

Ulrich Förstner

Umweltschutz- technik

Eine Einführung

Fünfte überarbeitete und erweiterte Auflage

Mit 156 Abbildungen und 141 Tabellen



Springer

Prof. Dr. rer. nat. Ulrich Förstner

Arbeitsbereich Umweltschutz
TU Hamburg-Harburg
Eißenendorfer Straße 40
21073 Hamburg

ISBN 978-3-662-10698-3 ISBN 978-3-662-10697-6 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-10697-6

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Förstner, Ulrich: Umweltschutztechnik: eine Einführung / Ulrich Förstner

5. überarb. und erw. Aufl.

Berlin; Heidelberg; New York; London; Paris; Tokyo; Hong Kong; Barcelona; Budapest:
Springer, 1995

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1990, 1991, 1992, 1993 and 1995

Ursprünglich erschienen bei Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 1995.

Softcover reprint of the hardcover 5th edition 1995

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.

Produkthaftung: Für Angaben über Dosierungsanweisungen und Applikationsformen kann vom Verlag keine Gewähr übernommen werden. Derartige Angaben müssen vom jeweiligen Anwender im Einzelfall anhand anderer Literaturstellen auf ihre Richtigkeit überprüft werden.

Satz: Reproduktionsfertige Vorlage vom Autor

Umschlaggestaltung: Nach einem Entwurf von Frau Klara Jahn

SPIN: 10484361 68/3020 - 5 4 3 2 1 0 - Gedruckt auf säurefreiem Papier

Für

Dirk, Barbara, Jens, Konrad und Friedrich

Vorwort zu fünften Auflage

Der Erfolg der "*Umweltschutztechnik*" hat sich in den vergangenen zwei Jahren fortgesetzt. Verlag und Autor möchten die Gelegenheit der fünften Auflage nutzen, die *Lehrbuchfunktion* mit einem verbreiterten Grundlagenteil zu verbessern und gleichzeitig das von der Erstauflage 1990 angestrebte Ziel eines *kompakten Nachschlagewerkes* für das Gesamtgebiet des *ökologisch-technischen Umweltschutzes* auch unter dem Eindruck einer raschen Entwicklung in einzelnen Bereichen beizubehalten.

In seiner Stellungnahme zur technischen Umweltforschung in Deutschland hat der Wissenschaftsrat die führende Position auf den Gebieten *Luftreinhaltung*, *Abwasserklärung*, *Trinkwasseraufbereitung*, *thermische Abfallbehandlung* und *Bodensanierung* hervorgehoben, zugleich aber die Defizite auf den Gebieten "*produktionsintegrierter Umweltschutz*", *Prozefleitechnik*, Technologien für "*Reststoffdeponien*" und "*Bergbauatlasten*" betont: "Die Verständigung zwischen den ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen ist vielfach schwach entwickelt; insgesamt sollte die Zusammenarbeit der Ingenieurwissenschaften mit den Naturwissenschaften erheblich ausgebaut werden". Die Konturen der *Querschnittsdisziplin* "Umweltschutztechnik" sind auf den Seiten 60 und 61 des vorliegenden Buchs beschrieben.

Das umweltpolitische Leitbild eines "*nachhaltigen, zukunftsverträglichen Umgangs mit Stoff- und Materialströmen*", das derzeit u.a. von einer Bundestagsenquetekommission "Schutz des Menschen und der Umwelt" in seinen verschiedenen Facetten diskutiert wird, richtet den Blick der Ingenieure zunächst vor allem auf die Verringerung der *Schadstoffströme*, mittelfristig auf die Schließung stofflicher Kreisläufe und auf eine umweltverträgliche Produktgestaltung. Im *Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz* sind Abfallvermeidung und Abfallverwertung als primäre Ziele der Abfallwirtschaft festgeschrieben; das Gesetz soll *Rechts- und Planungssicherheit* für langfristige Entwicklungen bei energie- und materialsparenden Technologien geben.

Das vorliegende Buch folgt diesen Ansätzen mit vertieften Informationen zum Thema "*Stoffstromanalyse*" und zum "*Recycling*" von Baureststoffen, Rückständen aus thermischen Prozessen und Kunststoffen. Außerdem wurden die Abschnitte "*Regenerative Energien*" und "*Atlastensanierung*" überarbeitet und erweitert. Ein abschließendes neues Kapitel "integrierte Umweltschutztechnik" faßt die Strategien zur *Kontrolle betrieblicher und offener Stoffströme* zusammen. Angesichts der *medienübergreifenden Wirkung* von Schadstoffen und der teilweise geringen Reichweite stoffrechtlicher Regelungen ist die *Vermeidung von gefährlichen Emissionen* die vorrangige Aufgabe der Umweltschutztechnik.

Wie bei den vorangegangenen Auflagen bedanke ich mich bei den Kollegen, Mitarbeitern und Studierenden für viele wichtige Hinweise und bei meinem Sohn Jens für die Hilfe bei der Erstellung des Sachverzeichnisses und Gestaltung von Graphiken.

Hamburg-Harburg, im Januar 1995

Ulrich Förstner

Inhaltsverzeichnis

1 Grundlagen	1
1.1 Ursachen und Strukturen der modernen Umweltkrise	4
1.1.1 Neue Denkansätze in der Umweltkrise	4
1.1.2 Beschreibung der modernen Umweltprobleme	8
1.2 Umwelt und Technik	10
1.2.1 Technikbilder und Umweltschutz.....	10
1.2.2 Einstellung zu Technik und Umwelt.....	12
1.2.3 Technik - angepaßt oder superindustrialisiert ?.....	14
1.3 Ökologische Grundlagen	16
1.3.1 Struktur von Ökosystemen.....	16
1.3.2 Stabilität von Ökosystemen und technischen Systemen	22
1.3.3 Ingenieurökologie: Ökotechnologien zur Gewässersanierung	24
1.4 Ökonomische und rechtspolitische Aspekte des Umweltschutzes.....	26
1.4.1 Maßnahmen zur Umsetzung von umweltpolitischen Zielen.....	28
1.4.2 Ökologische Modernisierung der Wirtschaftspolitik	32
1.4.3 Rechtspolitische Aspekte des Umweltschutzes.....	34
1.5 Technologische Grundlagen.....	36
1.5.1 Risikoforschung	38
1.5.2 Umweltinformatik.....	40
1.5.3 Umweltmeßtechnik und Prozeßleittechnik.....	42
1.5.4 Stoff- und Energieflußanalyse.....	46
1.5.5 Verfahrenstechnik im Umweltschutz.....	48
1.5.6 Reaktoren in der Verfahrenstechnik	52
1.5.7 Ökologische Chemie und Ingenieurgeochemie	54
1.5.8 Geotechnik	56
1.5.9 Schutzmaßnahmen im Wasserbau	58
1.5.10 Energiesparende Bautechnik	59
1.6 Umweltschutztechnik als Querschnittsdisziplin.....	60
2 Umwelttechnik im Unternehmen	63
2.1 Ökologische Unternehmensstrategien	64
2.1.1 Ökologische Neuorientierung der Betriebswirtschaft	64
2.1.2 Unternehmerische Handlungsstrategien im Umweltschutz.....	66

2.2	Technik im betrieblichen Umweltschutz	68
2.2.1	Öko-Controlling: Informationssysteme und Ökobilanzen.....	70
2.2.2	Materialwirtschaft und Logistik.....	74
2.2.3	Umweltgerechtes Konstruieren	77
2.2.4	Produktions- und Fertigungstechnik.....	80
2.2.5	Verfahrensinterner Umweltschutz	82
2.3	Organisatorische Umsetzung von Umwelttechnik im Betrieb.....	86
3	Schadstoffe.....	93
3.1	Chemie und Umwelt.....	94
3.1.1	Produkte der chemischen Industrie	94
3.1.2	Dimensionen der Verbreitung von Umweltchemikalien.....	98
3.1.3	Entwicklung und Leitbilder der Chemiepolitik.....	102
3.2	Schadwirkungen	104
3.2.1	Definitionen.....	104
3.2.2	Dosis/Wirkung-Beziehungen.....	106
3.2.3	Umweltstandards.....	110
3.2.4	Rechtliche Regelungen	114
3.3	Schwermetalle.....	116
3.3.1	Schadwirkungen von Schwermetallen	116
3.3.2	Herkunft und Verbreitung in der Umwelt	120
3.3.3	Konzentrationen und Wirkungswerte in Gewässern.....	123
3.4	Organische Schadstoffe.....	124
3.4.1	Struktur und Eigenschaften organischer Schadstoffe.....	126
3.4.2	Ausbreitung in der Umwelt.....	128
3.4.3	Persistenz und Abbau	134
3.4.4	Aquatische Toxizität - Grenzwerte	135
3.5	Radioaktivität	136
3.5.1	Anwendung ionisierender Strahlung.....	136
3.5.2	Strahlenschutzmeßtechnik.....	138
3.5.3	Quellen natürlicher Strahlenbelastung	140
3.5.4	Künstliche Strahlenbelastung	145
3.5.5	Bewertung der Gesamt-Exposition	148
4	Energie und Klima.....	153
4.1	Emissionen von Kohlendioxid und Methan.....	154
4.1.1	Kohlendioxid	154
4.1.2	Methan	155
4.1.3	Reduktion der CO ₂ -Emissionen.....	156

4.2	Einsparpotentiale bei Energie und klimarelevanten Emissionen.....	158
4.2.1	Kraftwerke	160
4.2.2	Industrie	164
4.2.3	Kleinverbrauch.....	168
4.2.4	Verkehr	169
4.2.5	Private Haushalte.....	170
4.2.6	Bilanz der Einsparpotentiale.....	172
4.3	Erneuerbare Energien.....	177
4.3.1	Verfahren zur Gewinnung erneuerbarer Energien.....	180
4.3.2	Potentiale und Limitierungen	186
4.4	Zukunftstechnologien im Energiesektor.....	193
4.4.1	Künftige Energieverbundsysteme.....	194
4.4.2	Wasserstofftechnologie	196
5	Abwasser.....	199
5.1	Klassifizierung von Wasserverschmutzungen.....	201
5.2	Abwässer und ihre Bestandteile.....	203
5.2.1	Sammlung und Ableitung des Abwassers.....	203
5.2.2	Die kommunale Kläranlage.....	204
5.2.3	Belastung kommunaler Kläranlagen	206
5.2.4	Industrieabwasser	208
5.2.5	Abgaben, Auflagen und Kosten.....	210
5.3	Biologische Abwasserreinigung	215
5.3.1	Umsetzungen durch Mikroorganismen	215
5.3.2	Tropfkörperverfahren	218
5.3.3	Belebungsverfahren	220
5.3.4	Entfernung von Phosphor und Stickstoff.....	224
5.4	Chemisch-Physikalische Abwasserreinigung.....	228
5.4.1	Fällung von Schwermetallen.....	230
5.4.2	Flockung.....	233
5.4.3	Flüssig/Fest-Trennung.....	237
5.4.4	Behandlung von Abwässern mit organischen Schadstoffen.....	239
5.5	Schlammbehandlung.....	243
5.5.1	Anaerobe Prozesse und Schlammbehandlung.....	243
5.5.2	Methoden der Schlamm-Behandlung	244
5.5.3	Schlamm entwässerung und Klärschlammverbrennung	246
5.5.4	Klärschlammverwertung	249

6	Trinkwasser	251
6.1	Trinkwasserversorgung.....	252
6.1.1	Trinkwassernutzung und Einsparmöglichkeiten.....	254
6.1.2	Techniken der Trinkwassergewinnung	258
6.1.3	Werkstoffe in Leitungsnetzen	259
6.2	Qualität von Roh- und Trinkwasser	260
6.2.1	Reaktionen und Stofftransport im Untergrund.....	264
6.2.2	Sickerlösungen aus Deponien und Leckagen	267
6.2.3	Einträge aus der Landwirtschaft	270
6.2.4	Einfluß saurer Niederschläge auf die Grundwasserqualität	271
6.3	Methoden der Trinkwasseraufbereitung.....	272
6.3.1	Künstliche Grundwasseranreicherung und Uferfiltration.....	274
6.3.2	Behandlung im Wasserwerk	276
6.3.3	Weitergehende Trinkwasseraufbereitung.....	278
6.4	Zukünftige Sicherung der Wasserversorgung	282
7	Boden	283
7.1	Art und Ausmaß von Stoffeinträgen in Böden	284
7.1.1	Schadstoffe mit hoher Priorität.....	284
7.1.2	Schadstoff-Einträge in den Boden - Beispiel Schwermetalle	286
7.2	Verhalten und Wirkung von Bodenkontaminationen	291
7.2.1	Mobilisierung von Schadstoffen in Böden.....	291
7.2.2	Pflanzenverfügbarkeit von Schadstoffen.....	295
7.2.3	Perspektiven für landwirtschaftlich genutzte Böden.....	297
7.3	Altlastenprobleme.....	299
7.3.1	Sanierungsziele.....	302
7.3.2	Erkundung von Altablagerungen und kontaminierten Standorten.....	303
7.3.3	Bewertung von Altlasten.....	305
7.4	Sicherungsmaßnahmen.....	309
7.4.1	Ausgraben und Umlagern	309
7.4.2	Barriersysteme	310
7.4.3	Verfestigung, Stabilisierung und Einbindung	314
7.5	Sanierung von Altlasten	319
7.5.1	Bodenluftabsaugung.....	320
7.5.2	Waschverfahren	322
7.5.3	Biologische Behandlung von Altlasten	328
7.5.4	Thermische Behandlung kontaminierter Böden	334
7.5.5	Neue Entwicklungen in der Altlastenbehandlung - Ausblick.....	338

8 Abfall	341
8.1 Abfallwirtschaftliche Grundlagen	342
8.1.1 Globale und regionale Abfallströme	342
8.1.2 Abfallaufkommen; gesetzliche Regelungen	345
8.1.3 Zusammensetzung der Abfälle	349
8.1.4 Strategien der vorsorgenden Abfallwirtschaft	352
8.2 Sammlung und Aufbereitung von Abfällen	354
8.2.1 Getrennte Wert- und Schadstofffassung im Hausmüll	354
8.2.2 Duales System für Verpackungsabfälle	355
8.2.3 Behandlung von Massenabfällen - Beispiel: Baggergut	356
8.2.4 Chemisch-physikalische Behandlung von Industrieabfällen	358
8.3 Müllverbrennung	362
8.3.1 Müllverbrennungsanlagen	363
8.3.2 Rauchgasreinigung	366
8.3.3 Rückstandsbehandlung	370
8.4 Deponierung	383
8.4.1 Elemente und Entwicklung der Deponietechnik	384
8.4.2 Deponierung unbehalteter Siedlungsabfälle	388
8.4.3 Deponiegas und Sickerwasser	390
8.4.4 Endablagerung	394
8.4.5 Vergleich Restmülldeponierung und Restmüllverbrennung	398
9 Recycling	403
9.1 Theorie und Praxis des Recycling	404
9.1.1 Theoretische Ansätze	404
9.1.2 Abfallverwertung in der Industrie	407
9.1.3 Altfahrzeugrecycling	410
9.2 Verwertung der Organikfraktion von Abfällen	411
9.2.1 Biogas aus der anaeroben Vergärung	411
9.2.2 Kompostierung	414
9.3 Recycling von mineralischen Reststoffen	417
9.3.1 Materialverwertung in der Bauwirtschaft	418
9.3.2 Verwertung von Kraftwerksnebenprodukten	424
9.3.3 Umweltverträglichkeit von Recyclingbaustoffen	426
9.3.4 Recycling von Metallen	438
9.4 Recycling von Kunststoffen	430
9.4.1 Energiebilanzen und Kosten	432
9.4.2 Techniken des Kunststoffrecycling	434
9.5 Grenzen und Perspektiven der Kreislaufwirtschaft	440

10 Luft	441
10.1 Herkunft und Auswirkungen von Luftverunreinigungen	442
10.1.1 Entstehung von Schadstoffemissionen	444
10.1.2 Schadstofftransport in der Atmosphäre	448
10.1.3 Wirkung von Luftschadstoffen.....	452
10.1.4 Methoden zur Messung von Luftschadstoffen.....	456
10.2 Luftreinigungstechniken in der Industrie.....	460
10.2.1 Luftemissionen aus industriellen Prozessen.....	461
10.2.2 Verfahren zur Staubabscheidung.....	462
10.2.3 Verminderung gasförmiger Emissionen	466
10.3 Emissionsminderung in Kraftwerken	469
10.3.1 Entschwefelung	470
10.3.2 Stickoxidminderung	472
10.4 Emissionsminderung bei Fahrzeugen	478
10.4.1 Verminderung von Schadstoffemissionen	478
10.4.2 Verminderung von Verkehrslärm.....	482
11 Integrierte Umweltschutztechnik	487
11.1 Integrierter betriebsinterner Umweltschutz.....	488
11.2 Medienübergreifende Wirkungen von offenen Stoffströmen	490
11.3 Reichweite von stoffpolitischen Regelungen	494
11.4 Vermeidung als vorrangige Aufgabe der Umweltschutztechnik.....	497
Anhang A: Vorschriften und Grenzwerte	501
A.5 Abwasserwerte für Direkt- und Indirekteinleiter.....	502
A.5.1 Mindestanforderungen für Direkteinleiter.....	502
A.5.2 Schwellenwerte für Indirekteinleiter	504
A.6 Trinkwasserverordnung.....	505
A.6.1 Zusatzstoffe bei der Aufbereitung.....	505
A.6.2 Mikrobiologische Anforderungen	506
A.6.3 Grenzwerte für chemische Stoffe	506
A.7 Bodenschutz - kritische Stoffe und Grenzwerte	508
A.8 Abfall - Katalog und Zuordnungskriterien.....	510
A.10 Immissionsschutz	512
Anhang B: Einheiten, CAS-Nummern, Energiekonversionstabelle	515
Literaturverzeichnis	519
Sachverzeichnis	581

Das Vorsorgeprinzip im Umweltschutz

Umweltschutz bedeutet vor allem Schutz der natürlichen Lebensgrundlagen vor belastenden Stoffen. "Weil jeder in der Umwelt verteilte Stoff diese verändert, also die Natur stört, empfiehlt es sich aus Gründen der Vorsorge, die Verteilung von Stoffen auf das technisch unvermeidliche Maß zu beschränken, dessen Unterschreitung dem Verursacher nicht mehr zumutbar wäre" [1.1]. Dies gilt insbesondere bei komplexen Problemen mit undeutlichen *Ursache-Wirkungsbeziehungen* wie Waldschäden oder Meeresverschmutzungen sowie für die *Verhütung von Langzeitwirkungen*, beispielsweise beim Eintrag von akkumulierbaren Stoffen in ein Ökosystem. Ein unbestrittener Vorteil des Vorsorgeprinzips im Vergleich zu den älteren Grundsätzen des Umweltrechts, dem "*Nachbesserungsprinzip*" und dem "*Schadensverhütungsprinzip*" (das auf relativ einfachen, experimentell überprüfbaren Dosis-Wirkung-Beziehungen beruht), ist die *frühzeitige Reaktion*; Nachteile können durch eine *Verlangsamung von Innovationen* und - wegen zusätzlicher Kontrollen und Prüfungen - eine verstärkte *Bürokratisierung* entstehen [1.2].

Das Vorsorgeprinzip ist Voraussetzung für eine "*nachhaltig umweltverträgliche Entwicklung*" ('sustainable development' [1.3]) der Industriegesellschaft", in der die Möglichkeiten künftiger Generationen, ihre Bedürfnisse zu befriedigen nicht beschränkt werden. Im Rahmen eines solchen "ökologischen Generationsvertrags" [1.4] erscheinen Schäden bzw. Ressourcenverluste tolerierbar, sofern *Reparaturinstrumente* (z.B. mittels Forschung) oder *Substitutionen* (auch "Wissen") mitgeliefert werden [1.5].

Das Vorsorgeprinzip wurde zur verbindlichen Richtschnur für umweltbewußtes Handeln erhoben (auch die europäische Gemeinschaft hat sich auf den Grundsatz verständigt, "*Umweltbeeinträchtigungen vorzubeugen* und sie nach Möglichkeit an ihrem Ursprung zu bekämpfen" [1.6]). Vorsorge heißt (Lühr [1.7])...:

- ...handeln bei *begründetem Verdacht* (Besorgnisgrundsatz);
- ...Nachweis der *Unbedenklichkeit* nach bestem Wissen und Gewissen bei Freisetzung eines Stoffes in die Umwelt;
- ...*Forschung*, um frühzeitig Gefahren aufspüren zu können;
- ...*beste Technologie* einzusetzen, um Gefahren abzuwenden.

Bei der Umsetzung des Vorsorgeprinzips ist zunächst das *Verursacherprinzip* zu konkretisieren [1.8]: Man muß den Grundsatz "der Verschmutzer zahlt" in den Bereichen Energie, Landwirtschaft, Verkehr und einigen anderen vermehrt zur Geltung bringen. Schmutzfrachten unterhalb der gestatteten Grenzwerte müssen finanziell belastet werden. Generell müssen marktkonforme ökonomische Instrumente im Umweltschutz wesentlich höheres Gewicht erhalten (die Preise müssen auch die "ökologische Wahrheit" sagen). Auf der anderen Seite fordert das Vorsorgeprinzip ein hohes Maß an Wirtschaftsverträglichkeit und Konsensuche als zentrale Handlungsprinzipien (*Kooperationsprinzip*).

Umweltvorsorge wird immer mehr bedeuten, daß die Verantwortung für das Schicksal gebrauchter Stoffe auf die *Produktion* rückverlagert werden muß [1.9]. Die staatliche Vorsorgepolitik bekommt ihr Gegenstück in einem antizipierenden "*proaktiven Handeln der Unternehmen*", das auf die Einsicht setzt, daß "möglichst weitgehende Transparenz bei der Produktionsentwicklung und Planung von Produktionsverfahren ein selbstverständlicher Bestandteil der Firmenkultur werden sollte" [1.10].