



Martin Kaltschmitt  
Liselotte Schebek *Hrsg.*

# Umweltbewertung für Ingenieure

Methoden und Verfahren

 Springer Vieweg



Martin Kaltschmitt  
Liselotte Schebek *Hrsg.*

# Umweltbewertung für Ingenieure

Methoden und Verfahren

 Springer Vieweg

---

# Umweltbewertung für Ingenieure

---

Martin Kaltschmitt · Liselotte Schebek  
Herausgeber

# Umweltbewertung für Ingenieure

Methoden und Verfahren

 Springer Vieweg

*Herausgeber*

Prof. Dr.-Ing. Martin Kaltschmitt  
Institut für Umwelttechnik und  
Energiewirtschaft (IUE)  
Technische Universität Hamburg-Harburg  
(TUHH)  
Hamburg, Deutschland

Prof. Dr. rer. nat. Liselotte Schebek  
Fachgebiet Stoffstrommanagement und  
Ressourcenwirtschaft, Institut IWAR  
Technische Universität Darmstadt (TUDa)  
Darmstadt, Deutschland

ISBN 978-3-642-36988-9  
DOI 10.1007/978-3-642-36989-6

ISBN 978-3-642-36989-6 (eBook)

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2015

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Springer Vieweg ist eine Marke von Springer DE. Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media

[www.springer-vieweg.de](http://www.springer-vieweg.de)

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Autorenverzeichnis</b> .....	XI
<b>1 Einleitung</b> .....	1
Martin Kaltschmitt und Liselotte Schebek	
1.1 Begriffsdefinitionen .....	4
1.2 Entstehung von Umweltproblemen .....	7
1.3 Herausforderungen für Umweltbewertungsmethoden .....	10
1.4 Ziel .....	12
Literatur .....	14
<b>2 Anthropogene Umweltwirkungen</b> .....	15
Liselotte Schebek, Karoline Wowra, Wolfgang Ahlf und Alexander Scheffler	
2.1 Umweltwirkungen und Umweltprobleme .....	15
2.1.1 Indikatorensysteme .....	18
2.1.2 Umwelt-Bestandsaufnahmen .....	20
2.2 Ausgewählte Umweltprobleme .....	22
2.2.1 Klimawandel .....	22
2.2.2 Wasser .....	27
2.2.3 Landnutzungswandel .....	31
2.2.4 Biodiversität .....	33
2.2.5 Umweltchemikalien .....	35
2.2.6 Luftbelastung .....	36
2.2.7 Nährstoffeinträge .....	37
Literatur .....	39
<b>3 Elemente von Umweltbewertungsmethoden</b> .....	43
Christiane Brockmann, Bernd Hansjürgens, Christian Hickel, Wilfried Kühling, Uwe Lahl, Hans Joachim Linke, Alfred Nordmann, Rüdiger Schaldach und Liselotte Schebek	
3.1 Ziel-, Objekt- und Rahmendefinition .....	46
3.2 Analyse und Bewertung .....	47

3.3	Mess- und Analyseverfahren	57
3.3.1	Auswahl	57
3.3.2	Ablauf	58
3.3.3	Interpretation	60
3.4	Geoinformationssysteme für raumbezogene Umweltanalysen	63
3.4.1	Grundlagen	64
3.4.2	Geoobjekte	68
3.4.3	Datenmodell, Datenbankmodell und Datenbank	72
3.4.4	Datenquellen und Erfassungsmethoden	75
3.4.5	Analysefunktionalitäten	77
3.4.6	Präsentationsfunktionalitäten	77
3.5	Systeme und Modelle	78
3.5.1	Systembegriff	78
3.5.2	Modellbegriff und Modelltypen	80
3.5.3	Modellbildung	84
3.5.4	Modellanwendung	88
3.6	Ökologische Bewertungsansätze	94
3.6.1	Bewertungsdilemma	96
3.6.2	Schutzgüter	98
3.6.3	Schutzkonzepte	99
3.6.4	Indikatoren und Belastungsgrenzen nach dem Wirkungsmodell	104
3.6.5	Umweltqualitätsziele	109
3.6.6	Beispiel: Beurteilung der Luftqualität für das Schutzgut Mensch	113
3.6.7	Lösungsbeitrag: Verfahren zur Standardsetzung	124
3.7	Ökonomische und soziale Bewertungsansätze	127
3.7.1	Ökonomische Bewertungsansätze	128
3.7.2	Soziale Bewertungsansätze	137
3.7.3	Verfahren der Entscheidungsunterstützung	138
3.7.4	Fazit	145
3.8	Grundsätze von Umweltpolitik und Umweltrecht	146
3.8.1	Internationale Ebene	147
3.8.2	EU-Ebene	150
3.8.3	Nationale Ebene	151
3.8.4	Beispiele	154
	Literatur	164
<b>4</b>	<b>Risikoabschätzung für chemische Stoffe</b>	<b>173</b>
	Martin Führ und Silke Kleihauer	
4.1	Stoffbezogene Risikoregulierung	177
4.1.1	Stoffrecht	178
4.1.2	Herausforderung und Ziele von REACH	181
4.2	Risikoabschätzung nach REACH	182

4.2.1	Stoffe mit und ohne Schwellenwert	182
4.2.2	Stoffsicherheitsbeurteilung	182
4.2.3	Ermittlung schädlicher Wirkungen	184
4.2.4	Beispiel: PNEC-Werte für Tetrachlorethylen	190
4.2.5	Risikobeschreibung	195
4.2.6	Rechtsfolgen	197
4.3	Stoffwirkungen jenseits des Standardverfahrens	197
4.4	Kernelemente der Risikoabschätzung	198
4.5	Würdigung	199
	Literatur	199
<b>5</b>	<b>Lebenszyklusanalysen</b>	<b>203</b>
	Laura Ausberg, Andreas Ciroth, Silke Feifel, Juliane Franze, Martin Kaltschmitt, Inga Klemmayer, Kirsten Meyer, Peter Saling, Liselotte Schebek, Jana Weinberg und Christina Wulf	
5.1	Methodik	205
5.1.1	„Klassische“ Ökobilanzen	212
5.1.1.1	Definition von Ziel, Objekt und Untersuchungsrahmen	213
5.1.1.2	Sachbilanz	215
5.1.1.3	Wirkungsabschätzung	223
5.1.1.4	Auswertung	230
5.1.2	Spezialformen	233
5.1.2.1	Carbon Footprint	234
5.1.2.2	Water Footprint	238
5.1.2.3	Kumulierter fossiler Energieaufwand (KEA)	246
5.1.3	Social LCA	249
5.1.3.1	Methodik	249
5.1.3.2	Einordnung	251
5.1.3.3	Kritische Würdigung	257
5.1.4	Bewertung von mehr als einer Nachhaltigkeitsdimension	260
5.1.4.1	Ökoeffizienz-Analyse	261
5.1.4.2	SEEBALANCE	263
5.2	Beispiele	268
5.2.1	Ökobilanzen einer Wärmebereitstellung für Wohngebäude	268
5.2.2	Ökobilanz leichter Holzwerkstoffplatten	284
5.2.3	Water Footprint der Palmölproduktion	293
5.2.4	SEEBALANCE für 4-Methoxyacetophenol	300
	Literatur	306
<b>6</b>	<b>Umweltverträglichkeitsprüfung</b>	<b>315</b>
	Kerstin Kuchta und Wilfried Kühling	
6.1	Ablauf einer UVP	318

6.2	Bewertung einer „wirksamen Umweltvorsorge“ nach UVP-Gesetz . . . . .	321
6.2.1	Prüfmaßstäbe und rechtlicher Rahmen . . . . .	323
6.2.2	Unterschied zwischen Bewertung und Entscheidung . . . . .	324
6.3	Prüfungsgefüge bei gebundenen Entscheidungen . . . . .	325
6.3.1	Der Prüfungsgegenstand . . . . .	327
6.3.2	Der Untersuchungsgegenstand . . . . .	330
6.3.3	Zusammenfassende Darstellung als Bewertungsgegenstand . . . . .	332
6.3.4	Entscheidungsvorbereitung . . . . .	333
6.3.5	Bewertung im Genehmigungsverfahren nach BImSchG (Träger- verfahren) . . . . .	336
6.3.6	Notwendigkeit UVP-konformer Bewertungsstandards . . . . .	337
6.4	Umweltbewertung in der räumlichen Planung . . . . .	337
6.4.1	Räumliche Gesamtplanung . . . . .	337
6.4.2	Räumliche Umwelt-Fachplanungdefault]Umwelt-Fachplanung . . . . .	339
6.4.3	Abwägung . . . . .	340
6.5	Beispiel für eine UVU . . . . .	340
6.5.1	Anlagendaten . . . . .	342
6.5.2	Standort-, Anlagen- und Verfahrensbeschreibungen . . . . .	342
6.5.3	Beurteilung der Emissionssituation . . . . .	343
6.5.4	Immissionsvorbelastungsmessungen im Untersuchungsraum . . . . .	343
6.5.5	Ermittlung und Beschreibung der Umweltauswirkungen . . . . .	347
6.5.6	Schutzgut Tiere, Pflanzen, Biotope und biologische Vielfalt . . . . .	351
6.5.7	Schwierigkeiten bei der Zusammenstellung der Angaben . . . . .	355
6.5.8	Zusammenfassende Bewertung des Vorhabens . . . . .	355
	Literatur . . . . .	357
<b>7</b>	<b>Umweltmanagementsysteme . . . . .</b>	<b>359</b>
	Anette von Ahsen, Udo Bradersen, André Loske und Susanne Marczian	
7.1	Grundlagen . . . . .	360
7.1.1	Historische Entwicklung . . . . .	361
7.1.2	Normen und Verordnungen . . . . .	365
7.1.3	Strategisches Umweltmanagement . . . . .	370
7.1.4	Planungs- und Kontrollinstrumente . . . . .	372
7.1.5	Umweltreporting . . . . .	380
7.1.6	Mehrdimensionales Management . . . . .	383
7.2	Fallstudien . . . . .	388
7.2.1	Umweltmanagement bei Ford . . . . .	388
7.2.2	Umweltmanagement beim Hamburger Flughafen . . . . .	393
7.2.3	Umweltmanagement bei der BMW Group . . . . .	397
	Literatur . . . . .	399

---

<b>8</b>	<b>Technikfolgenabschätzung</b> .....	403
	Michael Decker und Jens Schippl	
8.1	Methodik .....	404
8.1.1	TA als „gelingende Praxis“ .....	406
8.1.2	Der TA-Prozess .....	408
8.1.3	Ausblick .....	413
8.2	Fallbeispiele .....	414
8.2.1	MyCopter-Projekt .....	414
8.2.2	Roadmap Umwelttechnologien 2020 .....	422
	Literatur .....	434
<b>9</b>	<b>Systematisierung der Methodenvielfalt</b> .....	439
	Liselotte Schebek und Martin Kaltschmitt	
9.1	Gruppierung nach Eigenschaften .....	443
9.2	Gruppierung nach Anwendungskontexten .....	446
9.3	Fazit .....	447
	Literatur .....	449
	<b>Sachverzeichnis</b> .....	451

---

## Autorenverzeichnis

**PD Dr. Wolfgang Ahlf** Technische Universität Hamburg-Harburg (TUHH), Institut für Umwelttechnik und Energiewirtschaft (IUE), Hamburg, Deutschland

**Dipl.-Ing. Laura Ausberg** Ökopol GmbH, Hamburg, Deutschland

**Dipl.-Biol. Udo Bradersen** Flughafen Hamburg GmbH, Zentralbereich Umwelt, Hamburg, Deutschland

**Dr. Christiane Brockmann** Technische Universität Darmstadt (TUDa), Fachgebiet Stoffstrommanagement und Ressourcenwirtschaft, Institut IWAR, Darmstadt, Deutschland

**Dr.-Ing. Andreas Ciroth** GreenDelta GmbH, Berlin, Deutschland

**Prof. Dr. Michael Decker** Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS), Karlsruhe, Deutschland

**Dipl.-Ing. (FH), MSc Silke Feifel** Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS), Karlsruhe, Deutschland

**Dipl.-Ök. Juliane Franze** GreenDelta GmbH, Berlin, Deutschland

**Prof. Dr. Martin Führ** Hochschule Darmstadt, Studienbereich Sozial- und Kulturwissenschaften, Sonderforschungsgruppe Institutionenanalyse (sofia), Darmstadt, Deutschland

**Prof. Dr. Bernd Hansjürgens** Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ), Department Ökonomie, Leipzig, Deutschland

**Dipl.-Ing. Christian Hickel** Technische Universität Darmstadt (TUDa), Fachgebiet Landmanagement, Geodätisches Institut, Darmstadt, Deutschland

**Prof. Dr.-Ing. Martin Kaltschmitt** Technische Universität Hamburg-Harburg (TUHH), Institut für Umwelttechnik und Energiewirtschaft (IUE), Hamburg, Deutschland

**Dr. Silke Kleihauer** Hochschule Darmstadt, Sonderforschungsgruppe Institutionenanalyse (sofia), Darmstadt, Deutschland

**MSc Inga Klemmayer** Technische Universität Hamburg-Harburg (TUHH), Institut für Wasserressourcen und Wasserversorgung, Hamburg, Deutschland

**Prof. Dr.-Ing. Kerstin Kuchta** Technische Universität Hamburg-Harburg (TUHH), Institut für Umwelttechnik und Energiewirtschaft (IUE), Hamburg, Deutschland

**Prof. Dr.-Ing. Wilfried Kühling** Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Geowissenschaften und Geographie, Halle, Deutschland

**Apl. Prof. Dr. habil. Uwe Lahl** Technische Universität Darmstadt (TUDa), Fachgebiet Stoffstrommanagement und Ressourcenwirtschaft, Institut IWAR, Darmstadt, Deutschland

**Prof. Dr.-Ing. Hans Joachim Linke** Technische Universität Darmstadt (TUDa), Fachgebiet Landmanagement, Geodätisches Institut, Darmstadt, Deutschland

**Dipl.-Wirtsch.-Inform. André Loske** Technische Universität Darmstadt (TUDa), Fachgebiet Wirtschaftsinformatik, Darmstadt, Deutschland

**Dipl.-Biol. Susanne Marczian** Ford-Werke GmbH, Environmental Coordination, Köln, Deutschland

**Dipl.-Ing. Kirsten Meyer** Technische Universität Hamburg-Harburg (TUHH), Institut für Umwelttechnik und Energiewirtschaft (IUE), Hamburg, Deutschland

**Prof. Dr. Alfred Nordmann** Technische Universität Darmstadt (TUDa), Institut für Philosophie, Darmstadt, Deutschland

**Dr. Peter Saling** BASF SE, Ludwigshafen, Deutschland

**PD Dr.-Ing. Rüdiger Schaldach** Universität Kassel, Center for Environmental Systems Research, Kassel, Deutschland

**Prof. Dr. Liselotte Schebek** Technische Universität Darmstadt (TUDa), Fachgebiet Stoffstrommanagement und Ressourcenwirtschaft, Institut IWAR, Darmstadt, Deutschland

**Dipl.-Geograph Alexander Scheffler** Technische Universität Hamburg-Harburg (TUHH), Institut für Umwelttechnik und Energiewirtschaft (IUE), Hamburg, Deutschland

**Dipl.-Geograph Jens Schippel** Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS), Karlsruhe, Deutschland

**Prof. Dr. Anette von Ahsen** Technische Universität Darmstadt (TUDa), Fachgebiet Rechnungswesen, Controlling und Wirtschaftsprüfung, Darmstadt, Deutschland

**Dr.-Ing. Jana Weinberg** Technische Universität Hamburg-Harburg (TUHH), Institut für Umwelttechnik und Energiewirtschaft (IUE), Hamburg, Deutschland

**Dipl.-Ing. agr. Karoline Wowra** Technische Universität Darmstadt (TUDa), Fachgebiet Stoffstrommanagement und Ressourcenwirtschaft, Institut IWAR, Darmstadt, Deutschland

**Dipl.-Ing. Christina Wulf** Technische Universität Hamburg-Harburg (TUHH), Institut für Umwelttechnik und Energiewirtschaft (IUE), Hamburg, Deutschland

Martin Kaltschmitt und Liselotte Schebek

Moderne Industriegesellschaften sind gekennzeichnet durch den Einsatz komplexer Technologien zur Bereitstellung von Gütern und Dienstleistungen. Auch in Zeiten des Internets und „virtueller Welten“ benötigt die Erzeugung hochwertiger, weit entwickelter Produkte in erheblichem Ausmaß natürliche Ressourcen wie u. a. Erdöl, Eisenerz, Biomasse, aber auch zunehmend sogenannte kritische Rohstoffe wie Indium, die für spezifische Materialien und Güter insbesondere in der Informationstechnologie benötigt werden. Hergestellt werden solche hochwertigen Produkte wie Fahrzeuge oder Computer in aufwändigen industriellen Produktionsprozessen, die meist zahlreiche Stufen umfassen. In unserer globalisierten Wirtschaft sind diese Produktionsprozesse weltweit verteilt und eingebettet in international vernetzte Wertschöpfungsketten. Diese Wertschöpfungsketten werden auch als Produktlebensweg betrachtet, der mit dem mineralischen, biogenen oder fossilen Rohstoff beginnt und mit dem fertigen Produkt die Nachfrage der Kunden am Markt befriedigt.

Auch heute steigt die Nachfrage nach Konsumprodukten weltweit weiter. Dies ist zum einen dem Wachstum der Weltbevölkerung geschuldet, das sich nach aktuellen Prognosen bis mindestens 2050 fortsetzen wird. Die Nachfrage nach Produkten steigt aber auch durch die Angleichung des Lebensstandards und der Konsumgewohnheiten von Schwellenländern an diejenigen der Industriestaaten; ein Beispiel ist der steigende Konsum von Fleisch gerade in sogenannten Schwellenländern. Wirtschaftsprozesse sind auf nahezu jeder Produktionsstufe von der Rohstoffgewinnung bis zur Nutzung und Entsorgung des jeweiligen Produktes mit direkten oder indirekten Auswirkungen auf die natürliche Um-

---

Prof. Dr.-Ing. Martin Kaltschmitt  
Technische Universität Hamburg-Harburg (TUHH), Institut für Umweltechnik und  
Energiewirtschaft (IUE), Hamburg, Deutschland

Prof. Dr. Liselotte Schebek  
Technische Universität Darmstadt (TUDa), Fachgebiet Stoffstrommanagement und  
Ressourcenwirtschaft, Institut IWAR, Darmstadt, Deutschland

gebung verbunden. Diese Auswirkungen sind heute global präsent; dies gilt beispielsweise im Bereich des Klimawandels und auch in der globalen Verteilung synthetisch hergestellter Stoffe (u. a. Pestizide) in der natürlichen Umwelt. Vor dem Hintergrund der globalen Vernetzung von Produktion, Verbrauch und Entsorgung wird jedoch der räumliche und zeitliche Zusammenhang zwischen Ursachen und Wirkungen von Umweltbelastungen immer komplexer und ist zunehmend schwieriger zu verstehen.

Die ungewollten Auswirkungen der Technologisierung auf den Menschen und die Umwelt wurden schon im Verlauf der Ausbreitung der industriellen Revolution im Europa des späten 19. Jahrhunderts sichtbar. Sie haben sich aber insbesondere in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts nochmals beschleunigt, wofür auch der Begriff der „Great Acceleration“ geprägt wurde. Parallel dazu haben sich in der postmodernen Gesellschaft auch die Wahrnehmung und Wertschätzung der „natürlichen“ Umwelt verändert; eine intakte, funktionierende und vielfältige Natur wird in den westlichen Industrieländern allgemein und in Deutschland im Besonderen heute als ein hoher Wert gesehen. Auswirkungen der industriellen Produktion auf Gesundheit und Umwelt werden daher gesellschaftlich immer weniger akzeptiert. Dies gilt nicht nur in den Industrienationen der westlichen Welt, sondern zunehmend auch in Schwellenländern wie China. Diese steigende Wertschätzung einer „natürlichen“ Umwelt durch die Öffentlichkeit hat als Reaktion der Politik auf deutscher und europäischer Ebene eine Vielzahl von Umweltgesetzen initiiert, die zunehmende Bedeutung der „grünen“ Parteien bzw. der „grünen“ Ideen in der politischen Landschaft Deutschlands und Europas verankert und zur Entstehung von multinationalen NGO's (Non-Governmental Organisations) als „Interessenvertreter“ der Umwelt geführt.

Dabei sind weder Umweltprobleme selbst noch Bemühungen zum Schutz der natürlichen Umwelt wirklich neu. So kam es immer wieder in der Geschichte der Menschheit zu lokalen Entwaldungen mit damit einhergehender Erosion des Bodens und anderen negativen Folgen auf die Umwelt. In der Antike wird dies u. a. als Folge des Flottenbaus im peloponnesischen Krieg berichtet. Im Europa des 17. Jahrhunderts hatte die wirtschaftliche Tätigkeit mit Erzwinnung, Gerberei oder Textilherstellung in vielen Regionen Europas zur Rodung der Wälder und damit einhergehendem Holzmangel geführt. Um 1700 wurde der Holzmangel zu einer existenzbedrohenden Frage für den sächsischen Silberbergbau. Für die mit Holzkohle betriebenen Öfen waren ganze Wälder in der Umgebung der Bergstädte durch jahrhundertelange Übernutzung weitgehend kahl geschlagen worden [1.1]. In dieser historischen Situation wurde erstmals der Begriff der Nachhaltigkeit als Grundsatz der Forstwirtschaft geprägt. Der sächsische Oberberghauptmann Hans Carl von Carlowitz veröffentlichte 1713 seine Abhandlung „Sylvicultura oeconomica – oder Anweisung zur wilden Baum-Zucht“, in dem er den Raubbau am Wald kritisierte und den Grundsatz formulierte, „wie eine sothane Conservation und Anbau des Holtzes anzustellen, daß es eine continuirliche, beständige und nachhaltige Nutzung gebe“. Die Wirkungen dieses Buches, das Carlowitz auch mit einer starken volkswirtschaftlichen Motivation geschrieben hatte, auf die Forstwirtschaft waren enorm; das Prinzip der nachhaltigen Bewirtschaftung von Wäldern führte im 18. und 19. Jahrhundert zu einer Wiederherstellung der Wälder und zur Beseitigung des ökonomischen Problems des Holzmangels.