), Südafrika (25%) und andere Länder (5%).

Ilmenit hat in seiner Reinform die chemische Summenformel FeTiO_3 und unterscheidet sich gegenüber Rutil (TiO_2) im Eisengehalt. Für beide Erze/Konzentrate existieren keine spezifischen Daten zu Abbau und Aufbereitung. Daher wurden generische Daten zu diesen Prozessen aus Ecoinvent (2004d) zugrundegelegt. Die Gehalte an TiO_2 liegen im Erz für Ilmenit bei ca. 27% und für Rutil bei ca. 23%. Die mechanisch-physikalische Aufbereitung führt zu einer Aufkonzentrierung des Ilmenits auf ca. 53% (97% FeTiO_3) und Rutilkonzentrat erreicht typischerweise einen TiO_2 -Gehalt von 98%.

Uran

Der jährliche Uranbedarf für die im Jahr 2001 438 in Betrieb befindlichen Kernkraftwerke betrug im selben Jahr 64.000 t. Die Nettoleistung dieser Kraftwerke betrug 360 GW. In Deutschland belief sich der Bedarf an Natururan im Jahr 2005 auf ca. 3.500 t. Dieser Bedarf wurde überwiegend durch Importe gedeckt. Uran als Natururan wird aus den Ländern Kanda (46%) und Großbritannien (32%) bezogen. (BGR 2006).

Bei der Datenerhebung wurde die Prospektion und Exploration nicht berücksichtigt, da die Daten gegenüber den Minenaktivitäten vernachlässigbar sind. Der Abbau von Uranerzen erfolgt sowohl im Tage- als auch im Tiefbau. Für den Datensatz wurde für 1 kg Uran im Uranerz folgende Aufteilung angenommen: 0,4 kg stammen aus Tagebauminen und 0,6 kg aus Tiefbauminen.

Für die Tagebauminen wurde Lake Mine in Saskatchewan, Kanada als Referenzmine ausgewählt. Die Tagebauausrüstung besteht aus Schürfkübelfahrzeugen. In größeren Tiefen sind Bohr- und Sprengarbeiten nötig. Es werden aber nur Lockersprengungen des Gesteins durchgeführt. Die Kipper werden nur zu 75% gefüllt, um Verluste zu verhindern und die Strahlenbelastung niedrig zu halten. Der Urangehalt auf den Fahrzeugen schwankt zwischen 0,1% und 15% U_3O_8 . Ein Aufbereitungserz mit 2,5% U_3O_8 wird daraus gemischt. (Ecoinvent 2004a)

Im Tiefbau erfolgt der Aufschluss des Vorkommens durch Schächte und Strecken. Die Technik unterscheidet sich nicht im Vergleich zum Bergbau, abgesehen davon, dass für eine gute Belüftung gesorgt werden muss. Für den Energiebedarf wird für die Tagebauminen bezogen auf die Referenzmine ein Wert von 36,5 MJ/kg Uran berech-

net. Der angegebene Dieselbedarf von 16 MJ/kg Uran wird für die Stromerzeugung benötigt. Für die Untertageminen wird von ein Gesamtenergiebedarf von 300 MJ/KgU angenommen. (Ecoinvent 2004a)

Das Ziel der Uranaufbereitung ist die Herstellung eines möglichst hoch konzentrierten Uransalzes. Die Aufbereitungsanlage befindet sich i.d.R. auf dem Minengelände. Die Prozessschritte sind im Einzelnen: Erzvorbereitung (Mischen, Brechen, Mahlen), chemischer Aufschluss (Oxidieren, Laugung, Fest/Flüssig Trennung), Metallgewinnung (Ionenaustausch, Solvent-Extraktion) und Produktgewinnung (Fällung, Wäsche, Trocknen, Verpacken). Der elektrische Energiebedarf für den Betrieb der Aufbereitungsanlagen beträgt 176 MJ/kg U_{Output} , der fossile Brennstoffbedarf 264 MJ/kg U_{Output} . (Young et al., 1982)

Vanadium

Nach BGR wurde Vanadium 2005 hauptsächlich als Ferrovanadium (4.843 t) und als Oxide & Hydroxide (741 t) importiert. Hauptlieferland für Ferrovanadium war Österreich mit 56%. Als Datensatz für dieses Vorhaben sollte aber die Herstellung von Vanadium in Rohform abgebildet werden.

Die größten Vorkommen von Vanadium sind titantragende Magnetiterze in Australien, China, Russland und Südafrika; darüberhinaus wird Vanadium aus Rückständen der Ölverarbeitung gewonnen. Vanadium aus den Magnetiterzen wird als Nebenprodukt der Eisen- und Stahlerzeugung gewonnen. Das Eisen aus diesem Verfahren beinhaltet etwa 1,5% Vanadium welches, in Form von Asche, durch eine Tieftemperaturbehandlung mit Sauerstoff entfernt wird. In China wird dies durch Sprayverfeinerung durchgeführt, während es in Südafrika mit einer Schüttelkelle gemacht wird und in Russland ein spezieller Sauerstoff-Stahl-Umwandler benutzt wird. (Vanitec 2007)

Die Modellierung von Erzentnahme, Aufbereitung und Metallgewinnung erfolgte über Daten der Eisenherstellung. Dabei wurde ein mittlerer Vanadiumgehalt im Roherz von 0,37% nach Angaben in Ullmann (1992) und Vanitec (2007) angenommen. Die Allokation der Prozessaufwendungen erfolgte wertmäßig über mittlere Preise zwischen 1978 und 1998 (s.a. Tab. 2-14).

Tab. 2-14: Vanadium als Nebenprodukt der Eisengewinnung
Metallgehalte der Erze, mittlere Preise über 20 Jahre und Allokationsfaktoren

	Gehalt im Erz	Verhältnis Metalle	Preise [US\$/kg]	Wert pro kg Erz [US\$/kg]	Verhältnis Werte
Eisen	25,00%	98,54%	0,4	0,104	79,8%
Vanadium	0,37%	1,46%	7,1	0,026	20,2%

Wolfram

Wolfram wurde im Jahr 2005 überwiegend als Metall (ca. 2000 t), Wolframat (857 t) und Ferrowolfram (600 t) importiert; Erze und Konzentrate spielen mit 493 t eine geringere Rolle. Hauptlieferländer für die Erze/Konzentrate sind Brasilien mit 26%, Thailand mit 25%, Kanada und Österreich mit jeweils 16%.

Es wurden Rohstoffkoeffizienten für das Konzentrat und das Metall in Absprache mit dem StBA bereitgestellt. Wolfram liegt in den Erzen als WO_3 mit mittleren Gehalten von 0,5% WO_3 vor. Das sulfidische Erz Scheelit stellt mit ca. drei Vierteln das wichtigste Ausgangsmaterial dar, der verbleibende Anteil wird hauptsächlich über Wolframit abgedeckt. Nach der Aufbereitung beträgt der WO_3 -Gehalt typischerweise bereits 70% (Ullmann 1992).

Da für die Herstellung von Wolfram keine spezifischen Prozessdaten existieren, wurden im Analogieschluss Daten für die Kupfergewinnung adaptiert. Die so gewonnenen Rohstoffäquivalente für Konzentrat und Metall werden zu 98% durch die Erzentnahme dominiert.

Zinn

Zinn wird überwiegend in Rohform nach Deutschland importiert. Hauptlieferland für dieses Metall stellt Peru mit 23% dar. (BGR, 2006). Der verwendete Datensatz bildet die westeuropäischen Produktionsverhältnisse ab und kann daher nur als Näherung betrachtet werden (Ecoinvent 2004d).

Zinn wird leicht aus Zinnstein (Kassiterit) gewonnen. Das Erz wird zerkleinert und durch Aufschlännen sowie elektrische/magnetische Scheidung angereichert. Nach der Reduktion mit Kohlenstoff wird das Zinn auf eine Temperatur, die etwas höher als die Schmelztemperatur ist, erhitzt. So kann das Zinn ohne höher schmelzende Verunreinigungen abfließen. In den meisten Lagerstätten hat das Material einen Zinnanteil von etwa 5%, nach verschiedenen Schritten der Aufkonzentrierung auf 75% wird der Schmelzprozess eingeleitet.

Zirkonium und Hafnium

Der Import von Zirkonium betrug in 2005 145 t, ein Hafniumimport wird in BGR (2006) nicht aufgeführt.

Zirkonium findet sich in der Natur hauptsächlich in silikatischer Form als Zirkon oder als Dioxid in der Zirkonerde. Häufig wird der Zirkonsand als Nebenprodukt beim Abbau der Titanerze Rutil und Ilmenit gefördert. Dabei ist Zirkon fast immer mit Hafnium vergesellschaftet. Zirkonsande weisen mittlere Zirkoniumgehalte von 2,6% und Hafniumgehalte von 0,06% auf.

Die Zirkonium-Gewinnung erfolgt durch Aufschluss von Zirkon in einer Natriumhydroxid-Schmelze, wobei man ZrO_2 erhält, oder mittels Kohle im Lichtbogenofen. In diesem Fall erhält man ein als Zirkoniumcarbonitrid bezeichnetes Gemisch aus Zirkoniumnitrid und Zirkoniumcarbid, das durch Chlorierung in Zirkoniumtetrachlorid übergeführt wird. Dieses wird – in Analogie zur Titan- oder Blei-Herstellung – nach im Kroll-Verfahren in einer Helium-Atmosphäre durch Magnesium zu Zirkonium reduziert. Für die Prozessaufwendungen wurden aufgrund fehlender spezifischer Verbräuche, Daten für die Bleigewinnung herangezogen. Für die beiden Metallprodukte wurden die Allokationsschlüssel aus Tab. 2-15 angewendet.

Tab. 2-15: Gekoppelte Gewinnung von Zirkonium und Hafnium
Metallgehalte der Erze, mittlere Preise über 20 Jahre und Allokationsfaktoren

	Gehalt im Erz	Verhältnis Metalle	Preise [US\$/kg]	Wert pro kg Erz [US\$/kg]	Verhältnis Werte
Zirkonium	2,61%	97,9%	27,4	0,713	86,4%
Hafnium	0,06%	2,1%	201,0	0,113	13,6%

2.3.4 Nichtmetallische mineralischer Rohstoffe

Edel- und Schmucksteine (roh)

Im Jahr 2005 wurden 1.406 t Edel- und Schmucksteine nach Deutschland eingeführt, hauptsächlich aus Brasilien (57%, BGR 2006). Die Gruppe ist sehr unspezifisch, so dass für den Abbau und die Aufbereitung Annahmen getroffen werden mussten. Der Abbau erfolgt Untertage und der angenommene Gehalt an Edel- und Schmucksteinen im verwerteten Gestein beläuft sich auf 1%. Für die Aufbereitung des Gesteins wurde ein generisches Modul herangezogen. Sollten sich die Ergebnisse für diese Gruppe als ergebnisrelevant herausstellen, so wären die getroffenen Annahmen zu überprüfen.

Kalkstein

Kalkstein zur Zementherstellung wird größtenteils aus Norwegen importiert (26%). Der Abbau von Kalk und die Aufbereitung wurde auf Basis von Ecoinvent (2004b) modelliert.

Natriumchlorid

Natriumchlorid wird weltweit abgebaut. Jährlich werden 200 Millionen Tonnen Salz produziert. Mehr als ein Viertel davon wird in Nordamerika hergestellt. In Europa ist Deutschland der größte Produzent. Deutschland importierte Speise- und Industriesalz größtenteils aus den Niederlanden (81%, BGR 2006)

Es gibt drei hauptsächliche Gewinnungsprozesse von Natriumchlorid, wovon zwei für die erhobenen Daten ausschlaggebend sind. Die Daten beschreiben den Tiefbau und die Untertagelaugung. Angaben zum Energiebedarf schwanken in der Literatur, hier wurde ein Mix von UCTE, Nordel und UK angesetzt, welcher 0,17 kWh/ kg Salz beträgt. Als Dieserverbrauch wird 0,1g/kg Salz angegeben. (Westphal et al., 1993).

Schwefelkies (Pyrit)

Schwefelkies ist das global meistverbreitete Sulfidmineral. Die Summenformel dieses Stoffes lautet FeS_2 . Das Vorkommen von Pyrit konzentriert sich auf Lagerstätten von Braun- und Steinkohle sowie von eisenhaltigen Gesteinen. Deutschlands Hauptimporteur für Pyrite war im Jahr 2005 Norwegen mit rund 20.500 t (BGR, 2006). Für den Abbau und die Aufbereitung wurden Daten aus Ecoinvent (2004b) herangezogen.

Zement

Hauptlieferanten von Zement sind Belgien und Frankreich. Der Inlandsabsatz der deutschen Zementindustrie belief sich im Jahr 2005 auf 26,6 Mio. t. Importiert wurden im Jahre 2005 1,32 Mio. t.

Hauptbestandteil von allen silikatischen Zementen ist Zementklinker. Bestimmend in der Klinkermineralogie sind die vier Elemente CaO , SiO_2 , Al_2O_3 und Fe_2O_3 . Die Zementproduktion beginnt mit der Isolation und der Aufbereitung der Ausgangsmaterialien. Danach erfolgt eine Feuerung, um Zementklinker zu erhalten. Dieser Schritt ist das sog. Klinkern. Dabei werden Klinker hergestellt, welche grau und kugelförmig sind und einen Durchmesser von 0,32 bis 5,1 Zentimeter besitzen. Über 12 Teilschritte läuft der Klinkerprozess ab. Dabei wird das Calciumcarbonat (CaCO_3) zu Calciumoxid (CaO) reduziert. Das hergestellte CaO wird im Drehrohrofen auf ungefähr 1.500°C erhitzt um Zementklinker zu bilden. Als Brennstoff wird Kohle, Erdgas und mitunter Öl benutzt. Der letzte Schritt des Prozesses ist die Abkühlung der Klinker. Im Kühler werden die Klinker durch Außenluft von 1100°C auf 93°C abgekühlt. Um marktfähiges Zement zu erhalten finden danach noch Blend- und Schleifprozesse statt und den Klinkern werden Gips oder Anhydride hinzugefügt. (Künninger 2001, Routschka 1997).

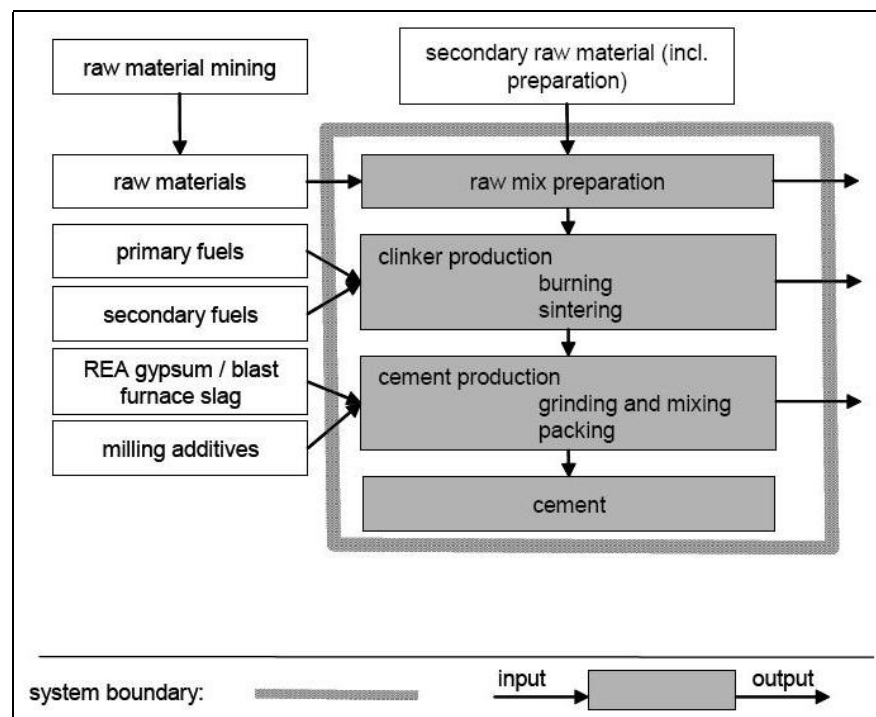
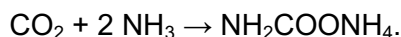


Abb. 2-4: Schematische Darstellung der Zementherstellung (verändert nach Künninger (2001))

2.3.5 Sonstige Stoffe

Harnstoff

Harnstoff weist von allen Stickstoffverbindungen weltweit das größte Produktionsvolumen auf. Der Hauptverwendungszweck stellt hierbei die Verwendung als Düngemittel dar. Harnstoff wird technisch aus Ammoniak und Kohlendioxid hergestellt. Hierbei gilt es 2 Reaktionsstufen zu unterscheiden. In der 1.Stufe wird Ammoniumcarbamat gebildet:



In der 2.Stufe findet eine Umwandlung des Carbamats in Harnstoff und Wasser statt (IAC 1999):



Der Energieeinsatz der Harnstoffproduktion wird in (Patyk, 1997) beschrieben.

Kaliumchlorid

Kaliumchlorid findet als Düngemittel Verwendung. Düngemittel wurden zu 31% aus den Niederlanden importiert. Deutschland ist der Hauptproduzent von Kaliumdünger. Große Mengen werden auch in Osteuropa, vor allem in Russland und Weißrussland produziert. Kaliumchlorid, das Kaliumsalz der Salzsäure, wird untertage abgebaut, daraufhin gebrochen und gemahlen.

Für die Herstellung von konzentriertem KCl, und damit einem brauchbaren Dünger, gibt es drei verschiedene Prozesse. Dies sind die Lösung in heißem Wasser, Flotation und elektrostatische Separation. Die Methode ist abhängig von der Beschaffenheit des Salzes und den Anforderungen an das fertige Produkt. Die Daten stellen einen Mix aus allen drei Methoden dar. Das Endprodukt hat einen K₂O-Gehalt von 60%, was einer Reinheit von 95% KCl entspricht. Die Daten wurden (K+S Aktiengesellschaft, 2001) für das Jahr 2000 entnommen. Darin wird ein Energieverbrauch von 2,25 MJ/kg KCl angegeben. Erdgas ist die einzige Energiequelle. Strom und Wärme werden in firmeneigenen Blockheizkraftwerken produziert. Der Kaliumchloridgehalt im Ausgangssalz beträgt 15 – 35% (K+S Aktiengesellschaft, 2001). Gerechnet wurde mit einem Gehalt von 25%. Nur 22% des Ausgangssalzes können als Dünger benutzt werden, der Rest muss abgelagert werden. Der Großteil davon wird in Halden eingelagert.

Triple-Superphosphat

Die Importmenge von Superphosphaten betrug in Deutschland im Jahr 2004 85,6t P₂O₅. Triple-Superphosphat ist ein hochkonzentrierter, wasserlöslicher Phosphordünger für alle Kulturen und Böden mit einem Nährstoffgehalt von bis zu 48% P₂O₅. Phosphatdüngemittel werden durch den Aufschluss der Rohphosphate hergestellt. Bei der Herstellung von TSP wird 52-54%-ige Phosphorsäure für den Aufschluss des Rohphosphates eingesetzt. Dabei entsteht Gips als Nebenprodukt. Aus dem TSP wird durch die Zugabe von Additiven Mehrnährstoffdünger hergestellt, diese werden heute größtenteils eingesetzt. (Oly, 2005).

Ammoniumnitrat

Ammoniumnitrat entsteht durch Neutralisation von Ammoniak mit Salpetersäure: $\text{NH}_3 + \text{HNO}_3$ reagiert zu NH_4NO_3 . Die hierbei statt findende Reaktion verläuft exotherm (Patyk, 1997). Diese Reaktion findet technisch meist in sog. Umlaufreaktoren statt. Die gewonnene Schmelze des Ammoniumnitrats wird entweder in Prilltürmen oder durch Granulierung zu einem Feststoff weiterverarbeitet. Der hygroskopischen Eigenschaften des Ammoniumnitrats wegen, muss eine Nachbehandlung erfolgen, um ein Verbacken der einzelnen Partikel zu vermeiden (IAC, 1999). Verwendung findet Ammoniumnitrat in Düngemitteln und Sprengstoffen.

Sprengstoff

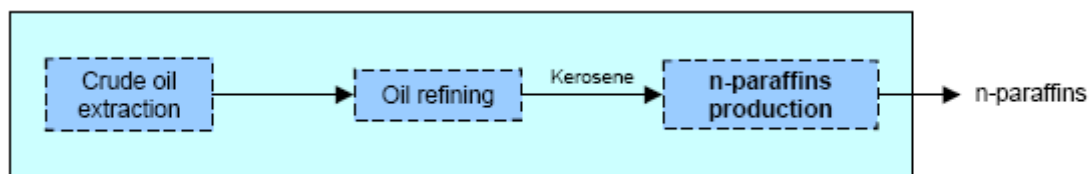
Sprengstoffe werden zu 60% aus China importiert. Sprengstoffe unterteilt man in folgende Kategorien:

1. homogene Sprengstoffe (Sprengöl, Nitroglycol, Trinitrophenol, Trinitrotoluol (TNT), und Hexogen)
2. Sprengstoffgemische (z.B. schwarzes Sprengpulver, gelantinfreie Sprengstoffe, pulverfreie Sprengstoffe)
3. Detonatoren (Knallquecksilber, Bleiazid)

Tovex wird also als Stellvertreter für Sprengstoffe genutzt. Die Daten beinhalten die komplette Herstellung von Tovex (Ecoinvent 2004d)

Paraffin

Paraffin ist ein Gemisch aus gesättigten Kohlenwasserstoffen. Die allgemeine Summenformel lautet $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$. Paraffine bilden die Hauptbestandteile des Rohöls, daher sind die Ressourcen die gleichen wie die des Erdöls. (Dones et al., 2003). Bei der Gewinnung von Paraffinen können zwei Hauptwege unterschieden werden, die Sumpffphasen-Hydrierung und der Dampfphasen-Prozess. Das gewonnene n-Paraffin wird weiter behandelt und gereinigt. 85% der gewonnenen Paraffine werden als Zwischenprodukte der Herstellung von Reinigungsmitteln benutzt. In den benutzten Quellen für den Datensatz gibt es keine Unterscheidung von beiden Prozessen. Die folgende Grafik fasst die Prozessschritte zusammen.



Hauptquelle für die Daten ist der Bericht einer Studie über die europäische Tensidindustrie von ECOSOL (Franke 1995). Die Daten stellen einen europäischen Mix dar (Ecoinvent, 2004c).

3 Koeffizienten für Transporte

Durch die Ermittlung von Prozessketten der im Ausland hergestellten Waren ist zwar das Rohstoffäquivalent KRA für solche Importe bekannt, doch kommen zu einer vollständigen Bilanz der Aufwendungen für Importe – und auch Exporte – noch die Transportaufwendungen hinzu. Sie könnten zwar innerhalb der durch Prozessketten gewonnenen Rohstoffkoeffizienten berücksichtigt werden, doch würden sie dann bei den durch Input-Output-Tabellen gewonnenen Rohstoffäquivalenten fehlen.

Um die nach beiden Ansätzen berechneten Rohstoffäquivalente mit einer konsistenten Vorgehensweise um die Transporte zu ergänzen, wurden in Baustein 2 Entfernungs- und Energiekoeffizienten für Import- und Exportbeziehungen erstellt. In Form von Tabellen in Excel wurden die Ergebnisse dem Statistischen Bundesamt bereitgestellt („Entfernungsmatrix aktuell V11 StBA.xls“).

3.1 Entfernungsmatrix für Länder und Regionen

Für alle Länder, die im Jahr 2005 mit Deutschland in einer Lieferbeziehung standen sollten typische Transportentfernungen ermittelt werden. Dazu wurden die Länder in die Gruppen „Europa“ mit den EU25-Ländern, „Russland“ und „andere Länder“ unterteilt. Für die drei Gruppen wurden in Abstimmung mit dem StBA unterschiedliche Vorgehensweisen festgelegt, die nachfolgend beschrieben werden. Das Ergebnis der Entfernungsmatrix besteht aus den ländertypischen Transportdistanzen und dem Verkehrsträgemix (Bahn, LKW, Schiff, ...) für unterschiedliche Gütergruppen.

3.1.1 Europa

Der Importanteil aus EU25-Ländern betrug 2005 knapp 50% des Gesamtimportvolumens Deutschlands, wobei ein Großteil der Einfuhren per LKW über die deutsche Grenze gelangte. Bestimmte Güter, wie Erze oder Erdöl, werden aber auch häufig per Hochseeschiff oder Pipeline transportiert. Der Transport mit dem Flugzeug spielt im Intraeuropäischen Handel mengenmäßig keine Rolle – der maximale Anteil in den Gütergruppen beträgt 0,2%.

Für die Ermittlung der Transportdistanzen für die verschiedenen Länder mussten Ausgangspunkte und Zielpunkte definiert werden. Als „Mittelpunkt“ der Länder wurden vereinbarungsgemäß die Hauptstädte angenommen und für die Einfuhr nach Deutschland sechs Grenzorte: zwei im Westen (Aachen, Neuenburg), zwei im Osten (Frankfurt/Oder, Eslarn) und jeweils einer im Norden und Süden (Flensburg, Kiefersfelden).

Die Entfernungen für den LKW-Transport wurden über einen Routenplaner (Falk 2007) ermittelt. Diese Entfernungen können auch näherungsweise für Bahn- und Binnenschiffahrts-Transporte herangezogen werden. Für einige Spezialfälle wurden aber separate Entfernungen berechnet, z.B. für die Binnenschiffahrts-Transporte von Rotterdam, Antwerpen, Bratislava, Prag und Budapest nach Deutschland. Transporte, die per LKW aus Finnland, Großbritannien, Irland, Malta und Zypern kommen, nutzen

i.d.R. zusätzlich Fährtransporte, die separat angegeben sind. Auch die Entfernungen für Hochsee- oder Flugzeug-Transporte wurden ermittelt und in der Ergebnis-Excelltabelle aufgeführt. Die Vorgehensweise hierzu wird in dem Kapitel 3.1.3 „Andere Länder“ erläutert.

Die Ausdifferenzierung der Verkehrsträgermixe wurde auf Basis der Außenhandelsstatistik (Destatis 2007) vorgenommen. Diese stellt die Verkehrsartenanteile für Ein- und Ausfuhr nach zehn Gütergruppen¹ dar:

- Land- u. forstwirtschaftliche Erzeugnisse und lebende Tiere
- Andere Nahrungs- und Futtermittel
- Feste mineralische Brennstoffe
- Erdöl, Mineralölerzeugnisse, Gas
- Erze und Mineralabfälle
- Eisen, Stahl und NE-Metalle (Einschl. Halbzeug)
- Steine und Erden und Baustoffe
- Düngemittel
- Chemische Erzeugnisse
- Fahrzeuge, Maschinen, sonst. Halb- und Fertigwaren sowie besondere Transportgüter

Unberücksichtigt bleibt in der Außenhandelsstatistik der Transport von Gasen und Flüssigkeiten per Pipeline. Diese Transporte wurden durch weitergehende Angaben von DIW – Verkehr in Zahlen (DIW 2005) ergänzt. Zusätzlich erfolgte eine Unterscheidung von Gütertransporten per Eisenbahn in Bahntransporte mit Elektro- und Dieseltrekation auf Basis des statistischen Jahrbuchs für das Ausland (2006) und IFEU-internen Informationen zu Bahntransporten in Europa. Ein Ausschnitt aus der Verkehrsträgermatrix für Europa ist in Abb. 3-5 dargestellt.

Verkehrsart und Entfernung in km - Europa									
	land-, forstwirtschaftliche und verwandte Erzeugnisse ***			andere Nahrungs- und Futtermittel	feste mineral. Brennstoffe	Erdöl, Mineralölerzeugnisse, Gase		Erze und Metallabfälle	Eisen, St NE-Me
	Erzeugnisse der Landwirtschaft, Jagd	Forstwirtschaft, Erzeugnisse und DL	Fische und Fischereierzeugnisse			Erdöl	Gase		
Eisenbahn	5%			1%	15%	5%	0%	17%	22%
Elektrotraction	4,5%			0,9%	13,3%	4,2%	0,0%	14,4%	
Dieseltraction	0,7%			0,1%	2,1%	0,7%	0,0%	2,3%	
LKW	75%			82%	35%	6%	0%	36%	62%
Binnenschiff	9%			13%	19%	14%	0%	4%	9%
Hochseeschiff	11%			4%	31%	52%	0%	44%	7%
Flugzeug	0%			0%	0%	0%	0%	0%	0%
Pipeline	0%					23%	100%		
für Erdöl						23%			
für Erdgas							100%		

Abb. 3-5: Ausschnitt aus der Verkehrsträgermatrix für Europa

¹ Kapitel des Einheitlichen Güterverzeichnisses für die Verkehrsstatistik (NST = Nomenclature uniforme de marchandises pour les statistiques de transport).

3.1.2 Russland

Aus Russland stammen 14% der deutschen Importe im Jahr 2005 mit Anteilen von 80% Erdöl bzw. Erdgas und 9% Kohle. Russland stellt auch hinsichtlich seiner Größe eine besondere Situation dar. Für die Ermittlung von Transportdistanzen wurde das Land in drei geographische Regionen unterteilt:

- Vor-Ural: westlich des 60. östlichen Längengrades
- Mitte: zwischen 60. und 100. Längengrad
- Ost: östlich des 100. Längengrades

Für diese Regionen musste eine Abschätzung bezüglich der Herkunft der in Kap. 3.1.1 genannten Gütergruppen vorgenommen werden. Mit Hilfe von Rohstoff-, Wirtschafts- und Landwirtschaftskarten (Diercke 2002) wurden die Anteile abgeschätzt. So wurden z.B. für Erdöl Anteile von 53% für die Region „Vor-Ural“, 41% für „Mitte“ und 6% für „Ost“ ermittelt.

Auf Basis der gleichen Themenkarten erfolgte die Bestimmung der mittleren Ausgangspunkte für die Transporte. Zusätzlich wurden Karten zu Pipelineverläufen genutzt um die pipelinespezifischen Distanzen nach Deutschland zu berechnen. Für die anderen Landtransporte kamen soweit möglich Routenplaner (Falk 2007, Map24 2007, Maps.Google 2007) zum Einsatz; teilweise mussten aber auch Distanzen über Längemessungen (Orthodrome) auf digitalen Karten abgeschätzt werden (Diercke 2002), da Routenplaner nicht verfügbar waren. Für die Hochsee-Schifftransporte wurden für die drei Regionen die wichtigsten Häfen bestimmt und als Zielhafen Hamburg angenommen. Die Berechnung der Transportentfernungen erfolgte über eine Online-Datenbank, die für alle wichtigen Häfen der Welt Distanzen beinhaltet (Distances 2007). Die Ergebnisse wurden auch stichprobenhaft mit nautischen Entfernungstabellen (Reed's 2004) überprüft.

Die Ermittlung des Verkehrsträgermixes für russische Güter konnte nicht differenziert nach Regionen vorgenommen werden, da Informationen hierfür nicht vorlagen. Für die relevantesten Importgüter Erdgas und Erdöl, die überwiegend aus den Regionen „Vor-Ural“ und „Mitte“ stammen, wurde ein ausschließlicher Transport per Pipeline zugrundegelegt. Für die anderen Gütergruppen wurden russische Transportstatistiken (FSSS 2007) und das statistische Jahrbuch für das Ausland 2006 (Destatis 2006) ausgewertet. Abb. 3-6 zeigt einen Ausschnitt der Ergebnistabellen für die Region „Vor-Ural“.

Verkehrsart und Entfernung in km - Rußland							
Gebiet 1 (Vor-Ural: westlich des 60. östlichen Längengrades)							
	land-, forstwirtschaftliche und verwandte Erzeugnisse **			andere Nahrungs- und Futtermittel	feste mineral. Brennstoffe	Erdöl, Mineralölzeugnisse, Gase	
	Erzeugnisse der Landwirtschaft, Jagd	Forstwirtschaft. Erzeugnisse und DL	Fische und Fischereierzeugnisse			Erdöl	Gase
Anteil Russland	67%	67%	25%	67%	33%	53%	73%
Eisenbahn	0,4%	0,4%	0,2%	1%	31%	0%	0%
Elektrotraktion	0,2%	0,2%	0,1%	0,5%	22%	0,0%	0,0%
Dieseltraktion	0,2%	0,2%	0,1%	0,2%	8%	0,0%	0,0%
LKW	16%	16%	6%	8%	1%	0%	0%
Binnenschiff	1%	1%	0%	1%	1%	0%	0%
Hochseeschiff	49%	49%	18%	57%	1%	0%	0%
Flugzeug	1%	1%	0%	0%	0%	0%	0%
Pipeline	0%	0%	0%	0%	0%	53%	73%
für Erdöl						53%	
für Erdgas							73%
* z.B. 60% Bahn und 40% LKW; Verkehrsartengliederung analog Liste Energieeinsatz							
** Untergliederung ist noch zu vereinbaren; Vorschlag: Projektnehmer							
Durchschnittliche Entfernung zu den deutschen Grenzen in km***				Ausgangsort	Zielort		
Landtransport	2600			Kasan	15230 Frankfurt/Oder		
Pipeline	3700						
Transport zu Hafen	1500			Kasan	Rostov		
Hafen - Hafen	7465			Rostov	Hamburg		

Abb. 3-6: Ausschnitt aus der Verkehrsträgermatrix für Russland

3.1.3 Andere Länder

Die Einfuhren Deutschlands aus anderen Ländern, also aus Nicht-EU25-Staaten und nicht aus Russland, betrugen 37% im Jahr 2005. Davon wurde der überwiegende Anteil im Durchschnitt 85% (ohne Erdgas/Erdöl) per Hochseeschiff transportiert. Die Verkehrsträger Bahn, LKW und Binnenschiff spielten für diese Transporte eine untergeordnete Rolle. Eine Ausnahme liegt bei Erdgas vor, das zu 100% per Pipeline transportiert wurde. Interessanterweise erreichte der Flugzeugtransport in der Kategorie „Fahrzeuge, Maschinen, sonst. Halb- und Fertigwaren sowie besondere Transportgüter“ einen beachtlichen Anteil von 4%.

Die Bestimmung der Schiffstransporte erfolgte für alle bedeutenden Häfen von 235 Ländern und Inselgruppen, die mit Deutschland 2005 in einer Lieferbeziehung standen. Dabei wurden nicht nur direkte Transporte nach Deutschland (Hamburg) berücksichtigt sondern auch Anlandungen in Rotterdam, Antwerpen, LeHavre, Marseille und Genua, die per LKW, Bahn oder Binnenschiff nach Deutschland gelangten. Die Berechnung der Hafen-zu-Hafen-Entfernungen erfolgte über eine Online-Datenbank, die für alle wichtigen Häfen der Welt Distanzen beinhaltet (Distances 2007). Die Ergebnisse wurden wiederum stichprobenhaft mit nautischen Entfernungstabellen (Reed's 2004) überprüft. Für sehr viele Länder existieren aber mehrere Häfen, die z.T. auch sehr weit auseinander liegen (z.B. in USA, Südafrika oder Frankreich). Aus den unterschiedlichen Entfernungen eines Landes wurde das arithmetische Mittel gebildet, da für viele Länder eine Bestimmung gewichteter Mittewerte oder repräsentativer Häfen nicht möglich waren.

Innerhalb der Ursprungsländer sind Transporte von der Produktionsstätte der Güter bis zum Hafen per LKW, Bahn oder Binnenschiff vorgeschaltet. Die mittleren Distanzen hierfür wurden für Ballungszentren (häufig Hauptstädte) zu wichtigen Häfen der Länder abgeschätzt und als ergänzende Information in der Ergebnistabelle angegeben (s.a. Abb. 3-7). Sofern die Länder über keinen eigenen Hafenzugang verfügen, wurde die Entfernung zu dem nächstgelegenen großen Hafen in Nachbarländern ermittelt.

Staat	Durchschnittliche Entfernung zu den deutschen Grenzen in km		Durchschnittliche Entfernung im Land zum Hafen in km	Durchschnittliche Seeschiffahrtsentfernung in km					
	Flugdistanz	Pipeline		nach Hamburg	nach Rotterdam	nach Antwerpen	nach LeHavre	nach Marseille	nach Genua
Afghanistan	5 252		1 700	11 823	11 355	11 364	10 975	8 091	7 919
Ägypten	3 217		200	6 753	6 285	6 294	5 905	3 111	2 959
Albanien	1 489		40	5 360	4 891	4 900	4 511	1 548	1 376
Algerien	1 684	3 500	550	3 873	3 404	3 413	3 024	809	982
Amerikanische Jungferinseln	7 787		5	7 990	7 521	7 530	7 173	8 184	8 475
Amerikanische Überseeinseln, kleinere (ab 2001)	15 188		5	19 679	19 211	19 220	18 864	19 607	19 898
Amerikanisch-Samoa (ab 2001)	16 134		5	20 016	19 548	19 557	19 202	19 944	20 235
Andorra	1 098		210	3 943	3 474	3 484	3 095	360	690
Angola	6 866		100	9 729	9 261	9 270	8 881	8 535	8 826
Anguilla	7 787		5	7 990	7 521	7 530	7 173	8 184	8 475
Antarktis (ab 2001)	16 542		500	16 946	16 477	16 486	16 420	16 125	16 416
Antigua und Barbuda	7 787		5	7 990	7 521	7 530	7 173	8 184	8 475
Äquatorialguinea	5 277		50	8 767	8 299	8 308	7 919	7 582	7 873
Arabische Republik Syrien	2 876	2 800	125	6 711	6 243	6 252	5 863	2 953	2 781
Argentinien	12 014		150	12 828	12 388	12 404	11 964	11 793	12 083
Armenien (ab 05/92)	3 122		380	7 408	6 939	6 949	6 560	3 637	3 465
Aruba	7 787		5	7 990	7 521	7 530	7 173	8 184	8 475
Aserbaidschan (ab 05/92)	3 122		780	7 408	6 939	6 949	6 560	3 637	3 465
Äthiopien	5 474		920	9 079	8 610	8 619	8 230	5 347	5 174
Australien	15 086		400	20 217	19 755	19 765	19 377	16 660	16 488
Bahamas	7 744		50	7 869	7 467	7 477	7 121	8 188	8 478
Bahrain	4 576		30	12 308	11 840	11 849	11 460	8 577	8 404
Bangladesch	7 668		150	15 263	14 794	14 804	14 415	11 531	11 359
Barbados	7 479		5	7 602	7 134	7 143	6 788	7 245	7 536
Belarus (ab 05/92)	1 492		550	1 530	1 713	1 891	2 065	5 406	5 697
Belgien (ab 1999)	491		EU-Tabelle	702	225	88	407	3 750	4 040
Belize	9 133		20	9 316	8 927	8 936	8 580	9 679	9 969
Benin	5 017		10	8 097	7 628	7 638	7 249	6 912	7 202
Bermuda	6 315		5	6 386	5 954	5 963	5 608	6 688	6 978
Besetzte palästinensische Gebiete (ab 1995)	3 123		290	7 245	6 776	6 786	6 397	3 513	3 341
Bhutan	7 300		630	15 263	14 794	14 804	14 415	11 531	11 359
Bolivien	10 633		700	13 099	12 631	12 640	12 284	13 027	13 318
Bosnien und Herzegowina (ab 1993)	1 137		220	5 563	5 095	5 104	4 715	1 752	1 580
Botsuana	8 614		1 000	13 329	12 860	12 870	12 481	11 234	11 062
Bouvetinsel (ab 2001)	13 069		5	13 475	13 007	13 016	12 629	12 308	12 599
Brasilien	8 921		370	9 373	8 904	8 913	8 536	8 282	8 573
Britische Jungferinseln	7 787		5	7 990	7 521	7 530	7 173	8 184	8 475
Britisches Territorium im Indischen Ozean	8 262		5	13 140	12 671	12 681	12 292	9 408	9 236
Brunei Darussalam	10 854		10	17 031	16 562	16 572	16 183	13 299	13 127
Bulgarien	1 796		EU-Tabelle	6 570	6 102	6 111	5 722	2 800	2 627
Burkina Faso	4 419		960	7 797	7 328	7 338	6 949	6 599	6 889
Burundi	6 397		1 500	12 323	11 855	11 864	11 475	8 591	8 419
Ceuta (ab 1999)	2 037		5	2 997	2 528	2 537	2 148	1 278	1 569
Chile	12 339		200	14 013	13 566	13 581	13 247	13 854	14 144
Cookinseln (ab 2001)	16 134		5	20 016	19 548	19 557	19 202	19 944	20 235

Abb. 3-7: Ausschnitt aus der Entfernungstabelle für „Andere Länder“

Erdgas und Erdöl aus Nordafrika, Osteuropa und dem Nahen Osten werden überwiegend per Pipeline nach Deutschland geliefert. Die Pipelinelängen wurden, sofern keine Literaturwerte verfügbar waren, geografisch ermittelt. Pipelinearten wurden hierzu auf digitalen Karten grob ausgemessen (Diercke 2002) und die Distanzen auf zwei signifikante Stellen gerundet.

Für die Flugtransporte wurden i.d.R. die Hauptstädte der Länder als Ausgangspunkt und Frankfurt/Main als Zielflughafen gewählt. Über die Koordinaten und die große Kreisformel lassen sich die Distanzen für die Luftlinie zwischen diesen Punkten berechnen; durchschnittliche Umwege und zusätzliche Kerosinverbräuche für Start, Warteschleifen und Bewegungen auf dem Rollfeld wurden über einen Zuschlag von

125 km berücksichtigt. Dieser Wert wurde aus den Ergebnissen eines Forschungsberichts des DLR zu Flugverkehr abgeleitet (DLR 2000).

Der Verkehrsträgermix für die Gütergruppen (s.a. Kap. 3.1.1) wurde in zwei Bereiche unterteilt: Der Transportmodalmix im Ursprungsland und der Mix der Hauptrelation zwischen Ursprungsland und Deutschland. Der Verkehrsträgermix für die Hauptrelation basiert auf der Außenhandelsstatistik (Destatis 2007) ergänzt durch Angaben zu Pipelinetransporten nach "Verkehr in Zahlen" (DIW 2005). Die Unterscheidung von Gütertransporten per Eisenbahn in Bahntransporte mit Elektro- und Dieseltraktion erfolgte auf Basis des statistischen Jahrbuchs für das Ausland (Destatis 2006). Als Grundlage für den Mix innerhalb der Ursprungsländer kam die Statistik der IRF „World Road Statistics“ (2006) zum Einsatz, wobei kontinentspezifische Mixe bereitgestellt wurden. Ein Ausschnitt der Verkehrsträgermixe ist in Abb. 3-8 zu sehen.

Verkehrsart und Entfernung in km - andere Länder										
	land-, forstwirtschaftliche und verwandte Erzeugnisse ****			andere Nahrungs- und Futtermittel	feste mineral. Brennstoffe	Erdöl, Mineralölzeugnisse, Gase		Erze und Metallabfälle	Eisen, Stahl und NE-Metalle	Steine und Erden
	Erzeugnisse der Landwirtschaft , Jagd	Forstwirtschaft. Erzeugnisse und DL	Fische und Fischereierzeugnisse			Erdöl	Gase			
Verkehrsart - Hauptrelation (i.d.R. von Hafen Ursprungsland bis Grenze Deutschland)										
Eisenbahn	0.6%			1%	0%	5%	0%	1%	7%	0%
Elektrotraktion	0.5%			0.7%	0.1%	3.5%	0.0%	0.5%	4.8%	0.2%
Dieseltraktion	0.2%			0.3%	0.0%	1.3%	0.0%	0.2%	1.8%	0.1%
LKW	24%			12%	0%	6%	0%	2%	28%	13%
Binnenschiff	1%			1%	6%	14%	0%	2%	16%	9%
Hochseeschiff	73%			86%	93%	52%	0%	95%	49%	78%
Flugzeug	1%			0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Pipeline	0%			0%	0%	23%	100%	0%	0%	0%
für Erdöl						23%				
für Erdgas							100%			
Verkehrsart in Ursprungsland, Transport zum Hafen**										
Europa - Nicht-EU25										
Eisenbahn	48%			48%	48%	0%	0%	48%	48%	48%
Elektrotraktion	26%			26%	26%	0%	0%	26%	26%	26%
Dieseltraktion	23%			23%	23%	0%	0%	23%	23%	23%
LKW	38%			38%	38%	0%	0%	38%	38%	38%
Binnenschiff	13%			13%	13%	0%	0%	13%	13%	13%
Pipeline	0%			0%	0%	100%	100%	0%	0%	0%
für Erdöl						100%				
für Erdgas							100%			
Afrika										
Eisenbahn	78%			78%	78%	0%	0%	78%	78%	78%
Elektrotraktion	32%			32%	32%	0%	0%	32%	32%	32%
Dieseltraktion	46%			46%	46%	0%	0%	46%	46%	46%
LKW	20%			20%	20%	0%	0%	20%	20%	20%
Binnenschiff	2%			2%	2%	0%	0%	2%	2%	2%
Pipeline	0%			0%	0%	100%	100%	0%	0%	0%
für Erdöl						100%				
für Erdgas							100%			

Abb. 3-8: Ausschnitt aus der Verkehrsträgermatrix für „Andere Länder“

3.2 Energiekoeffizienten der Verkehrsträger

Mit Hilfe des am IFEU-Instituts entwickelten und in mehreren Institutionen der öffentlichen Hand (BMU/UBA, Bundesamt für Straßenwesen, etc.) und der Privatindustrie (Verband Deutscher Automobilindustrie, Deutsche Bahn AG, Lufthansa, etc.) verwendeten Standardmodells TREMOD (Transport Emission Modell) wurden die Energieverbräuche für die verschiedenen Verkehrsträger ermittelt. Es wird nach Energieträger unterschieden, so dass sowohl die direkten Energieverbräuche, als auch die primärseitig bewerteten Energiewerte in Energieeinheiten und Rohstoffäquivalenten als Masse (RME) ausgewertet werden können. Die Ergebnisse sind in dem Excelarbeitsblatt „Energieeinsatz“ dokumentiert und werden in Tab. 3-2 dargestellt.

Die Daten zu den direkten Energieverbräuchen sind auch ausführlicher in dem Grundlagenbericht des Forschungsprojektes EcoTransIT (2005) beschrieben, welches im Auftrag mehrerer europäischer Eisenbahnen erstellt wurde. Darüberhinaus wurden für den Pipeline- und Flugzeugtransport Ergebnisse aus Ecoinvent (2004) und Borken (1999) herangezogen.

Im Rahmen des Vorhabens wurde insbesondere der Energieverbrauch für Gaspipelines mehrfach diskutiert. Ein Abgleich mit anderen Datenquellen hat die Werte bestätigt. Die ungefähr 50% höheren Transportaufwendungen für Gas via Pipelines in Russland im Vergleich zu den anderen Ländern sind überwiegend auf niedrigere Wirkungsgrade der Gasturbinen der Verdichterstationen und z.T. auch auf Gasverluste zurückzuführen.

Die in Tab. 3-2 dargestellten Energieverbräuche berücksichtigen für Bahn, LKW und Schiff durchschnittliche Auslastungen der Fahrzeuge in Abhängigkeit von den Gütergruppen. Typische Leerfahrten sind in den Werten ebenfalls miteinbezogen. Unberücksichtigt bleiben aber bisher die zusätzlichen Verbräuche für eine evtl. Kühlung der Importwaren während der LKW-Transporte. Diese können über Zuschlagsfaktoren für den Dieselverbrauch (s.a. Tab. 3-1) abgeschätzt werden. Die Kühlung bei Hochseeschifftransporten – z.B. für Bananen – erfolgt i.d.R. über Kühlcontainer, die über Hilfsaggregate des Schiffes mit Strom versorgt werden. Der zusätzliche Energieaufwand hierfür ist in den Koeffizienten bereits enthalten.

Tab. 3-1: Zuschlagsfaktoren für LKW-Kühltransporte

Kühlzuschläge LKW:	
Massengüter	2%
Durchschnittliche Güter	4%
Voluminöse Güter	5%

Tab. 3-2: Energieeinsatz verschiedener Verkehrsarten für unterschiedliche Gütergruppen

Verkehrsart	Endenergie-träger	Direkter Energie-verbrauch nach Sekundärenergieträgern in J / tkm *	Energieverbrauch einschl. Vorkette nach Primärenergieträgern in J / tkm **	Energieverbrauch einschl. Vorkette nach Primärenergieträgern in t / tkm **	Bemerkung
Bahn					Durchschnittliche Werte für mittellange Züge (1000 t brutto) auf hügeligen Strecken.
Bahn Strom					
Massengüter	Strom	128 160	380 208	1,117E-05	hohe Packdichte bzw. hohes Flächengewicht
Durchschnittliche Güter		153 720	456 036	1,339E-05	mittlere Packdichte bzw. mittleres Flächengewicht
Voluminöse Güter		192 240	570 312	1,675E-05	geringe Packdichte bzw. geringes Flächengewicht
Bahn Diesel					
Massengüter	Diesel (Hu = 42,96 MJ/kg)	346 378	397 996	1,000E-05	hohe Packdichte bzw. hohes Flächengewicht
Durchschnittliche Güter		415 459	477 372	1,200E-05	mittlere Packdichte bzw. mittleres Flächengewicht
Voluminöse Güter		519 568	596 995	1,501E-05	geringe Packdichte bzw. geringes Flächengewicht
LKW					
1. Ländergruppe: Australien, USA, Kanada					Verwendung von durchschnittlich größeren Fahrzeugen als in Europa (Basis: LKW 60 t ZGG); moderne Fahrzeugflotte mit überwiegend Euro 2 und 3
Massengüter	Diesel (Hu = 42,96 MJ/kg)	678 004	779 041	1,958E-05	
Durchschnittliche Güter		749 955	861 715	2,166E-05	
Voluminöse Güter		1 148 851	1 320 055	3,318E-05	
2. Ländergruppe: Europa, Japan					Langstreckentransport mit großen LKWs (Basis: LKW 40 t ZGG); moderne Fahrzeugflotte mit überwiegend Euro 2 und 3
Massengüter	Diesel (Hu = 42,96 MJ/kg)	753 337	865 602	2,176E-05	
Durchschnittliche Güter		833 283	957 461	2,407E-05	
Voluminöse Güter		1 276 501	1 466 728	3,687E-05	
3. Ländergruppe: andere Länder					Verwendung von durchschnittlich kleineren Fahrzeugen als in Europa (Basis: LKW 28 t ZGG); ältere Fahrzeugflotte mit überwiegend Euro 1
Massengüter	Diesel (Hu = 42,96 MJ/kg)	1 029 986	1 183 477	2,975E-05	
Durchschnittliche Güter		1 205 313	1 384 931	3,481E-05	
Voluminöse Güter		2 036 223	2 339 666	5,881E-05	
Binnenschiff					
Massengüter	Diesel (Hu = 42,96 MJ/kg)	356 568	409 705	1,030E-05	hohe Packdichte bzw. hohes Flächengewicht; Transport flüssiger und trockener Massengüter: z.B. Öl, Kohle, Erze und Getreide
Durchschnittliche Güter		468 264	538 046	1,352E-05	mittlere Packdichte bzw. mittleres Flächengewicht
Voluminöse Güter		762 540	876 176	2,202E-05	geringe Packdichte bzw. geringes Flächengewicht
Pipeline					
Gase - Rußland	Erdgas (Hu = 36 MJ/m ³ , Dichte = 0,74 kg/m ³)	1 293 514	1 337 197	2,749E-05	Direkter Energieverbrauch beinhaltet 113 514 J/tkm Transportverluste
Gase - andere Länder		800 649	819 128	1,684E-05	Direkter Energieverbrauch beinhaltet 12 649 J/tkm Transportverluste
Öl	Strom	72 000	283 800	6,123E-06	Bei Ölpipelines lassen sich keine Unterschiede zwischen Russland und anderen Ländern ableiten
Flugzeug					
Langstrecke					Es werden i.d.R. nur leichte ("voluminöse") hochwertige Produkte transportiert
"Moderne Flotte"	Kerosin (Hu = 43,0 MJ/kg)	7 955 000	9 694 000	2,130E-04	Flüge > 4000 km
"Ältere Flotte"		10 879 000	13 257 200	2,912E-04	"moderne Flotte" durchschnittlich nicht älter als 10 Jahre (Annahme: Europa, Nordamerika, Australien, Hongkong, Vereinigte Arabische Emirate, Vietnam, Thailand, Singapur)
Kurz-/Mittelstrecke					Flüge ≤ 4000 km
"Moderne Flotte"		11 980 000	14 598 884	3,207E-04	"moderne Flotte" durchschnittlich nicht älter als 10 Jahre (Annahme: Europa, Nordamerika, Australien, Hongkong, Vereinigte Arabische Emirate, Vietnam, Thailand, Singapur)
"Ältere Flotte"		16 383 000	19 964 400	4,386E-04	"ältere Flotte" durchschnittlich älter als 10 Jahre (alle anderen Länder)
Fähren					
Massengüter	Diesel (Hu = 42,96 MJ/kg)	2 105 040	2 418 738	6,080E-05	hohe Packdichte bzw. hohes Flächengewicht
Durchschnittliche Güter		2 362 800	2 714 910	6,824E-05	mittlere Packdichte bzw. mittleres Flächengewicht
Voluminöse Güter		3 393 840	3 899 598	9,802E-05	geringe Packdichte bzw. geringes Flächengewicht
Hochseeschiff					
Massengüter	Schweröl (Bunker C, Hu = 40,582 MJ/kg)	81 164	92 344	2,167E-06	hohe Packdichte bzw. hohes Flächengewicht
Durchschnittliche Güter		162 328	184 688	4,335E-06	mittlere Packdichte bzw. mittleres Flächengewicht
Voluminöse Güter		284 074	323 204	7,586E-06	geringe Packdichte bzw. geringes Flächengewicht

Sofern die Im-/Exportmengen der Statistiken das Gewicht der Transportverpackung nicht berücksichtigen, sollten für Container-Transporte Gewichtszuschläge für die Transportverpackung berücksichtigt werden; dies betrifft insbesondere Schiff- und Bahntransporte. Die Zuschläge für Containertransporte sind ebenfalls EcoTransIT (2005) entnommen:

Tab. 3-3: Containerzuschläge

Containerzuschläge:	
Massengüter	7%
Durchschnittliche Güter	11%
Voluminöse Güter	23%

Auf Wunsch des Auftraggebers wurde zusätzlich eine Abschätzung für typische Packdichten und Transportverpackungen der Güter vorgenommen. Die Einstufung erfolgte für die Gütergruppen nach dem zweistelligen Güterverzeichnis für Produktionsstatistiken und orientiert sich an dem Flächengewicht bzw. an der Dichte der Güter. Die Bereiche für die Kategorien „Massengüter“, „Durchschnittliche Güter“ und „Voluminöse Güter“ sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

Tab. 3-4: Definition der Packdichte

Definition der Packdichte	Flächengewicht kg/m ²	Dichte* kg/m ³
Massengüter	> 800	> 500
Durchschnittliche Güter	350 - 800	230 - 500
Voluminöse Güter	< 350	< 230

* Stapelhöhe wird mit 1,6m angenommen

Die Einstufung hinsichtlich der Packdichte und Transportverpackung ist für einige Gruppen sehr schwierig, da sie inhomogen sind. Die Gruppe „Erzeugnisse der Landwirtschaft, Jagd“ enthält z.B. Melonen mit hoher Packdichte und andererseits Schnittblumen, die eine geringe Packdichte aufweisen und zusätzlich häufig gekühlt werden. Die Ergebnisse sind ebenfalls in dem Excel-Arbeitsblatt „Energieeinsatz“ dokumentiert und werden verkleinert in Tab. 3-5 gezeigt.

Tab. 3-5: Transporteinstufung der Güter nach Güterverzeichnis für Produktionsstatistiken

Transport-Einstufung der Güter (nach GP) insb. für Überseetransport			Bemerkung
	Packdichte	Transportverpackung	
Erzeugnisse der Landwirtschaft, Jagd	überwiegend mittel (gering - hoch)	häufig lose, z.T. in Kartons in Containern, teilweise gekühlt	Futtermittel (Soja, Raps), Getreide, Gemüse, Obst, Blumen
Forstwirtsch.Erzeugnisse und DL	hoch	meist gebündelt	
Fische und Fischereierzeugnisse	mittel	häufig Kühlcontainer	
Kohle, Torf	hoch	meist lose	
Erdöl, Erdgas	hoch	keine, Tanker	
Erze	hoch	meist lose	
Steine und Erden, sonstige Bergbauerzeugnisse	hoch	meist lose	
Nahrungs- und Futtermittel, Getränke	unterschiedlich, mittel	unterschiedlich, auch gekühlt	Sojaschrot als Schüttgut
Tabakerzeugnisse	gering	Container	
Textilien	unterschiedlich, mittel	Container	
Bekleidung	gering	Container	
Leder und Lederwaren	gering	Container	überwiegend Schuhe
Holz,Holzwaren (o.Möbel),Flecht- und Korbwaren	überwiegend hoch (mittel - hoch)	häufig gebündelt	viel Schnittholz
Papier,Karton,Pappe u.daraus hergestellte	überwiegend hoch	häufig (Spezial-)container	Zellulose und Papiere
Verlags-u.Druckerz.,besp.Ton-,Bild-u.Date	hoch	Container	Kataloge, Zeitungen, Bücher
Kokereierz.,Mineralölerz.,Spalt-und Bruts	hoch	keine, Tanker	Öle
Chemische Erzeugnisse	überwiegend hoch (mittel - hoch)	unterschiedlich, häufig in Containern	Düngemittel, Kunststoffe, chem. Grundstoffe
Gummi- und Kunststoffwaren	überwiegend mittel (gering - hoch)	unterschiedlich, häufig in Containern	Reifen, Kunststoffwaren
Glas, Keramik, bearbeitete Steine und Erden	hoch	z.T. in Containern	Zement, Kalk, Fliesen, Steinprodukte
Metalle und Halbzeug daraus	hoch	häufig ohne	Schrott, Bleche, Profile, Draht
Metallerzeugnisse	überwiegend hoch (mittel - hoch)	z.T. in Containern	sehr unterschiedlich von Stahlkonstruktionsteilen über Schrauben bis Schnelldruckkochtöpfen
Maschinen	überwiegend mittel (gering - hoch)	unterschiedlich, häufig in Containern	sehr unterschiedlich von Bagger über Heizwiderstände bis Kühlschränke
Büromasch.,Datenverarbeitungsgeräte u.-	gering	Container	Computer, Kopierer
Geräte der Elektrizitätserzeugung u.-verteilg	überwiegend mittel (gering - hoch)	unterschiedlich, häufig in Containern	E-Motoren, Akkus, Lampen, Leiterplatten
Nachrichtn.,Rundf.-u.Fernsehger.elektron	gering	Container	Fernseher, Radios, ...
Medizin-,meß-,regelungst.-Erz.,opt.Erz.,U	überwiegend gering (gering - mittel)	Container	Zahnarztstühle, Uhren, Brillen
Kraftwagen und Kraftwagenteile	gering	ohne	Pkw + Lkw und Teile
Sonstige Fahrzeuge (Schiffe,Luft-u.Raumf	überwiegend mittel (gering - hoch)	häufig ohne	Wasserfahrzeuge, Güterwägen, Motorräder
Möbel,Schmuck,Musikinstr.,Sportger.,Spie	überwiegend gering (gering - mittel)	Container	Möbel
Andere	mittel	Container	unbekannt

4 Ausblick

Die Ergänzung der Importgüter mit den Rohstoffäquivalenten ist geboten, um eine einheitliche Behandlung der im Inland entnommenen Rohstoffe mit den im Ausland entnommenen Rohstoffen und hergestellten Gütern zu gewährleisten. Das Vorgehen dazu wird in dem Bericht dargestellt.

Abschließend sollen einige Anmerkungen zu der Vorgehensweise und den zukünftigen Verbesserungsmöglichkeiten gemacht werden:

Auswahl der Importgüter:

- Der Fokus der Erarbeitung von Rohstoffäquivalenten lag auf Rohstoffen und Halbwerten. Für Fertigwaren wurde unterstellt, dass ihre Herstellung analog der Herstellung in Deutschland ist. Diese Annahme kann in erster Näherung akzeptiert werden. Im Einzelfall kann es allerdings zu großen Abweichungen kommen. Solange Auswertungen für die gesamte Volkswirtschaft oder große Teilbereiche davon gemacht werden, wird die Abweichung zur Realität als akzeptabel erachtet. Will man jedoch Untersuchungen mit einer stärkeren Disaggregation, so ist die Annahme zu überprüfen und ggf. eine erweiterte Güterliste mit Rohstoffäquivalenten zu hinterlegen.
Für einige Fertigwaren, z.B. aus dem Bereich der Informations- und Kommunikationstechnik ist auch davon auszugehen, dass keine Produktion in Deutschland existiert. Gleichzeitig kommen für diese Produkte seltene Metalle und aufwändige Verfahren zum Einsatz, die bei dem bisherigen Ansatz nicht berücksichtigt werden. Auch hier erscheint eine Ergänzung der Liste für die betroffenen Produkte sinnvoll.
- Die Ermittlung von Rohstoffäquivalenten der ausgesuchten Güter im Ausland erfolgt nach dem Prozesskettenansatz. Er ist damit unterschiedlich zu der Ermittlung der Materialeinsätze im Inland, die direkt aus der Materialflussanalyse der UGR ermittelt wird. Nun könnten sich alleine durch die unterschiedliche Erhebungsweise Unterschiede ergeben. Es wäre an geeigneten Beispielen zu überprüfen, dass solche erheblichen Unterschiede identifiziert werden und dann entweder die methodischen Festlegungen angepasst oder sonstige Abhilfe geschaffen werden.
- In vielen Fällen wurde zur pragmatischen Ermittlung des RME von Stoffen ein Repräsentant aus einer Warengruppe ausgewählt. Dabei wurde auf mengenbezogene Relevanz geachtet bzw. auf die vermuteten Eigenheiten bei der Gewinnung und Produktion des Gutes. Hier sollte mit einem Mengenkriterium und dem Blick auf verfügbare Daten und Informationen die Liste der Materialien erweitert werden.

Methodische Festlegungen zur RME Ermittlung:

- Die konsequente Verwendung der marktwertbezogenen Allokation bei der Berücksichtigung von Kuppel- und Nebenprodukten kann als der beste Weg eingestuft werden. Er sollte nicht nur für vergesellschaftete Metalle sondern gene-

rell zur Anwendung kommen. Dazu sind noch Konventionen notwendig wie z.B. das gleitende Mittel über zehn Jahre, das z.B. alle fünf Jahre aktualisiert wird (aus der Konvention ergibt sich ein mehr oder weniger großer Arbeitsaufwand). Im Vorhaben wurden für die Metalle 20-jährige Mittelwerte zwischen 1978 und 1998 gewählt, da diese für alle Metalle in dem Zeitraum konsistent verfügbar waren. Eine Überprüfung für einen aktuelleren Zeitraum wurde exemplarisch für Indium aus Blei-/Zinkerzen durchgeführt, wobei sich keine relevanten Veränderungen in den Preisverhältnissen der Metalle zueinander gezeigt haben.

- Eine klare Abgrenzung von Nebenprodukten zu Abfällen ist notwendig, da Abfälle per Konvention nicht mit Belastungen aus ihrem Vorleben versehen werden sollten. Allerdings ist der Prozessschritt zu definieren, bei dem ein Abfall seine Abfalleigenschaft verliert und ab diesem Zeitpunkt die Rohstoffäquivalente bzw. Umweltbelastungen zu bilanzieren sind. Die Abfalldefinition der Baseler Konvention ist dazu hilfreich.
- Bei dem bisherigen Ansatz der Prozesskettenanalyse wurden die Investitionsgüter (Infrastruktur) im Ausland zur Herstellung der Importwaren nicht berücksichtigt. Zukünftig sollte der Einfluss dieser Festlegung auf die Rohstoffäquivalentergebnisse überprüft und ggf. angepasst werden.
- Ausgehend von der Bedeutung einiger Rohstoffe und möglicherweise großen Produktionsunterschieden in verschiedenen Regionen der Welt (Bsp. Kupfer), sollte für manche mengenrelevanten Rohstoffe überprüft werden, ob eine Ermittlung der RME nach Weltregionen eine deutliche Verbesserung der Datenqualität bringt. Soweit z.B. der RME bei Metallen berechnet wird, kann dies z.B. durch unterschiedliche Metallgehalte in den angetroffenen Erzen bedingt sein.
- Der Umgang mit Wasser bedarf noch einer eingehenderen Festlegung von Konventionen, da verschiedene Güter (vor allen Dingen biotische) sehr unterschiedliche Wassergehalte besitzen können. Wasser zur Bewässerung und als Einsatzstoff zur Produktion wird nicht in den Rohstoffäquivalent mit aufgenommen.
- Das Eigengewicht biotischer Güter wurde beim RME mit berücksichtigt. Hier kann es zu Doppelzählungen kommen, wenn z.B. Nährstoffe als Düngemittel bereits als Input gezählt wurden. Bei der momentanen Genauigkeit der Berechnungen ist diese Vorgehensweise akzeptabel. Sollten vermehrt Einzelmaterialevaluierungen in Zukunft gemacht werden, so ist hier u.U. eine Korrektur per Abzug der eingebauten Nährstoffe notwendig. Der Nutzen dieser Vorgehensweise muss den Aufwand rechtfertigen.
- Der Umgang mit Wirtschaftsdünger ist auf Grund seiner mengenmäßigen Bedeutung weiter zu diskutieren und Konventionen dazu sind zu treffen.
- Die Aufteilung, nach welchen Rohstoffen der Rohstoffaufwand unterteilt wird, ist recht umfangreich. Im Zuge zukünftiger Erfahrungen sollte überprüft werden, ob diese Unterteilung hilfreich und zielführend für die gestellten Fragen ist. Hinzu kommt, dass manche Stoffe als Rohstoffe benannt sind, die u.U. bereits eine Verarbeitungsstufe hinter sich haben. Auch darauf hin sollte diese Liste auf Konsistenz überprüft werden.

Transporte:

- Für die ersten richtungssicheren Berechnungen ist die Herangehensweise für die Ermittlung der Transport-RMEs geeignet. Eine Verbesserung könnte erzielt werden, indem man für die wichtigsten Import- (und Export-)länder sukzessive Verbesserungen (z.B. Region statt Hauptstadt, Verkehrsträgermix evtl. mit nationalen Statistiken abgleichen) vornimmt. Kriterium könnten Import- und Exportmengen sein. Zu prüfen wäre, ob und welche Informationen vorliegen, um eine substantielle Verbesserung der momentanen Berechnungen zu erhalten.

5 Literatur

- Adelhardt & Antrekowitsch 1998: Adelhardt W. and Antrekowitsch H. (1998) Stoffmengenflüsse und Energiebedarf bei der Gewinnung ausgewählter mineralischer Rohstoffe; Teilstudie Chrom. In: Geologisches Jahrbuch, Vol. Sonderhefte SH 3. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.
- Adelhardt & Saiger 1999: Adelhardt W. and Saiger H. (1999) Stoffmengenflüsse und Energiebedarf bei der Gewinnung ausgewählter mineralischer Rohstoffe; Teilstudie Mangan. In: Geologisches Jahrbuch, Vol. Sonderhefte SH 8. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.
- Aders 2007: Samen Aders GmbH: Kulturhinweise. Düsseldorf. 2007. Download am 03.07.2007 von: www.samen-aders.de
- AEL 2003: Arbeitsgemeinschaft für Elektrizitätsanwendungen in der Landwirtschaft: Elektroenergiebedarf im Gartenbau. Merkblatt Nr. 35/2003. Frankfurt. 2003
- Agromil Cereali 2007: Der Reis. Download am 25.06.2007 von: <http://www.agromil.it/ger/cultura/index.asp>
- Albright & Haagensen 1997: Albright D. L. and Haagensen J. Ö. (1997) Life Cycle Inventory of Magnesium. In proceedings from: Magnesium Trends, Toronto, CA.
- AuGov 2007: Australian Government: Land, Water and Wool. Sydney, 2007. Download am 12.07.2007 von: www.landwaterwool.gov.au
- BGR 2006: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Hrg.): Bundesrepublik Deutschland, Rohstoffsituation 2005. Rohstoffwirtschaftliche Länderstudien Heft XXXIV. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, 2006.
- Borken, J., Patyk, A., Reinhardt, G. A. 1999. Basisdaten für ökologische Bilanzierungen, Vieweg, Braunschweig 1999.
- Bozen 2004: Autonome Provinz Bozen; Bergbauernberatung: Zucchini. Bozen, 2004. Download am 10.07.07 von: www.provinz.bz.it/landhauswbildung/01/sonderkulturen/download/Zucchini_2004.pdf
- BP Amoco 2001: BP Amoco (2001) BP Amoco statistical review of world energy june 2001. BP Amoco, London, retrieved from: www.bp.com/centres/energy/.
- Brush 2007: MATERIAL SAFETY DATA SHEET - NO. D01: Beryl ore. Brush Wellman Inc., Cleveland, Ohio, 2007.
- BWK 2005: Bremer Wollkämmerei AG: Umwelterklärung der Bremer Wollkämmerei 2005. Bremen. 2005. Download am 30.06.2007 von: www.bwk-bremen.de/bwk_internet/bwk_umwelt/pdf/umwelterkl05_d.pdf

- CIPM 2007: Center for Integrated Pest Management: Tobacco- Curing and Mechanization. North Carolina State University. 2007. Raleigh. Download am 18.07.2007 von: http://ipm.edu/production_guides/flue-cured/2007/contents.html
- CRI 2005: Coconut Research Institute of Sri Lanka: Comparison of coconut yields productivity 1995-2004. Lunuwila. 2005. Download am 04.07.2007 von: www.cri.lk/vital.stak.htm
- DEBInet 2007: Deutsches Ernährungsberatungs- und informationsnetz: Sultaninen. Freudenstadt. 2007. Download am: 27.11.07 von: www.ernaehrung.de/lebensmittel/de/F840211/sultaninen.php
- Destatis 2006: STATISTISCHES JAHRBUCH 2006 Für das Ausland. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2006.
- Destatis 2007: Außenhandel - Zusammenfassende Übersichten für den Außenhandel 2006. Fachserie 7 Reihe 1, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2007.
- Diercke 2002: Diercke Weltatlas. Aktualisierte Ausgabe mit digitalen Karten: Diercke Globus, Version 1.1, Westermann, Braunschweig, 2002.
- Dieckmann 2006: Michael Dieckmann: Costa Rica. Download am 31.07.2007 von: www.195-nord.s-cool.org
- DIW 2005: Verkehr in Zahlen 2005/2006. Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin, 2005.
- Distances 2007: World Ports Distances Calculator. Internet: <http://www.distances.com/>, Mai, 2007.
- DLR 2000: Datenbanken mit Emissionsprofilen von zivilen Jets, erstellt vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt im Rahmen der Studie „Maßnahmen zur verursacherbezogenen Schadstoffreduzierung des zivilen Flugverkehrs“, F + E – Vorhaben 105 06 085 im Auftrag des Umweltbundesamtes, TÜV-Rheinland, DIW, Wuppertal Institut für Umwelt, Klima, Energie. Stuttgart, 2000.
- Donaldson 2000: Donaldson J. D. (2000) Cobalt and Cobalt Compounds. In: Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Sixth Edition, June-2001 Electronic Release (ed. Häussinger P., Leitgeb P. and Schmücker B.), 6 th Electronic Release Edition. Wiley InterScience, New York
- DREAM 2006: Ardente et. al: POEMS- A Case Study of an Italian Wine-Producing Firm. Palermo, 2006. in: Environmental Management, Vol. 38, No 3, pp. 350-364
- Duke 1981: Duke, James: Cocos nucifera L. in: Handbook of Energy Crops. unpublished. 1981. Download am 04.07.2007 von: www.newcrop.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/cocos_nucifera
- EAA 2000: Environmental Profile Report for the European Aluminium Industry. European Aluminium Association (EAA), Brussels.

- Ecoinvent 2004: Life Cycle Inventories of Detergents. Ecoinvent Report No. 12. Dübendorf, Juli 2004.
- Ecoinvent 2004a: Ecoinvent Bericht Nr. 6: Sachbilanzen von Energiesystemen. Dübendorf, Juli 2004
- Ecoinvent 2004b: Ecoinvent report no. 7: Life Cycle Inventories of Building Products. Dübendorf July 2004
- Ecoinvent 2004c: Ecoinvent report no. 8: Life Cycle Inventories of Chemicals. Dübendorf. Juli 2004.
- Ecoinvent 2004d: Ecoinvent report no 10: Life Cycle Inventories of Metals. Dübendorf, Juli 2004
- Ecoinvent 2004e: Ecoinvent report no 11: Life Cycle Inventories of Packagings and Graphical Papers. Dübendorf, Juli 2004
- Ecoinvent 2004f: Ecoinvent report no. 15: Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems. Dübendorf, April 2004.
- EcoTransIT 2005: Knörr, W., Reuter, C.: Ecological Transport Information Tool – Environmental Methodology and Data; Update. IFEU, Heidelberg 2005.
- Ellison 1999: Ellison R. J., Larnimaa K. and Margary S. A. (1999) exposure profile: kerosines/jet fuels. Concawe Report 99/52. CONCAWE Petroleum Products Management Group by its special task force STF-14, Brussels, BE, retrieved from: www.concawe.be
- Enzazaden 2007: EnzaZaden Deutschland GmbH: Fruchtgemüse- Paprika. Dannstadt-Schauernheim. 2007. Download am: 06.07.2007 von: www.enzazaden.de/Tab_Paprika.htm
- Eurostat 2003: Energie Jährliche Statistiken, Daten 2001, Europäische Gemeinschaften, Luxemburg 2003
- Eurostat 2002: Energie Jährliche Statistiken, Daten 2001, Internetdownload: http://epp.eurostat.cec.eu.int/portal/page?_pageid=0,1136239,0_45571447&_dad=portal&_schema=PORTAL
- Faist Emmenegger et al., 2003: Faist Emmenegger M., Heck T. and Jungbluth N. (2003) Erdgas. In: Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz (Ed. Dones R.). Paul Scherrer Institut Villigen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH retrieved from: www.ecoinvent.ch.
- FAT 2005: Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik: FAT-Tarife 2006. Tänikon. 2005 in: Schweizerbauer: Download am 10.07.2007 von: media.schweizerbauer.ch/files/5392_fat-tarife_2006.pdf

- FAO 1999: Food and Agricultural Organization: Fertilizer use by crop and land. Download am 06.07.2007 von: <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/>
- FAO 2002: Food and Agricultural Organization of the United Nations: Coir Processing Technologies- Improvement of drying, softening, bleaching and dyeing coir fibre/yarn and printing coir floor coverings. Rom. 2002. Download am 04.07.2007 von: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/004/y3612E/y3612e00.pdf>
- FAO 2004: Food and Agricultural Organization: Statistical Yearbook 2004. Download am 12.07.2007 von: <ftp://ftp.fao.org>
- FAO 2005: Food and Agricultural Organization: Fertilizer use by crop in Egypt. Download am 06.07.2007 von: <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/>
- FSSS 2007: Freight shipments by public transport mode and Freight shipments by public transport mode. Download vom 11.05.07:
http://www.gks.ru/free_doc/2007/b07_12/17-01.htm und
http://www.gks.ru/free_doc/2007/b07_12/17-02.htm;
Federal State Statistics Service, Moskau, 2007.
- FNP 2000: Agrianual 2000 – Anuario da Agricultura Brasileira. Sao Paulo: Argos Comunicao.
- ForoEmaus 2007: Pesticides. Costa Rica. Download am 22.05.2007 von www.foroemaus.org
- Frischknecht 2003: Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Doka G., Dones R., Hellweg S., Hirschier R., Nemecek T., Rebitzer G. and Spielmann M. (2003) Overview and Methodology. Final report ecoinvent 2000 No. 1. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf
- GDV 2007: Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.: Transport- Informations-Service; Sultaninen. Berlin. Online am 09.07.2007: www.tis-gdv.de
- Giljum 1999: Giljum, Stephan: Der ökologische Fußabdruck des Bananenanbaus in Costa Rica: Ein Vergleich konventioneller und alternativer Produktionsmethoden. Diplomarbeit. Universität Wien. 1999.
- Greve 1993: Greve, Heinz-Herrmann: Natural Rubber in: Ullmanns Encyclopedia of Industrial Chemistry, Vol. A 23. VCH- Verlag, Weinheim. 1993.
- Gruber 2004: Gruber, Erich: Makromolekulare Chemie nachwachsender Rohstoffe- Pflanzenfasern. Vorlesungsunterlagen. Technische Universität Darmstadt. 2004. Download am 20.07.2007 von: www.cellulose-papier.chemie.tu-darmstadt.de
- Haack 2007: Haack, Jörn: Seide-Wissenswertes. Hamburg. 2007. Download am 22.05.2007 von: www.seide-info.de

- Häußermann 2002: Häußermann, Angelika: Einstreumaterialien in der Pferdehaltung in: Landtechnik1/2002.
- Havelaar 2005: Max Havelaar Stiftung: Kakao. Download am 18.07.2007 von: www.maxhavelaar.ch/de/medien_info/publikationen.php?publikation_id=18
- Hickman 2006: Hickmann: Mit Pestizid und Kinderarbeit in: The Guardian. Guardian Newspapers Limited. Download am 02.07.07 von: <http://greenpeace-magazin.de/spezial/hickman/index.php?id=19>
- Hilbrans & Hinrichs 1999: Hilbrans H. and Hinrichs W. (1999) Stoffmengenflüsse und Energiebedarf bei der Gewinnung ausgewählter mineralischer Rohstoffe; Teilstudie Nickel. In: Geologisches Jahrbuch, Vol. Sonderhefte SH 7. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.
- Hochfeld 1997: Hochfeld C. (1997) Bilanzierung der Umweltauswirkungen bei der Gewinnung von Platingruppen-Metallen für PKW-Abgaskatalysatoren. In: Werkstattreihe, Vol. 101. Öko-Institut, Freiburg i. Breisgau.
- IAC 1999: K.H. Büchel, H.H. Moretto, P. Woditsch (1999) Industrielle Anorganische Chemie. Weinheim; VCH, 1999.
- IEA 2005: Electricity Statistics, Daten 2002, Bezug von der Internetpräsenz: <http://www.iea.org/dbtw-wpd/Textbase/stats/electricityresult.asp>
- IFA 1992: World Fertilizer Use Manual. International Fertilizer Industry Association. Download am 15. 07.2007 von: www.fertilizer.org
- IFEU 2000: Ökobilanz graphischer Papiere. Berlin, Umweltbundesamt.
- IfoL 2000: Institut für organischen Landbau; Rheinische Friedrich-Wilhelm Universität: Ökobilanz der Apfelerzeugung in Hamburg. Bonn, 2000.
- IPCC 2001: Houghton J. T., Ding Y., Griggs D. J., Noguer M., van der Linden P. J. and Xiaosu D. (Eds.): IPCC Third Assessment Report: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2001.
- IPPC 2001a: IPPC (2001) Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC); Reference Document on Best Available Techniques in the Non Ferrous Metals Industries. Retrieved 15.01 from <http://www.jrc.es/pub/english.cgi/0/733169>.
- IPPC 2001b: IPPC (2001) Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC); Reference Document on Best Available Techniques for Mineral Oil and Gas Refineries. European Commission Directorate-general JRC, Joint Research Centre, Seville, Spain, retrieved from: <http://eippcb.jrc.es>.
- IPPC 2002: IPPC (2002) Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC); Draft Reference Document on Best Available Techniques for Management of Tailings and Waste-Rock in Mining Activities. Retrieved 15.01 from <http://www.jrc.es/pub/english.cgi/0/733169>.

IRF 2006: World Road Statistics 2006 – Data 1999 to 2004. INTERNATIONAL ROAD FEDERATION (IRF), Genf, 2006.

Isermeyer 2006: Isermeyer, Folkhard Agrarstandort Deutschland im Internationalen Vergleich . FAL Braunschweig/DLG. Download am 01.06.2007 von: download.dlg.org/pdf/wita2006/isermeyer06.pdf

Jungbluth 2000: Jungbluth, Nils: Umweltfolgen des Nahrungsmittelkonsums: Beurteilung von Produktmerkmalen auf Grundlage einer modularen Ökobilanz. Dissertation an der ETH Zürich, Februar 2000.

K+S 2001: K+S Aktiengesellschaft (2001) Umweltbericht 2001, K+S-Gruppe, 40p. Retrieved on January 10, 2003 from http://www.k-plus-s.com/pdf_de/2001/umweltbericht.pdf

Kaffeverband 2004: Deutscher Kaffeverband e.V. : Kaffeewissen 2004. Hamburg. 2004. Download am 21.05.2007 von: www.kaffeverband.de

Katalyse 2006: Katalyse-Institut für angewandte Umweltforschung: Jute. Köln. 2006. Download am: 03.06.2007 von: www.umweltlexikononline.de/fp/archiv/RUBlandwirtsrohstoffe/Jute.php

KTBL 2000: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft. Gartenbau: Technik im Gartenbau unter Glas. Arbeitsblatt. Darmstadt, 2000.

KTBL 2002: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft: Freilandgemüsebau: Daten zur Kalkulation der Arbeitswirtschaft und Deckungsbeiträge; KTBL-Datensammlung, 6.Auflage. Darmstadt 2002

KTBL 2002b: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft: Datensammlung Obstbau- Betriebswirtschaftliche und produktionstechnische Kalkulationsdaten. Darmstadt, 2002

KTBL 2005: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft: Faustzahlen für die Landwirtschaft. 13. Auflage. Darmstadt, 2005

KTBL 2006: Sauer et. al: Betriebsplanung Landwirtschaft 2006/2007. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft. Darmstadt, 2006.

Künninger 2001: Künninger T., Werner F. and Richter K. (2001) Ökologische Bewertung von Kies, Zement und Beton in der Schweiz. Schweizerische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA), Dübendorf.

Levin 1993: Levin B. (1993) CO2-Emissionen von Energiesystemen zur Stromerzeugung unter Berücksichtigung der Energiewandlungsketten. Dissertation TU Berlin.

LfL 2005: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft: Agrarmärkte 2004: Kartoffeln. Download am 24.07.2007. <http://www.lfl.bayern.de/iem/agrarmarktpolitik/11339>

- LH Hannover 2006: Landeshauptstadt Hannover; Schulbiologiezentrum: Der Kultur-Champignon- Nur ein Pilz unter vielen anderen. Hannover, 2006. Download am 2.7.2007 von: <http://www.foerderverein-schulbiologiezentrum.de>
- Lodewijkx 2001: Lodewijkx M., Blok H., Ingram V. and Willemse R. (2001) West Siberia Oil Industry: Environmental and Social Profile. IWACO Consultants for water and environment, Study commissioned by Greenpeace, Rotterdam.
- Lütke-Entrup/Oehmichen 2000: Lehrbuch des Pflanzenbaus; Band 2: Kulturpflanzen;; Verlag Th. Mann, Gelsenkirchen, 2000
- Map24 2007: Routenplaner im Internet: <http://www.de.map24.com/>, Mai, 2007.
- Maps.Google 2007: Routenplaner im Internet: <http://maps.google.de/maps>, Mai, 2007
- McKell 2007: McKell, Doug: No-Tillage in Canada. Persönliche Mitteilung am 27.07.2007 per E-Mail. Soil Conservation Council of Canada, Indian Research Farm.
- MLR 2005: Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum in Baden- Württemberg. Energieträger im Gartenbau. Stuttgart. 2005
- MMM 2007: Method Machine Works: Coconut Defibring Machine. Malaysia. 2007. Download am 24.05.2007 von: www.coconutmachine.com
- Mori & Adelhardt 1998: Mori G. and Adelhardt W. (1998) Stoffmengenflüsse und Energiebedarf bei der Gewinnung ausgewählter mineralischer Rohstoffe; Teilstudie Aluminium. In: Geologisches Jahrbuch, Vol. Sonderhefte SH 2. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.
- MyClimate 2006: Umweltaspekte im Blumenhandel. MyClimate. Wien. 2006
- Nova-Inst 1997: Nova-Institut: Hanf in Deutschland – 1997, das zweite Jahr. Umsetzung und Perspektiven und das Hanfproduktlinienprojekt, Zusammenfassung und Ausblick. 2.Auflage. Hürth.1997
- Ohly 2005: Ohly, M. (2005) Diplomkartierung: Einfluss der Phosphatdüngung auf den Urangehalt im Boden. TU Bergakademie Freiberg, unveröffentlicht, 96 p.
- Olesen 2003: Olesen, Erik und Nielsen, Per: Fishmeal and oil production. Download am 10.07.2007 von: www.lcafood.dk/processes/industry/fishmealproduction.html
- OLF 2001: OLF (2001) Emissions and discharges from the Norwegian Petroleum Industry 2000; prepared for OLF by Novatech a.s. Norwegian Oil Industry Association, Stavanger, re-trrieved from: www.olf.no, www.novatech.no.
- ÖKL 2005: Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung. Ermittlung des Treibstoffverbrauchs in der Land- und Forstwirtschaft. Download am 5.7.07 von www.oekl.at

- Ökolnst 2000: Öko-Institut e.V.: Anbau und Verarbeitung von Baumwolle; Dokumentation der GEMIS- Daten. Freiburg, 2000
- Ökolnst 2005: Umweltauswirkungen der Ernährung-Stoffstromanalysen und Szenarien; Öko-Institut, Freiburg, 2005
- ÖWAV 2003: Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband; Arbeitsbehelf 11: Empfehlungen für Bewässerungswasser. 2.Auflage. Wien, 2003.
- Patyk 1997: Patyk A., Reinhardt G. (1997): Düngemittel- Energie- und Stoffstrombilanzen. Braunschweig/Wiesbaden; Vieweg, 1997.
- Pipitone 2007: Pipitone: Cocoa Yield. International Cocoa Organization. London. 2007. Persönliche Mitteilung per E-Mail.
- Rahaman 1994: Rahaman, Wan Abdul: Natural Rubber as a green commodity in: Rubber Developments. Vol.47 No ½. 1994.
- Reed's 2004: Reed's Marine Distance Tables. A & C Black, London, 2004.
- Reiter 2007: Reiter, Reinhard: Moderne Alleinfuttermittel für Fische. Institut für Fischerei Starnberg; Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. Download am 05.06.2007 von:
www.lfl-neu.bayern.de/ifi/forellenteichwirtschaft/12888/linkurl_0_2.pdf
- Roth 1999: Roth W., Atmaca T. and Mori G. (1999) Stoffmengenflüsse und Energiebedarf bei der Gewinnung ausgewählter mineralischer Rohstoffe; Teilstudie Eisen. In: Geologisches Jahrbuch, Vol. Sonderhefte SH 6. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.
- Routschka & Granitzki, 1997: Routschka G. and Granitzki K.-E. (1997) Refractory ceramics. In: Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry (ed. Anonymous). 5th edition on CD-ROM Edition. Wiley & Sons, London.
- Schmidt 1981: Schmidt K.-H., Romey I. (1981): "Kohle - Erdöl - Erdgas; Chemie und Technik", Würzburg 1981
- Sebenik 1997: Sebenik R. F., Burkin A. R. and Dorfler R. R. (1997) Molybdenum and Molybdenum Compounds. In: Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry (ed. Anonymous). 5th edition on CD-ROM Edition. Wiley & Sons, London
- Spinnhütte 2007: Plauener Spinnhütte GmbH: Seidenlexikon. Plauen. 2007. Download am 22.05.2007 von: www.spinnhuetten.de
- Sutherland 1997: Sutherland C. A., Milner E. F., Kerby R. C., Teindl H. and Melin A. (1997) Lead. In: Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry (ed. Anonymous). 5th edition on CD-ROM Edition. Wiley & Sons, London.

- Treppens 2007: Treppens, A.: Samen- Katalog 2007. Berlin. 2007. Download am: 04.07.2007 von: [/www.treppens.de/pdf/Katalog.pdf](http://www.treppens.de/pdf/Katalog.pdf)
- Tyedmers 2004: Tyedmers, Peter: Fisheries and Energy Use in: Encyclopedia of Energy, Volume 2, Elsevier, 2004
- UBA 2002: Nachhaltige Nahrungsmittelproduktion: Szenarien und Prognosen bis 2030 - Handlungsbedarf und Langfriststrategien für die Umweltpolitik. Umweltbundesamt, Berlin.
- Ulmer 2003: Verlag Eugen Ulmer: Bedeutung und Entwicklung der Schafhaltung im Weltmaßstab und in ausgewählten Ländern. Stuttgart, 2003?. Download am 10.07.2007 von: www.ulmer.de/Vorlagen/Webapp/Cache/CMS/schafhaltung_8834.PDF
- Ullmann 1992: Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. 5 th Edition, Weinheim, 1992
- USDA 1998: Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus. Final Report, U.S. Department of Agriculture, U.S. Department of Energy.
- USDA-NASS 1998: 1998 Farm and Ranch Irrigation Survey. Census of Agriculture. <http://www.nass.usda.gov/census/census97/fris/fris.htm>, USDA – National Agricultural Statistics Service.
- USGS Ag 2005: MINERAL COMMODITY PROFILES – Silver. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, 2005.
- USGS Nb 2005: 2005 Minerals Yearbook – Columbium (Niobium) and Tantalum. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, 2005.
- USGS Sb 2004: MINERAL COMMODITY PROFILES – Antimony. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, 2004.
- UU, 2006: Universität Ulm: Arachis hypogaea L. Ulm. 2006. Download am 10.07.2007 von: www.biologie.uni-ulm.de/lehre/botanik/nutzpflanzen/taxa/arachis_hypogaea.html
- Vanitec 2007: Internet-Informationen zu Vorkommen und Produktion des Internationalen technischen Vanadium Ausschusses: www.vanitec.org, August 2007.
- Waßmuth 2004: Waßmuth, Ralf: Ansprüche von Rindern und Schafen an extensive Haltungsformen. Thüringische Landesanstalt für Landwirtschaft. Jena. 2004.
- Weiland 2007: Hartmetall und Hartmetallwerkzeuge auf und mit Welt-Niveau. Cerametal S.à.r.l., Luxemburg, Mamer, Download: August 2007: <http://www.aliai.lu/rt/rt19962/rt19962a.htm>

- Westphal 1993: Westphal G., Kristen G., Wegener W., Ambatiello P., Geyer H., Epron B., Bonal C., Seebode K. and Kowalski U. (1993) Sodium Chloride. In: Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Vol. A.24. VCH Publisher Inc.
- Wolff 1999: Wolff, P. und Th. M. Stein: Wassereinsparpotentiale der Bewässerungslandwirtschaft. In: Journal of Applied Irrigation Science.Vol.33. DLG-Verlagsgesellschaft. Frankfurt am Main. 1999. Download am 22.05.2007 von: www.vlirrigation.org/.../content/zfb/.../wolff_stein_water_saving_potential_irrigation_1999.pdf
- Young 1982: Young P., Gatzweiler R., Flöter W. (1982) Die Entwicklung der Uranerz-lagerstätte von Key- Lake/Saskatchewan, Kanada. In: Erzmetall 35 Nr.10 S.489-510.