

Jens Borke  
Andreas Patyk  
Guido A. Reinhardt

**Basisdaten für ökologische  
Bilanzierungen**

## Aus dem Programm

### Umweltwissenschaften

Martin Kaltschmitt/Guido A. Reinhardt

#### **Nachwachsende Energieträger**

Grundlagen, Verfahren, ökologische Bilanzierung

Andreas Patyk/ Guido A. Reinhardt

#### **Düngemittel – Energie- und Stoffstrombilanzen**

Mario Schmidt/ Ulrich Höpfner

#### **20 Jahre ifeu-Institut**

Engagement für die Umwelt  
zwischen Wissenschaft und Politik

Klaus Heinloth

#### **Die Energiefrage**

Bedarf und Potentiale, Nutzen, Risiken und Kosten

Andreas Heintz/ Guido A. Reinhardt

#### **Chemie und Umwelt**

Egbert Boeker/ Riek van Grondelle

#### **Physik und Umwelt**

Frithjof Staß

#### **Photovoltaik**

Technik, Potentiale und Perspektiven der solaren  
Stromerzeugung

Jens Borken  
Andreas Patyk  
Guido A. Reinhardt

# **Basisdaten für ökologische Bilanzierungen**

**Einsatz von Nutzfahrzeugen  
in Transport, Landwirtschaft  
und Bergbau**



Jens Borken, Dr. Andreas Patyk, Dr. Guido A. Reinhardt  
ifeu-Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH  
Wilckensstraße 3  
69120 Heidelberg  
Tel.: 0 62 21-47 67-0  
<http://www.ifeu.de>

Das vorliegende Werk wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autoren und Verlag für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler keine Haftung. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Buch berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Warenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Alle Rechte vorbehalten

© Springer Fachmedien Wiesbaden 1999

Ursprünglich erschienen bei Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft 1999.



Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

<http://www.vieweg.de>

Konzeption und Layout des Umschlags: Ulrike Weigel, [www.CorporateDesignGroup.de](http://www.CorporateDesignGroup.de)  
Gedruckt auf Recyclingpapier

ISBN 978-3-322-91827-7 ISBN 978-3-322-91826-0 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-322-91826-0

# Vorwort

Keine Frage: Ökologisch relevante Daten zur Beschreibung von Prozessen recherchieren, validieren, abgleichen ist nicht nur ein wesentlicher Arbeitsschritt ökologischer Bewertungen, es macht als Teil der „Modellbildung“ auch Spaß – zumindest kann es das. Dem unterschiedlich empfundenen Vergnügen an diesen Tätigkeiten stehen andere Aspekte gegenüber: begrenzte Zeit- und Kostenrahmen konkreter Projekte oder auch die Vergleichbarkeit verschiedener Studien untereinander. Unter diesen Aspekten ist es mehr als nur wünschenswert, geradezu notwendig, für Prozesse, die in sehr ähnlicher Form in zahlreichen Prozeßketten bzw. entlang von „Lebenswegen“ von Produkten auftreten – und bei der ökologischen Bewertung oft ergebnisbestimmend sind (!) –, möglichst einheitlich definierte (Stichwort: Systemgrenze), dabei aber differenzierte und repräsentative Datensätze zu verwenden. Dazu kommt der Anspruch einer umfassenden Berücksichtigung relevanter Umweltkategorien (Stichwort: Schadstoffpalette) und die nachvollziehbare Dokumentation.

Mit diesem Buch versuchen wir einen Beitrag dazu zu leisten, diese Anforderungen zu erfüllen und für ökologische Bilanzierungen allgemein erfüllbar zu machen. Den Gegenstand bilden dabei Prozesse, mit denen wir uns seit einer Reihe von Jahren im Rahmen von Produkt-Ökobilanzen und anderen Studien zur ökologischen Bewertung beschäftigen: der Energieverbrauch und die Emissionen des Einsatzes von Nutzfahrzeugen in Gütertransport, Landwirtschaft und Bergbau. Insbesondere Gütertransporte liefern Beispiele für wichtige und in der Vergangenheit oft uneinheitlich und unzureichend behandelte Prozesse. Eine belastbare Modellierung des Einsatzes von Landmaschinen gewinnt mit der Diskussion um die ökologischen Vor- und Nachteile nachwachsender Rohstoffe und anderer landwirtschaftlicher Fragestellungen zusehends an Bedeutung. Bergbauprozesse schließlich spielen für die Lebenswege fast aller Produkte eine Rolle.

Ein Großteil des Zahlenmaterials wurde im Rahmen verschiedener Forschungs- und Förderprojekte erarbeitet. Insbesondere sind hier Teile des unter anderem vom Umweltbundesamt geförderten Projekts „Energieverbrauch und Schadstoffemissionen aus dem motorisierten Verkehr in Deutschland 1980 bis 2020“ und des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten Projekts „Ganzheitliche Bilanzierung nachwachsender Energieträger unter verschiedenen ökologischen Aspekten“ zusammengefaßt. Darauf aufbauende zusätzliche Arbeiten wurden durch den ifeu-Verein für Energie- und Umweltfragen e. V. Heidelberg gefördert. Die hier publizierten Basisdaten sind inzwischen in eine Datenbank zur ökologischen Bilanzierung integriert und damit elektronisch verfügbar.

Bereits an dieser Stelle möchten wir auf einige weitere inhaltliche Punkte hinweisen:

- Erstmals wird in diesem Buch eine Methode zur detaillierten Bilanzierung von Feldarbeiten ausführlich vorgestellt und an ausgewählten Beispielen illustriert.
- Die Emissionsfaktoren werden nach Ortsklassen differenziert abgeleitet. Hierdurch wird unseres Erachtens eine spätere Bewertung der Bilanzierungsergebnisse wesentlich erleichtert.

- Neben dem Einsatz von Dieselmotoren wird auch der Einsatz der Bioenergieträger Rapsöl und Rapsmethylester in LKW bzw. Ackerschleppern behandelt.
- Außer den direkten Verbräuchen und Emissionen der Nutzfahrzeuge werden auch die „kumulierten“ Daten, d. h. einschließlich der Bereitstellung der jeweiligen Energieträger, ausgewiesen.

Unser Ziel war, die Ableitung der einzelnen Daten möglichst ausführlich zu beschreiben und die zugrundeliegenden Primärdaten weitestgehend vollständig zu dokumentieren. Dabei haben wir uns eng an die Ökobilanz-Methodik gehalten. Die betrachteten Prozesse sind mit dem gleichen räumlichen, zeitlichen und sachlichen Bezug abgeleitet. Sofern zukünftige Änderungen vorhersehbar sind, werden Fortschreibungen durchgeführt bzw. Anleitungen dazu gegeben.

Unsere Leserinnen und Leser bitten wir, uns Fehler und auch Unklarheiten in Ableitungen, Berechnungen oder Literaturzitate erstens zu verzeihen und zweitens mitzuteilen; es droht ein Belegexemplar der zweiten Auflage.

Die Erstellung dieses Buches war – bei reiflicher Überlegung eigentlich nicht unerwartet – aufwendiger als optimistisch angenommen und wäre ohne direkte und indirekte Unterstützung unserer Umgebung kaum in dieser Form gelungen. Namentlich bedanken wir uns bei Wolfram Knörr für Berechnungen der Emissionsfaktoren für Straßentransporte mittels TREMOD und Mario Schmidt (beide IFEU) für seine Ausführungen zu speziellen Problemen bei der Bilanzierung von Gütertransporten und zur Integration der Daten in Umberto®. Auch Guido Zemanek sei herzlich gedankt für seine äußerst hilfreichen Anmerkungen bei der sorgfältigen Durchsicht des Manuskriptes. Und nicht zuletzt danken wir von ganzem Herzen auch unseren Freundinnen, Freunden und Familien. Leider konnten wir Zeitmangel und Defizite an Ausgeglichenheit nicht immer vermeiden.

Heidelberg, im März 1999

Jens Borken  
Andreas Patyk  
Guido A. Reinhardt

# Inhaltsverzeichnis (Übersicht)

## Teil I Allgemeine Grundlagen

- 1 Einleitung
- 2 Ökologische Bewertungsinstrumente
- 3 Primärdaten: Messung und Repräsentativität

## Teil II Ableitung der Basisdaten

- 4 Basisinformationen und Rahmenannahmen
- 5 Gütertransport
- 6 Landwirtschaft
- 7 Bergbau
- 8 Energiebereitstellung

## Teil III Anhang

- 9 Gütertransport
- 10 Landwirtschaft
- 11 Bergbau
- 12 Energiebereitstellung
- 13 Bereitstellung der Daten in einer Datenbank
- 14 Abkürzungen und Einheiten
- 15 Literatur

# Inhaltsverzeichnis

## Teil I Allgemeine Grundlagen

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Ökologische Bewertungsinstrumente .....</b>	<b>10</b>
2.1	Übersicht .....	10
2.2	Spezialfall Ökobilanz .....	13
2.2.1	Festlegung des Ziels und Untersuchungsrahmens.....	14
2.2.2	Sachbilanz .....	16
2.2.3	Wirkungsabschätzung .....	17
2.2.4	Auswertung .....	17
2.3	Exkurs: „Allgemeine Systemannahmen“ in Ökobilanzen .....	18
2.3.1	Funktionale Einheit/Bezugsgröße .....	18
2.3.2	Untersuchungsoptionen/Lebenswege .....	18
2.3.3	Systemgrenzen der Lebenswege .....	18
2.3.4	Geographische und zeitliche Systemgrenzen .....	20
2.4	Exkurs: „Auswahl der Wirkungskategorien und der zur Wirkungsabschätzung und Auswertung verwendeten Methoden“ in Ökobilanzen .....	21
2.4.1	Ressourcenverbrauch.....	22
2.4.2	Naturraumbeanspruchung .....	25
2.4.3	Treibhauseffekt.....	26
2.4.4	Ozonabbau .....	27
2.4.5	Versauerung.....	28
2.4.6	Eutrophierung.....	28
2.4.7	Human- und Ökotoxizität .....	29
2.4.8	Photosmog .....	30
2.4.9	Lärmbelastung .....	31
<b>3</b>	<b>Primärdaten: Messung und Repräsentativität .....</b>	<b>32</b>
3.1	Technische Einflußfaktoren .....	32
3.2	Test- und Realbetrieb .....	34

## Teil II Ableitung der Basisdaten

<b>4</b>	<b>Basisinformationen und Rahmenannahmen.....</b>	<b>39</b>
4.1	Festlegung des Ziels und Untersuchungsrahmens .....	39
4.1.1	Hintergrund des Buches .....	39
4.1.2	Ziel des Buches .....	40
4.1.3	Zielgruppen .....	40



4.1.4	Allgemeine Informationen über das Buch.....	41
4.1.5	Allgemeine Beschreibung der Untersuchungsobjekte .....	41
4.1.6	Allgemeine Systemannahmen .....	42
4.1.6.1	Funktionale Einheit .....	42
4.1.6.2	Untersuchungsoptionen/Lebenswege.....	42
4.1.6.3	Systemgrenzen der Lebenswege .....	42
4.1.6.4	Geographische Systemgrenzen .....	43
4.1.6.5	Zeitliche Systemgrenzen .....	43
4.1.7	Detaillierungsgrad .....	43
4.1.8	Auswahl der zur Wirkungsabschätzung verwendeten Kategorien.....	44
4.2	Festlegung der Bilanzierungsverfahren und -parameter .....	44
4.2.1	Räumliche Differenzierung nach Ortsklassen .....	45
4.2.2	Bilanzierte Parameter .....	49
4.2.2.1	Ressourcenverbrauch .....	49
4.2.2.2	Naturraumbeanspruchung .....	51
4.2.2.3	Treibhauseffekt .....	52
4.2.2.4	Ozonabbau.....	53
4.2.2.5	Versauerung .....	53
4.2.2.6	Eutrophierung.....	54
4.2.2.7	Human- und Ökotoxizität.....	54
4.2.2.8	Photosmog.....	56
4.2.2.9	Lärmbelastung.....	56
4.2.3	Zusammenfassung der Bilanzierungsparameter.....	56
4.3	Datenbasis und Datenqualität.....	57
4.3.1	Vorgehensweise in diesem Buch.....	58
4.3.2	Belastbarkeit der Basisdaten .....	58
<b>5</b>	<b>Gütertransport.....</b>	<b>60</b>
5.1	LKW.....	61
5.1.1	Grundlagen .....	61
5.1.2	Methodik .....	63
5.1.3	Kraftstoffverbrauch .....	64
5.1.4	Emissionen .....	65
5.1.5	Exkurs: Kraftstoffverbrauch und Emissionen im RME-Betrieb .....	69
5.1.6	Exkurs: Bilanzierung komplexer Gütertransporte.....	71
5.1.6.1	Unterschiedliche Auslastung.....	71
5.1.6.2	Rückfahrten und Beifracht .....	73
5.1.6.3	Alternative Zurechnung.....	75
5.2	Bahn .....	76
5.2.1	Energieeinsatz .....	77
5.2.2	Emissionen .....	79
5.3	Binnenschiffe .....	80
5.3.1	Treibstoffverbrauch.....	81
5.3.2	Emissionen .....	84

5.4	Seeschiffe .....	85
5.4.1	Treibstoffverbrauch .....	86
5.4.2	Emissionen .....	87
5.5	Flugzeuge .....	89
5.5.1	Treibstoffverbrauch .....	89
5.5.2	Emissionen .....	91
5.6	Pipelines .....	93
<b>6</b>	<b>Landwirtschaft.....</b>	<b>95</b>
6.1	Kraftstoffverbrauch .....	96
6.1.1	Differenzierung nach Maschinenklassen.....	96
6.1.2	Differenzierung nach Art der Feldarbeit bzw. Lastpunkten.....	97
6.1.3	Kraftstoffverbrauch von Landmaschinen .....	100
6.1.3.1	Schlepper.....	100
6.1.3.2	Erntemaschinen .....	103
6.2	Emissionen .....	104
6.3	Exkurs: Kraftstoffverbrauch und Emissionen im Rapsöl- und RME-Betrieb .....	107
6.4	Arbeitszeiten .....	110
6.5	Anwendungshinweise, Beispiele und Diskussion.....	114
6.5.1	Anwendung .....	115
6.5.2	Beispiele: Anbau von Raps, Winterweizen, Zuckerrübe und Kartoffel... ..	116
6.5.3	Diskussion .....	119
<b>7</b>	<b>Bergbau.....</b>	<b>122</b>
7.1	Datengrundlage .....	123
7.2	Kraftstoffverbrauch .....	127
7.3	Emissionen .....	128
7.4	Zusammenführung .....	129
<b>8</b>	<b>Energiebereitstellung.....</b>	<b>131</b>
8.1	Energieträger auf Erdölbasis .....	131
8.1.1	Rohölbereitstellung .....	132
8.1.2	Raffinerieprozeß.....	134
8.1.3	Distribution.....	139
8.1.4	Zusammenführung.....	140
8.2	Energieträger auf pflanzlicher Basis: Rapsöl und RME .....	142
8.2.1	Produktion von Rapssaat .....	144
8.2.1.1	Landwirtschaftliche Produktion von Rapssaat .....	145
8.2.1.2	Gutschrift: Referenznutzung der Anbaufläche.....	146
8.2.2	Rapsöl.....	146
8.2.2.1	Dezentrale Ölgewinnung.....	146

8.2.2.2	Gutschriften .....	147
8.2.2.3	Zusammenführung .....	148
8.2.3	RME .....	148
8.2.3.1	Zentrale Ölgewinnung .....	148
8.2.3.2	Raffination und Umesterung .....	148
8.2.3.3	Gutschriften .....	149
8.2.3.4	Zusammenführung .....	150
8.3	Stein- und Braunkohle .....	152
8.4	Erdgas .....	155
8.5	Uran .....	158
8.6	Strom .....	159
8.6.1	Energieeinsatz .....	159
8.6.2	Emissionen .....	160
8.6.3	Zusammenführung .....	160

### Teil III Anhang

<b>9</b>	<b>Gütertransport .....</b>	<b>165</b>
9.1	LKW: Kumulierte Daten und Emissionsfaktoren 2000 .....	166
9.2	Bahn: Kumulierte Daten .....	173
9.3	Binnenschiffe: Kumulierte Daten .....	176
9.4	Seeschiffe: Kumulierte Daten .....	177
9.5	Flugzeuge: Kumulierte Daten .....	179
9.6	Pipelines: Kumulierte Daten .....	180
<b>10</b>	<b>Landwirtschaft .....</b>	<b>181</b>
10.1	Kumulierte Daten im Diesel-, Rapsöl- und RME-Betrieb .....	181
10.2	Anbaubeispiele: Differenzierungen und kumulierte Daten .....	183
<b>11</b>	<b>Bergbau .....</b>	<b>185</b>
<b>12</b>	<b>Energiebereitstellung .....</b>	<b>188</b>
12.1	Energieträger auf Erdölbasis: Bezugsjahr 2000 .....	188
12.2	Strom: Bezugsjahr 2000 .....	189
12.3	Emissionsfaktoren für Kesselfeuerungen .....	190
12.4	Emissionsfaktoren für Kraftwerke .....	192
12.5	Rapsöl und RME: Detailbilanz und Bereitstellung 2000 .....	194
12.6	Heizwerte und Dichten von Energieträgern .....	203

---

<b>13</b>	<b>Bereitstellung der Daten in einer Datenbank.....</b>	<b>205</b>
13.1	Anforderungen an Bilanzierungssoftware.....	205
13.2	Die Bilanzierungssoftware Umberto® .....	206
13.3	Transportprozesse in Umberto® .....	209
<b>14</b>	<b>Abkürzungen und Einheiten.....</b>	<b>212</b>
<b>15</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>213</b>