

Peter Kunz

**Umwelt-Bioverfahrenstechnik**

## **Aus dem Programm**

### **Biotechnologie/ Umwelttechnik**

A. Heintz und G. Reinhardt

#### **Chemie und Umwelt**

Ein Studienbuch für Chemiker, Biologen und Geologen

G. Schmidt

#### **Pestizide und Umweltschutz**

B. Philipp (Hrsg.)

#### **Einführung in die Umwelttechnik**

Grundlagen und Anwendungen aus Recht und Technik

M. Meiners

#### **Biotechnologie für Ingenieure**

Grundlagen, Verfahren, Aufgaben, Perspektiven

H. Kindl

#### **Biochemie - ein Einstieg**

A. Berkaloff, J. Bourguet, P. Favard und J.-C. Lacroix

#### **Die Zelle**

Biologie und Physiologie

W. Schumann

#### **Biologie bakterieller Plasmide**

T. Scheper

#### **Bioanalytik**

K. Schügerl (Hrsg.)

#### **Analytische Methoden in der Biotechnologie**

Mit Literaturübersicht und Bezugsquellenverzeichnis

F. Oehme

#### **Chemische Sensoren**

Funktion, Bauformen, Anwendungen

J. S. Fritz und G. H. Schenk

#### **Quantitative Analytische Chemie**

Grundlagen – Methoden – Experimente

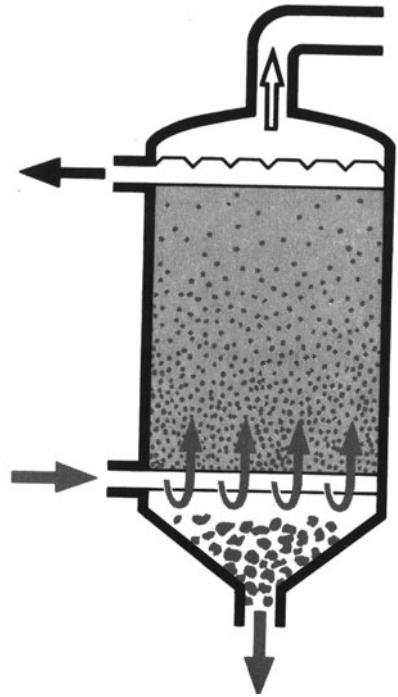
K. E. Geckeler und H. Eckstein

#### **Analytische und präparative Labormethoden**

Grundlegende Arbeitstechniken für Chemiker, Biochemiker, Mediziner, Pharmazeuten und Biologen

**Vieweg**

Peter Kunz



# Umwelt- Bioverfahrenstechnik

Prof. Dr. Peter Kunz  
Institut für Biologische Verfahrenstechnik (IBV)  
Fachhochschule für Technik (FHT)  
Speyerer Str. 4  
6800 Mannheim 1

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

**Kunz, Peter:**  
Umwelt-Bioverfahrenstechnik / Peter Kunz. –  
Braunschweig; Wiesbaden: Vieweg, 1992  
ISBN 978-3-322-83111-8

Das vorliegende Werk wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autoren, Herausgeber 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 dürfen.

Alle Rechte vorbehalten

© Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig / Wiesbaden, 1992

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1992

Der Verlag Vieweg ist ein Unternehmen der Verlagsgruppe Bertelsmann International.



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.

Gedruckt auf säurefreiem Papier

ISBN-13: 978-3-322-83111-8    e-ISBN-13: 978-3-322-83110-1  
DOI: 10.1007/978-3-322-83110-1

## Vorwort

Anlaß für dieses Buch ist der Wunsch, umweltverträgliche Techniken in die Produktion und Entsorgung hineinzutragen. Die Natur hat es über Jahrtausende geschafft, einen Kreislauf aufzubauen, der über Produktion und Konsumtion abläuft, ohne daß größere Abfallberge entstanden sind. Diesen Kreislauf sollte eigentlich unsere hochentwickelte Zivilisation, als die wir sie bezeichnen, sich zum Vorbild nehmen und in ein aktives Handeln umsetzen. Andernfalls wird diese hochentwickelte Zivilisation als ein kosmisches Zwischenspiel in die Erdgeschichte eingehen.

Allerdings wäre es verfehlt, daraus zu schließen, Biologie sei grundsätzlich gut, und Chemie sei grundsätzlich schlecht! Mikrobielle Stoffwechselprodukte können nämlich toxischer sein als ihre Ausgangsprodukte; auch mikrobiell kann es zur Produktion von Dioxinen kommen. Schließlich sollte man auch nicht die emissionslose Produktion vor Augen haben: Sie wäre unsinnig, weil der natürliche Kreislauf auf "Abprodukte" angewiesen ist und weil "emissionslos" - abgesehen davon, daß ein 100prozentiger Stoffumsatz unmöglich ist und jede Annäherung daran in der Regel mit hohem Energieeinsatz erkauft wird - die Entropie steigert.

Dieses Buch will neben methodischen Ansätzen dem technisch orientierten und durch Schule, vielleicht Studium und über allgemeinbildende Literatur vorinformierten Leser die Möglichkeiten und Grenzen einer Biologischen Technik in Produktion und Entsorgung vorstellen. Es ist entstanden aus einem Vorlesungsskriptum und verschiedenen Veranstaltungen zu diesem Themenkreis (Wasserkreisläufe, mikrobielle Laugung, Entsorgung von Fetten und Ölen, Lacken und Emulsionen).

Nach einer kurzen Grundlagen-Betrachtung, die notwendig ist, um zu verstehen, wie biologische Systeme funktionieren und wie sie optimiert werden können, werden die biologischen End-of-pipe-Techniken erläutert. Einsatzbeispiele sowie Erfahrungen, die aus eigenen Arbeiten herrühren, und Literatur-Reviews zeigen den aktuellen Stand der praktischen Nutzung in diesem Bereich. Abschließend werden einige Entwicklungen vorgestellt, die zwar noch am Anfang ihrer großtechnischen Umsetzung in die Praxis stehen, die aber - zumindest vom methodischen Ansatz her - eine interessante Perspektive haben.

Dieses Buch will also an ausgewählten Beispielen den Stand des Wissens in einem Überblick darstellen, kommentieren und an einigen Stellen weitergehende Lösungsansätze und Perspektiven aufzeigen, um den Leser zu eigenen Initiativen der Umweltvorsorge anzuspornen. Es will ihn weiterhin in die Lage versetzen, Möglichkeiten - aber auch Grenzen - der Biologischen Technik für eigene Anwendungsfälle abzuschätzen. Es wäre schön, wenn dieses Buch damit umweltverträglichere Produktionen und erfolgreichere Vermeidungsmaßnahmen initiieren würde. Der Autor freut sich im übrigen über jede diesbezügliche Ergänzung, Kommentierung und Verbesserung des Inhaltes für spätere Auflagen.

**Alles Wissen  
über die Wirklichkeit  
geht von der Erfahrung aus  
und mündet in ihr.**

Albert Einstein

### **Widmung**

Dieses Buch ist meinen Kindern Jenny-Alexandra und Johannes gewidmet; ich hoffe, ihnen mit meiner Arbeit ein Stückchen lebenswerte Umwelt erhalten zu können.

### **Dank**

An erster Stelle danke ich meinen Mitarbeitern und meinen Studenten, die in den unterschiedlichsten Diskussionen im Rahmen von seminarartigen Vorlesungen und Vorträgen sowie in Studien- und Diplomarbeiten dazu beigetragen haben, Inhalte zu vertiefen und an der Verständlichkeit des Textes weiterzuarbeiten. Frau Dipl.-Biol. E. Neitmann und Herr Dipl.-Ing. S. Wagner haben sich mit dem Text kritisch auseinandergesetzt; Herr Wagner hat dankenswerter Weise in seiner Freizeit die Reinzeichnungen der Bilder angefertigt. Schließlich sei Herrn Dipl.-Chem. B. Gondesen vom Vieweg-Verlag an dieser Stelle für die Ermunterung zu diesem Buch und die Betreuung gedankt.

Karlsruhe, im Juli 1992

Peter Kunz

---

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>EINFÜHRUNG</b>	<b>1</b>
1.1	Umweltbioverfahrenstechnik - eine Definition	1
1.2	Mikroorganismen im produktiven Bereich	3
1.3	Verminderung von Emissionen	4
1.4	Entsorgung der biologischen Schlämme	5
<b>2</b>	<b>GRUNDLAGEN UND ANWENDUNGEN BIOLOGISCHER SYSTEME</b>	<b>7</b>
2.1	Mikrobieller Stoffwechsel	7
2.1.1	Katabolismus	10
2.1.2	Energiestoffwechsel	11
2.1.3	Baustoffwechsel	12
2.1.4	Besondere Stoffwechselphänomene	14
2.1.5	Mikrobielle Produkte	15
2.2	Zelle und Zellbestandteile	16
2.2.1	Zellbiologie	17
2.2.2	Bestandteile der Zelle	20
2.3	Mikroorganismen	28
2.3.1	Bakterien	29
2.3.2	Niedere Pflanzen	30
2.3.3	Pilze und Hefen	32
2.3.4	Protozoen	33
2.4	Reaktionstechnik	34
2.4.1	Thermodynamik	35
2.4.2	Mikro-, Makro- und Formalkinetik	38
2.4.3	Idealisierte Reaktoren	46
2.4.4	Chemostaten	49
2.5	Mikrobielle Systeme	51
2.5.1	Biologische Testsysteme	52
2.5.2	Ökosysteme	64
2.5.3	Gezüchtete Mikroorganismen als Problemlöser?	69
2.5.4	Biofilme und Immobilisierung	70
2.6	Bioreaktor-Systeme	75
2.6.1	Submers- und Festbettreaktoren	75
2.6.2	Konzentratoren	81

<b>3</b>	<b>BIOLOGISCHE VERFAHREN IM KONVENTIONELLEN UMWELTSCHUTZ AN FALLBEISPIELEN</b>	<b>85</b>
3.1	Behandlung von lösemittelhaltiger Abluft	86
3.1.1	Einsatzspektrum	86
3.1.2	Input-Output-Analyse	87
3.1.3	Definitionen	87
3.1.4	Meßtechnik im Rahmen der biologischen Abluftbehandlung	91
3.1.5	Technische Beschreibung des "Biofilters"	93
3.1.6	Technische Beschreibung des Biowäschers	98
3.1.7	Kriterien der biologischen Abluftbehandlung	98
3.1.8	Konsequenzen	101
3.2	Stickstoff- und Phosphorelimination aus Wasser und Abwasser	103
3.2.1	Biologiefähigkeit des Abwassers	103
3.2.2	Elimination von Kohlenwasserstoffen aus Abwasser	104
3.2.3	Abriß der Grundlagen der mikrobiellen Stickstoffelimination	111
3.2.4	Nitrifikation und Denitrifikation in Abwassersystemen	121
3.2.5	Umsetzung in technische Systeme	124
3.2.6	Bekannte Regelungen und Steuerungen	128
3.2.7	Bedarfsabhängig gesteuerte Nitrifikation und Denitrifikation in Abwasserreinigungsanlagen	131
3.2.8	Biologische Phosphorelimination	136
3.2.9	Ausblick	138
3.3	Anaerobe Sulfidfällung zur Immobilisierung von Schwermetallen	139
3.3.1	Grundlagen der anaeroben Abbauprozesses	139
3.3.2	Methanisierung	140
3.3.3	Anaerobe Sulfidfällung	142
3.3.4	Technische Umsetzung	143
3.4	Minimierung von biologisch erzeugtem Klärschlamm	146
3.4.1	Überblick: Was ist Klärschlamm?	146
3.4.2	Konventionelle Schlammbehandlung	149
3.4.3	Problem: Die Mikroorganismen-Zellhülle	151
3.4.4	Mechanische Aufschlußanlagen im Detail	153
3.4.5	Technische Einbindung der Desintegration	154
3.4.6	Nebenwirkungen des Zellaufschlusses	158
3.4.7	Perspektiven für die Praxis	159
3.5	Kompostierung von Naßmüll	160
3.5.1	Mieten- und Rottetechnik	161
3.5.2	Verfahrensparameter	164
3.5.3	Müllvergärung	165
3.6	Bodensanierung mit in-situ-Verfahren	165
3.6.1	Chlorkohlenwasserstoffe und deren Abbaumechanismen	167
3.6.2	Mikrobielle Bodensanierungsverfahren	169



<b>4</b>	<b>ANSATZPUNKTE FÜR PRODUKTIONSVERFAHREN MIT HILFE VON MIKROORGANISMEN</b>	<b>175</b>
4.1	Wasserkreislaufsysteme - Non-Bioreaktoren nach gleichen Kriterien	175
4.1.1	Ausgangssituation in Wasserkreisläufen	175
4.1.2	Problembeschreibung	179
4.1.3	Gründe für ein mikrobielles Wachstum in Wasserkreisläufen	180
4.1.4	Materialzerstörung durch Mikroorganismen	182
4.1.5	Lösungsansätze zur Limitation mikrobiellen Wachstums in Wasserkreisläufen	186
4.2	Mikrobielles Leaching - Laugung von Metallen	189
4.2.1	Kupfergewinnung mit Hilfe von Mikroorganismen	189
4.2.2	Chemismus der mikrobiellen Laugung	190
4.2.3	Mikrobiologie - Laugungsbakterien	191
4.2.4	Biotechnische Faktoren	191
4.2.5	Laugung von Schwermetallen aus Sonderabfällen	192
4.3	Mikrobielle Entrostung von Oberflächen	193
4.3.1	Bildung von Rost	193
4.3.2	Chemische Entrostung	196
4.3.3	Entrostung mit Hilfe von Mikroorganismen	196
4.3.4	Perspektiven	198
4.4	Mikrobielle Entfettung von Oberflächen	199
4.4.1	Konventionelle Reinigung von Oberflächen	199
4.4.2	Mikrobieller Fett- und Ölabbau	200
4.4.3	Abbauwege von Fetten und Ölen im Überblick	201
4.4.4	Technisches Konzept für die mikrobielle Entfettung	204
4.4.5	Möglichkeiten und Grenzen	206
4.5	Mikrobielle Stabilisierung von Kühlschmiermitteln	206
4.5.1	Kühlschmiermittel-Emulsionen	206
4.5.2	Mikrobielle Belastung von Emulsionen	207
4.5.3	Alternative zur chemischen Konservierung	208
4.6	Energieträger aus Abfallsubstraten	208
4.6.1	Ethanolfermentation mit Bakterien	208
4.6.2	Substrate für die Ethanol-Produktion	209
4.6.3	Perspektiven	209
<b>5</b>	<b>AUSBLICK</b>	<b>211</b>
<b>6</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>213</b>
<b>7</b>	<b>STICHWORTVERZEICHNIS</b>	<b>223</b>