

W. Bischofsberger · N. Dichtl · K.-H. Rosenwinkel  
C. F. Seyfried · Botho Böhnke (Hrsg.)

---

**Anaerobtechnik**

Wolfgang Bischofsberger · Norbert Dichtl  
Karl-Heinz Rosenwinkel · Carl Franz Seyfried  
Botho Böhnke (Hrsg.)

# Anaerobtechnik

2., vollständig überarbeitete Auflage

Mit 224 Abbildungen

 Springer

**Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Bischofsberger**

Am Schloßsee 5  
24960 Glücksburg/Ostsee  
*w.bischofsberger@t-online.de*

**Prof. Dr.-Ing. Norbert Dichtl**

TU Braunschweig  
Pockelstr. 2a  
38106 Braunschweig  
*n.dichtl@tu-bs.de*

**Botho Böhnke †**

**Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinz Rosenwinkel**

Universität Hannover  
Welfengarten 1  
30167 Hannover  
*rosenwinkel@isah.uni-hannover.de*

**Prof. Dr.-Ing. Carl Franz Seyfried**

Oestbergweg 3  
30559 Hannover  
*seyfried@isah.uni-hannover.de*

**Redaktion:**

Jens Bsdok  
Thorsten Schröter

ISBN 3-540-06850-3

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

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

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funk-sendung, der Mikroverfilmung oder 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 ist ein Unternehmen von Springer Science+Business Media

[springer.de](http://springer.de)

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2005  
Printed in Germany

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Buch be-rechtigt 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 jeder-mann benutzt werden dürften. Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Umschlaggestaltung: Struve&Partner, Heidelberg  
Satz: Digitale Druckvorlagen der Autoren

Gedruckt auf säurefreiem Papier 68/3020/M - 5 4 3 2 1 0

## Vorwort

Die anaerobe Behandlung von Abwässern und Abwasserschlämmen ist das älteste bekannte Abwasser- und Schlammbehandlungsverfahren. Bereits den Sumerern war die Technik der anaeroben Reinigung bekannt. Ende des 19ten Jahrhunderts wurden in Europa im Zuge der zunehmenden Industrialisierung und der damit verbundenen seuchenhygienischen Folgen anthropogener Umweltbelastungen, erste Maßnahmen zur Ableitung, Sammlung sowie zur Reinigung von Abwässern und Schlämmen eingeleitet.

Primärziel der ersten Abwasserreinigungsanlagen war die Abscheidung absetzbarer Abwasserinhaltsstoffe. Die schon bald gewonnene Erkenntnis, dass beim Faulvorgang durch Umsetzung organischer Schlamminhaltsstoffe in gasförmige Endprodukte das Geruchsproblem, das von den abgesetzten Abwasserinhaltsstoffen ausging, reduziert werden konnte, führte zur technischen Anwendung des Faulprozesses und zur Entwicklung erster Anaerobanlagen.

Heute werden Faulanlagen insbesondere zur anaeroben Stabilisierung von Klärschlämmen auf kommunalen Kläranlagen eingesetzt. Die weltgrößten Faulbehälter in Bottrop (Nordrhein-Westfalen) weisen Volumen von 15.000m<sup>3</sup> auf. Das gewonnene Faulgas wird in der Regel in Gasmotoren oder Blockheizkraftwerken als Ersatz für Primärenergieträger verwendet, und soweit es nicht zur Deckung des Eigenbedarfs benötigt wird als Überschussenergie abgegeben. Ferner können über das Energieeinspeisegesetz je nach verwendetem Substrat entsprechende Erlöse erreicht werden.

Zur Behandlung organisch belasteter Industrieabwässer hat die Anaerobtechnik zunehmend an Bedeutung gewonnen. So hat sich der Einsatz von Anaerobanlagen in einigen Bereichen der Industrie als das favorisierte Verfahren zur Vorbehandlung der anfallenden Abwässer entwickelt. Damit ist der Anaerobtechnik heute und in Zukunft ein bedeutsamer Stellenwert bei der Reinigung industrieller Abwasserströme zuzuordnen.

Dieses Handbuch behandelt die Gesamtproblematik der anaeroben Abwasser und Schlammbehandlung. Gegenüber der Erstauflage wurden die Cofermentation, die Vergärung von Bio- und Restabfällen und die landwirtschaftlichen Vergärungsanlagen mit aufgenommen. Ausgehend von

den mikrobiologischen Grundlagen anaerober Abbauprozesse, bis hin zur Diskussion ausgeführter Anlagen, werden systematisch die verfahrenstechnischen Konzeptionen, die Funktionsweise, der Einsatzbereich und die Leistungsfähigkeit der Anlagen sowie deren Wirtschaftlichkeit dargestellt. Dabei werden die Problemstellungen sowohl aus der Sicht der einzelnen Verfahren, als auch aus dem Blickwinkel der Abwasserarten beleuchtet. Neben der umfassenden Vermittlung des derzeitigen Kenntnistanandes auf dem Sektor Anaerobtechnik, erfüllt dieses Handbuch auch den Anspruch eines Nachschlagewerkes. Die Gliederung des Gesamtwerkes, das ausführliche Sachwortregister und die konsequente Angabe der Literaturbezüge leisten einen wesentlichen Beitrag um diesem Anspruch gerecht zu werden.

Die Autoren der einzelnen Fachbeiträge haben ihre zahlreichen Erfahrungen aus Wissenschaft, Forschung und Praxis zusammengetragen, ausgewertet und in diesem Werk dokumentiert. Die Herausgeber danken den Autoren für ihre engagierte Mitarbeit.

Mit diesem Dank verbinden die Herausgeber die Hoffnung, dass dieses Handbuch einen breiten Interessenkreis findet. Es soll Ingenieurbüros und Beratungsunternehmen sowie den Fachbehördenvertretern und Betreibern solcher Anlagen wertvolle Informationen bei der Konzeption und Entwicklung, der Planung und dem Betrieb von Anaerobanlagen vermitteln. Darüber hinaus wendet sich dieses Werk an innovativ orientierte Anlagenhersteller, die vielfältige Hilfestellungen zur verfahrenstechnischen Entwicklung, Verbesserung und Optimierung der Anaerobtechnik vorfinden. Letztlich werden alle Interessierten, ob sie sich nun erstmalig mit dem Sektor der Anaerobtechnik beschäftigen, oder ob sie ihr Wissen auffrischen, vertiefen oder erweitern möchten, in diesem Handbuch umfassende Erläuterungen und ausführliche Antworten auf alle wesentlichen Fragen zur Anaerobtechnik finden.

*Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Bischofsberger*

*Prof. Dr.-Ing. Norbert Dichtl*

*Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinz Rosenwinkel*

*Prof. Dr.-Ing. Carl Franz Seyfried*

# Inhalt

Verzeichnis der Autoren .....	XIII
Anschriften .....	XIV
Abbildungsverzeichnis.....	XVII
Tabellenverzeichnis .....	XXVII
<b>1 Geschichte der Anaerobtechnik .....</b>	<b>1</b>
1.1 Historische Entwicklung .....	1
1.2 Weitere Entwicklungen der anaeroben Schlammstabilisierung .....	5
1.3 Anaerobe Abwasserbehandlung .....	7
<b>2 Mikrobiologische Grundlagen .....</b>	<b>23</b>
2.1 Energiegewinn aus mikrobiellen Stoffwechselprozessen .....	23
2.2 Anaerober Abbau – Überblick und Organismen .....	24
2.2.1 Hydrolysierende und versäuernde Bakterien .....	26
2.2.2 Acetogene Bakterien .....	28
2.2.3 Methanbakterien.....	31
2.2.4 Aufbau von Pellets .....	34
2.2.5 Bedingungen der Pelletbildung .....	36
2.3 Anaerobe Abbauprozesse organischer Stoffe.....	37
2.3.1 Hydrolyse .....	39
2.3.2 Versäuerung .....	39
2.3.3 Acetogenese .....	42
2.3.4 Methanogenese.....	43
2.4 Nährstoff- und Spurenelementbedarf anaerober Abbauprozesse	45
<b>3 Einflussfaktoren auf die anaeroben biologischen Abbauvorgänge</b>	<b>49</b>
3.1 Einfluss der Temperatur .....	49
3.2 Einfluss des pH-Wertes und der Säurekapazität .....	52
3.3 Einfluss der Durchmischung .....	56
3.4 Einfluss der Substratzusammensetzung .....	58
3.4.1 Substrat-Konzentration .....	60
3.4.2 Feststoffgehalt .....	60
3.4.3 Verhältnis von CSB, Stickstoff und Phosphor .....	63
3.4.4 Kalziumgehalt .....	64

---

3.5	Einfluss hemmender und toxischer Stoffe.....	65
3.5.1	Begriffserklärung .....	65
3.5.2	Sauerstoff .....	67
3.5.3	Schwefelverbindungen.....	68
3.5.4	Organische Säuren .....	75
3.5.5	Schwermetalle.....	80
3.5.6	Sonstige Hemmstoffe.....	82
3.6	Spurenelemente .....	83
<b>4</b>	<b>Verfahrenstechniken zur Behandlung von Klärschlamm.....</b>	<b>87</b>
4.1	Klärschlammengen und -beschaffenheit .....	87
4.1.1	Primärschlamm .....	88
4.1.2	Sekundärschlamm .....	89
4.1.3	Tertiärschlamm .....	90
4.1.4	Rohschlamm .....	90
4.1.5	Stabilisierte Schlämme, Faulschlamm .....	91
4.1.6	Stoffbedingte Eigenschaften von Klärschlämmen .....	91
4.1.7	Klärschlammengen .....	94
4.2	Behandlung kommunaler Schlämme.....	98
4.2.1	Schlammstabilisierung .....	100
4.2.2	Klärschlamm-desintegration .....	144
4.2.3	Klärschlamm-entseuchung .....	160
4.2.4	Schlammwasserabtrennung .....	168
4.2.5	Rückbelastung der Kläranlage aus der Schlamm- behandlung.....	205
4.2.6	Wertstoffrückgewinnung aus Klärschlamm .....	216
4.2.7	Schlammfäulung auf deutschen Kläranlagen.....	235
4.3	Beispiele zur Co-Fermentation.....	246
4.3.1	Einleitung.....	246
4.3.2	Co-Substrate.....	247
4.3.3	Großtechnische Erfahrungen.....	256
4.3.4	Zusammenfassung.....	278
<b>5</b>	<b>Anaerobe Abwasserbehandlung.....</b>	<b>283</b>
5.1	Vor- und Nachteile der anaeroben Behandlung von Abwässern gegenüber den aeroben Verfahren.....	283
5.2	Verfahrenstechniken zur Behandlung von Abwässern.....	286
5.2.1	Grundsätzliches sowie Gliederung anaerober Verfahren..	286
5.2.2	Ausschwemmreaktor (CSTR).....	288
5.2.3	Anaerobe Belebung (Kontakt-Prozess).....	289
5.2.4	Membranunterstützte Anaerobreaktoren.....	295
5.2.5	UASB-Reaktoren (Schlammbettreaktoren) .....	295

---

5.2.6	EGSB-Reaktoren.....	304
5.2.7	Festbettreaktoren.....	320
5.2.8	Fließbettreaktoren.....	327
5.2.9	Hybridreaktoren.....	338
5.3	Beispiele zur Behandlung von industriellen Abwässern aus der Lebensmittelindustrie.....	343
5.3.1	Fruchtsaftindustrie.....	343
5.3.2	Erfrischungsgetränkeindustrie.....	355
5.3.3	Brauereien.....	364
5.3.4	Schlacht- und Fleischverarbeitungsbetriebe.....	379
5.3.5	Stärkeherstellung.....	396
5.3.6	Kartoffelveredelungsindustrie.....	417
5.3.7	Pektinfabriken.....	426
5.3.8	Zuckerindustrie.....	436
5.3.9	Brennereien und Hefefabriken.....	445
5.3.10	Süßwarenindustrie.....	453
5.4	Beispiele zur Behandlung von sonst. industriellen Abwässern ..	470
5.4.1	Zellstoff- und Papierfabriken.....	470
5.4.2	Tierkörperbeseitigungsanstalten.....	487
5.4.3	Anlagen mit anorganischen Abwässern.....	501
5.4.4	Chemische- und Pharmazeutische Industrie.....	510
5.5	Beispiele zur Behandlung von kommunalen Abwässern.....	523
5.5.1	Einleitung.....	523
5.5.2	Vor- und Nachteile der Anaerobtechnik bei kommunalem Abwasser.....	524
5.5.3	Reaktortypen.....	525
5.5.4	Einflussgrößen und Bemessungsparameter der anaeroben Reinigung kommunaler Abwässer.....	525
5.5.5	Technische Details bei kommunalen UASB-Reaktoren ....	528
5.5.6	Beispiele von UASB-Reaktoren zur kommunalen Abwasserreinigung.....	529
<b>6</b>	<b>Landwirtschaftliche Vergärungsanlagen .....</b>	<b>533</b>
6.1	Verfahrenstechniken.....	533
6.1.1	Historische Entwicklung und Einordnung.....	533
6.1.2	Herkunft und Potential der eingesetzten Substrate.....	535
6.1.3	Verfahrenskonzepte.....	538
6.1.4	Aufbereitung und Speicherung von Biogas.....	551
6.2	Beispiele landwirtschaftlicher Vergärungsanlagen.....	556
6.2.1	Vorbemerkungen.....	556
6.2.2	Einstufige Kofermentation.....	556
6.2.3	Zweistufige Kofermentation.....	557



6.2.4	Zweistufige Kofermentation mit therm. Desintegration ....	559
6.2.5	Kofermentations-Gemeinschaftsanlage mit Gärrückstandskonditionierung .....	560
6.2.6	Trocken-Nass-Simultanvergärung .....	562
<b>7</b>	<b>Vergärung von Bio- und Restabfällen .....</b>	<b>565</b>
7.1	Status quo .....	565
7.2	Rechtliche Rahmenbedingungen.....	568
7.3	Mengen, Qualitäten und Potenziale.....	570
7.3.1	Verwertung von Bioabfällen und sonstiger qualitativ hochwertiger organischer Abfallstoffe .....	570
7.3.2	Behandlung von Restabfällen .....	572
7.4	Anlagen- und Verfahrenstechnik.....	574
7.4.1	Anlieferung .....	575
7.4.2	Mechanische Aufbereitung vor der Vergärung.....	578
7.4.3	Vergärung .....	586
7.4.4	Konfektionierung nach dem Vergärungsprozess .....	611
7.4.5	Biogasverwertung .....	617
7.5	Abluftemissionen .....	622
7.5.1	Abluftemissionen bei der Bioabfallverwertung .....	623
7.5.2	Abluftemissionen bei der Restabfallbehandlung .....	624
7.6	Abwasseremissionen .....	629
7.6.1	Abwasseremissionen bei der Bioabfallbehandlung .....	631
7.6.2	Abwasseremissionen bei der Restabfallbehandlung .....	635
7.7	Energiebilanz.....	637
7.8	Ausgewählte Leistungsdaten.....	639
7.8.1	Leistungsdaten der Bioabfallvergärung .....	639
7.8.2	Leistungsdaten der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung.....	643
7.9	Ausblick .....	645
<b>8</b>	<b>Einrichtungen zur Nutzung / Verwertung von Faulgas .....</b>	<b>655</b>
8.1	Allgemeines.....	655
8.2	Faulgasanfall .....	655
8.3	Eigenschaften von Faulgas.....	660
8.4	Faulgastransport und –speicherung.....	662
8.4.1	Faulgastransport.....	662
8.4.2	Faulgasspeicherung.....	663
8.5	Ausrüstungsteile für das Gassystem.....	667
8.5.1	Gashaube/Schaumfalle.....	668
8.5.2	Gasfackel.....	668
8.5.3	Entwässerungseinrichtungen.....	668

---

8.5.4	Gasfilter.....	669
8.5.5	Flammenrückschlagsicherungen.....	669
8.5.6	Messeinrichtungen.....	669
8.6	Faulgasaufbereitung.....	671
8.6.1	Entschwefelung.....	671
8.6.2	Anlagen zur Gastrocknung.....	672
8.6.3	Anlagen zur Siloxanentfernung.....	673
8.7	Gasverwertung.....	673
8.7.1	Allgemeines.....	673
8.7.2	Energiebedarf auf Kläranlagen.....	673
8.7.3	Gasverwertung in Heizkesseln.....	677
8.7.4	Verwertung in BHKW.....	678
8.8	Sonstiges.....	684
8.8.1	Stromübergabe ins Netz.....	684
8.8.2	Bauliche Hinweise.....	685
8.9	Beispielrechnung.....	686
8.9.1	Annahmen.....	686
8.9.2	Bemessung des Faulbehälters.....	687
8.9.3	Energiebedarfsberechnung der gesamten Anlage.....	687
8.9.4	Energieangebot Faulgas.....	687
8.9.5	Energienutzung und -deckung.....	687
8.9.6	Vergleich der ermittelten Werte für die gewählten Arten der Gasnutzung.....	690
<b>9</b>	<b>Sicherheitsaspekte im Umgang mit Faulgas.....</b>	<b>693</b>
9.1	Allgemeine sicherheitstechnische Hinweise.....	693
9.1.1	Allgemeines.....	693
9.1.2	Erstickungsgefahr.....	693
9.1.3	Vergiftungsgefahr.....	694
9.1.4	Explosionsgefahr.....	695
9.1.5	Beispiele ex-gefährdeter Bereiche bei Faul- und Gasbehältern.....	697
9.2	Mess- und Kontrolleinrichtungen.....	698
9.3	Bauliche Hinweise.....	699
9.4	Vorschriften.....	699
<b>10</b>	<b>Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen und Symbole.....</b>	<b>703</b>
	<b>Sachwortverzeichnis.....</b>	<b>707</b>

## Verzeichnis der Autoren

- Kapitel 1: Prof. Dr.-Ing. C.F. Seyfried
- Kapitel 2: Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. phil. S. Kunst
- Kapitel 3: Prof. Dr.-Ing. H. Kroiss  
Dr.-Ing. K. Svardal
- Kapitel 4: Prof. Dr.-Ing. N. Dichtl  
Dr.-Ing. D. Wendler  
Dr.-Ing. G. Schmelz
- Kapitel 5: Dr.-Ing. H. Meyer  
Dipl.-Ing. R. Lange  
Prof. Dr.-Ing. K.-H. Rosenwinkel  
Prof. Dr.-Ing. U. Austermann-Haun  
Dr.-Ing. U. Temper  
Dipl.-Ing. A. Carozzi  
Dr.-Ing. M. Saake  
Dr.rer.nat. Dipl.-Chem. C. Möbius  
Dr.-Ing. I. Demel  
Prof. Dr.-Ing. C. Buismann  
Dipl.-Ing. W. Eggert
- Kapitel 6: Dr.-Ing. P. Weiland
- Kapitel 7: Prof. Dr.-Ing. K. Fricke  
Dipl.-Ing. A. Hüttner,  
Prof. Dr.-Ing. habil. W. Bidlingmaier
- Kapitel 8: Dr.-Ing. H.-H. Niehoff
- Kapitel 9: Dr.-Ing. H.-H. Niehoff
- Kapitel 10: Prof. Dr.-Ing. W. Bischofsberger

## Anschriften

Austermann-Haun, Ute Prof. Dr.-Ing.	FH Lippe und Höxter Labor für Siedlungswasserwirtschaft Emilienstr. 45, 32756 Detmold E-Mail: auha@ce.fh-lippe.de
Bidlingmaier, Werner Prof. Dr.-Ing. habil.	Bauhaus Universität Weimar Abfallwirtschaft Coudraystraße 7, 99423 Weimar E-Mail: waste@bauing.uni-weimar.de
Bischofsberger, Wolfgang Prof. Dr.-Ing.	Am Schloßsee 5, 24960 Glücksburg E-Mail: w.bischofsberger@t-online.de
Buisman, Cees Prof. Dr.-Ing.	Bode 81, Postbus 8129, 6700 EV Wageningen, Netherlands E-Mail: cees.buisman@wur.nl
Carozzi, Alvaro Dipl.-Ing.	Dr.-Ing. Steinle GmbH Ziegelstr. 2, 83629 Weyarn E-Mail: carozzi@dr-steinle.de
Demel, Ingrid Dipl.-Ing.	Papiertechnische Stiftung Heßstr. 134, 80797 München
Dichtl, Norbert Prof. Dr.-Ing.	TU Braunschweig Pockelstr. 2 a, 38106 Braunschweig E-Mail: n.dichtl@tu-bs.de
Eggert, Wolfgang Dipl.-Ing.	WABAG Wassertechnik GmbH Lise-Meitner-Str. 4 a, 40878 Ratingen E-Mail: wolfgang.eggert@ratingen.wabag.com
Fricke, Klaus Prof. Dr.-Ing.	Leichtweiß-Institut für Wasserbau Abt. Abfallwirtschaft der TU Braunschweig Beethovenstr. 51 a, 38106 Braunschweig E-Mail: klaus.fricke@tu-bs.de
Hüttner, Axel Dipl.-Ing.	IGW Ingenieurgemeinschaft Witzenhausen Fricke & Turk GmbH Bischhäuser Aue 12, 37213 Witzenhausen Email: a.huettner@igw-witzenhausen.de
Kroiss, Helmut O. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Dr. h.c.	Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft TU Wien Karlsplatz 13, 1040 Wien, Österreich Email: Hkroiss@iwag.tuwien.ac.at
Kunst, Sabine Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. phil.	Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfall- technik, Universität Hannover Welfengarten 1, 30167 Hannover E-Mail: kunst@isah.uni-hannover.de

Lange, Roland Dipl.-Ing.	aqua consult Ingenieur GmbH Mengendamm 16, 30177 Hannover E-Mail: lange@aqua-consult.de
Meyer, Hartmut Dr.-Ing.	Emschergenossenschaft / Lippeverband Kronprinzenstr. 24, 45128 Essen E-Mail: h.meyer@eglv.de
Möbius, Christian H. Dr.	CM Consult Dr. Christian H. Möbius & Partner Muesmannstr. 15 g, 86199 Augsburg Email: cm@cm-consult.de
Niehoff, Hans-Hermann Dr.-Ing.	Protechnic Engineering GmbH Willy-Brandt-Str. 23, 63450 Hanau E-Mail: h.niehoff@protechnic.de
Rosenwinkel, Karl-Heinz Prof. Dr.-Ing.	Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfall- technik, Universität Hannover Welfengarten 1, 30167 Hannover E-Mail: rosenwinkel@isah.uni-hannover.de
Saake, Michael Dr.-Ing.	aqua consult Ingenieur GmbH Mengendamm 16, 30177 Hannover E-Mail: saake@aqua-consult.de
Schmelz, Karl-Georg Dr.-Ing.	Emschergenossenschaft / Lippeverband Kronprinzenstr. 24, 45128 Essen E-Mail: kschmelz@eglv.de
Seyfried, Carl-Franz Prof. Dr.-Ing.	Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfall- technik, Universität Hannover Welfengarten 1, 30167 Hannover E-Mail: seyfried@isah.uni-hannover.de
Svardal, Karl Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn.	Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, TU Wien Karlsplatz 13, 1040 Wien, Österreich E-Mail: svardal@iwag.tuwien.ac.at
Temper, Uwe Dr.-Ing.	Schanzstr. 8, 82216 Maisach E-Mail: temper@t-online.de
Weiland, Peter Prof. Dr.-Ing.	Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) Institut für Technologie und Biosystemtechnik Bundesallee 50, 38116 Braunschweig E-Mail: peter.weiland@fal.de
Wendler, Daniel Dr.-Ing.	Wunstorfer Str. 96, 30453 Hannover E-Mail: daniel.wendler@gmx.net

# Abbildungsverzeichnis

<b>Abb. 1-1.</b> Septic Tank (McCarty 1957).....	2
<b>Abb. 1-2.</b> Travis Tank (McCarty 1957) Das Abwasser fließt durch alle drei Kammern .....	3
<b>Abb. 1-3.</b> Emscher Brunnen (Emscherbecken, Imhoff-Tank).....	3
<b>Abb. 1-4.</b> Zweistufige Schlammfäulung (Imhoff, Blunk 1913).....	5
<b>Abb. 1-5.</b> Faulbehälter der Kläranlagen Essen-Rellinghausen mit je 1.400 m <sup>3</sup> Inhalt (Fries 1931) .....	6
<b>Abb. 1-6.</b> Faulbehälter mit Schraubenschaufler, außenliegendem Wärmetauscher und „Trübwasser“-Abzug (Bischofsberger 1993) .....	7
<b>Abb. 1-7.</b> Erstes anaerobes Belebungsverfahren (Kontaktverfahren), Versuchsanlage für Strohnappeabwasser (Jung 1949) .....	10
<b>Abb. 1-8.</b> Großtechnischer Vorläufer des anaeroben Belebungsverfahrens für eine Strohpappenfabrik in Fröndenberg (Ruhrverband, Rohde 1951).....	11
<b>Abb. 1-9.</b> Erstes großtechnisches anaerobes Belebungsverfahren (Kontaktverfahren) für Hefeabwasser; Lageplan (Ruhrverband 1951) .....	12
<b>Abb. 1-10.</b> Einstufiges anaerobes Belebungsverfahren mit Schlammmentgasung.....	14
<b>Abb. 1-11.</b> Zweistufiges anaerobes Belebungsverfahren (getrennte Versäuerung und Methanstufe).....	14
<b>Abb. 1-12.</b> Schlammbettverfahren (UASB-Reaktor) (Lettinga et al. 1979) .....	15
<b>Abb. 1-13.</b> Prozessschema verschiedener Reaktortypen (Seyfried et al. 1986).....	16
<b>Abb. 1-14.</b> Anaerobe Vorbehandlung des Industrieabwassers auf der Kläranlage Marne; Vorversäuerung mit integrierter Abscheidung der nicht hydrolysierten Feststoffe; Festbettmethanreaktor (Seyfried et al. 1990).....	17

---

<b>Abb. 1-15.</b> Anaerobanlage mit Ultrafiltration zur Behandlung von Abwässern einer Maisstärkeproduktion (Ross 1992) .....	18
<b>Abb. 2-1.</b> Schema des mehrstufigen anaeroben Abbaus .....	24
<b>Abb. 2-2.</b> Abhängigkeit des Energiegewinns acetogener Reaktionen vom Wasserstoffpartialdruck .....	30
<b>Abb. 2-3.</b> <i>Desulfovibrio</i> als acetogenes Bakterium .....	31
<b>Abb. 2-4.</b> Schema der Methanogenese aus CO <sub>2</sub> und Wasserstoff .....	33
<b>Abb. 2-5.</b> Pellet aus einem UASB-Reaktor .....	35
<b>Abb. 2-6.</b> Schematischer Aufbau eines Pellets .....	36
<b>Abb. 2-7.</b> Vereinfachte, schematische Übersicht der wichtigsten Prozesse beim anaeroben Abbau .....	38
<b>Abb. 2-8.</b> Wachstumskinetik der acetatverarbeitenden Methanbakterien (nach Gujer, 1983) .....	44
<b>Abb. 3-1.</b> Relative maximale Versäuerungsrate der Säurebakterien bei Glucose in Abhängigkeit von der Temperatur, bezogen auf die Aktivität; 35 °C entsprechen 100 % Aktivität (Zoetemeyer et al. 1982). .....	50
<b>Abb. 3-2.</b> Abhängigkeit der maximalen Umsatzraten von Methanbakterienstämmen von der Temperatur .....	51
<b>Abb. 3-3.</b> Abhängigkeit des pH-Wertes im Faulbehälter von der Säurekapazität bei unterschiedlichen CO <sub>2</sub> -Gehalt des Faulgases .....	53
<b>Abb. 3-4.</b> Einfluss des Feststoffgehaltes auf die spezifische Gasproduktion (Inden 1977). .....	63
<b>Abb. 3-5.</b> HS <sup>-</sup> - H <sub>2</sub> S-Gleichgewicht in Abhängigkeit vom pH-Wert (Kroiss 1986) .....	70
<b>Abb. 3-6.</b> Hemmung der maximalen Methanbildungsrate aus Essigsäure in Abhängigkeit der Konzentration an gelöstem undissoziiertem Schwefelwasserstoff in der umgebenden Flüssigkeit (Kroiss 1986) .....	72
<b>Abb. 3-7.</b> H <sub>2</sub> S-Konzentration in der Gas- bzw. Flüssigphase in Abhängigkeit vom CSB <sub>red</sub> /S <sub>red</sub> -Verhältnis bei verschiedenen pH-Werten (Kroiss 1986) .....	73
<b>Abb. 3-8.</b> H <sub>2</sub> S-Konzentration in der Gas- bzw. Flüssigphase in Abhängigkeit unterschiedlicher CSB-Zuflußkonzentrationen (Kroiss 1986) .....	73
<b>Abb. 3-9.</b> Prozentualer Anteil der undissoziierten Säuren an den Gesamtsäuren in Abhängigkeit vom pH-Wert (Kroiss 1986) .....	76
<b>Abb. 3-10.</b> Hemmung der Methanbildung in Abhängigkeit vom pH-Wert und der Essigsäurekonzentration (Kroiss 1986) .....	77
<b>Abb. 3-11.</b> Prozentuale Hemmung der Methanbildung aus Essigsäure in Abhängigkeit der Konzentration an undissoziierter Propionsäure .....	77
<b>Abb. 3-12.</b> Abhängigkeit des NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -NH <sub>3</sub> -Gleichgewichtes vom pH-Wert (Kroiss 1986) .....	79

---

<b>Abb. 3-13.</b> Zulässige $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentration in Abhängigkeit vom pH-Wert und unterschiedlichen Temperaturen im Reaktor (Kroiss 1986) .....	79
<b>Abb. 4.1-1.</b> Reststoffanfall auf einer Kläranlage in Abhängigkeit der Prozessstufen .....	88
<b>Abb. 4.1-2.</b> Wirkung der Absetzzeit auf städtisches Rohabwasser (ATV 1996) .....	89
<b>Abb. 4.1-3.</b> Auswirkung von Abwasserinhaltsstoffen aus industriellem und gewerblichem Abwasser auf die angewendeten Abwasserreinigungsprozesse (Möller 1997) .....	98
<b>Abb. 4.2-1.</b> Verfahrensketten zur Behandlung von Klärschlamm (Möller 1985) .....	100
<b>Abb. 4.2-2.</b> Konventionelle Faulbehälter mit Betriebseinrichtungen .....	105
<b>Abb. 4.2-3.</b> Spezifischer Umwälzenergieeintrag in Abhängigkeit vom Reaktorvolumen für außenliegende Pumpen (Beckereit 1987) .....	107
<b>Abb. 4.2-4.</b> Spezifischer Umwälzenergieeintrag in Abhängigkeit vom Reaktorvolumen für Rühr- und Mischwerke (Beckereit 1987) .....	107
<b>Abb. 4.2-5.</b> Spezifischer Umwälzenergieeintrag in Abhängigkeit vom Reaktorvolumen für Gaseinpressung (Beckereit 1987) .....	108
<b>Abb. 4.2-6.</b> Verlauf der Gasentwicklung während der Einfahrzeit (35 °C) bei unterschiedlichen Impfschlammzugaben (Annen 1959) .....	115
<b>Abb. 4.2-7.</b> Abhängigkeit zwischen dem prozentualen Gehalt organischer Stoffe in Rohschlämmen und dem erforderlichen Abbaugrad bis zum Erreichen der technischen Abbaugrenze für verschiedene Faulraumtemperaturen nach (Dimowski 1981) .....	118
<b>Abb. 4.2-8.</b> Gasentwicklung aus 1 kg wasserfreien organischen Stoffen des in den Faulraum eingeführten frischen Schlammes im reifen Faulraum bei verschiedenen Temperaturen, bezogen auf die zugeführte organische Trockensubstanz (Imhoff u. Imhoff 1976) .....	119
<b>Abb. 4.2-9.</b> Mehrkammer -Ausfaulgrube (DIN 1970) .....	122
<b>Abb. 4.2-10.</b> Häufigkeitssummenverteilung für $Q_{\text{Rohschlamm}}$ einer deutschen Großstadt (ca. 1.000.000 EW) .....	128
<b>Abb. 4.2-11.</b> Häufigkeitssummenverteilung Rohschlamm TR-Fracht/d einer deutschen Großstadt (ca. 1.000.000 EW) .....	129
<b>Abb. 4.2-12.</b> Häufigkeitssummenverteilung für $Q_{\text{Rohschlamm}}$ über das gleitende 21-d-Mittel einer deutschen Großstadt (ca. 1.000.000 EW) ..	129
<b>Abb. 4.2-13.</b> Verfahrensschema volldurchmischter Faulbehälter im Kaskadenbetrieb .....	134
<b>Abb. 4.2-14.</b> Verfahrensschema zur zweistufigen anaeroben Klärschlammbehandlung .....	136
<b>Abb. 4.2-15.</b> Zweistufige Schlammfaulanlage thermophil/mesophil auf der Kläranlage Osterode/ Harz (Niehoff 1987) .....	138



---

<b>Abb. 4.2-16.</b> Verfahrensfließbild einer zweistufig aeroben/anaeroben Stabilisierungsanlage .....	140
<b>Abb. 4.2-17.</b> Wirkmechanismen und Verfahren zur Klärschlamm-desintegration.....	145
<b>Abb. 4.2-18.</b> Quantitativer Zusammenhang zwischen CSB im Schlamm-wasser und Behandlungstemperaturen bei der thermischen Klär-schlamm-desintegration (Kopp 2004).....	148
<b>Abb. 4.2-19.</b> Chemischer Klärschlammaufschluss mit Phosphorrückge-winnung (Kopp 2004).....	150
<b>Abb. 4.2-20.</b> Anwendungsmöglichkeiten der Klärschlamm-desintegration (ATV-DVWK 2000).....	152
<b>Abb. 4.2-21.</b> Rührwerkskugelmühle (Vollraummühle) .....	153
<b>Abb. 4.2-22.</b> Mit verschiedenen Aufschlussgeräten erreichte Aufschluss-grad in Abhängigkeit von der spezifischen Energie (Müller 1996).	155
<b>Abb. 4.2-23.</b> Erreichte Abbaugrade für verschieden aufgeschlossene Faul-schlämme bei anaerober Behandlung im submersen Betrieb (Kopp et al. 1997).....	156
<b>Abb. 4.2-24.</b> Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB <sub>f</sub> ), Konzentration des ges. Kjeldahl-Stickstoff (TKN) und des Phosphates (PO <sub>4</sub> -P) im Zentrat eines Überschussschlammes nach Zellaufschluss (Müller u. Dichtl 1998).....	158
<b>Abb. 4.2-25.</b> Schlammwasserbelastung in Abhängigkeit von der hydrau-lischen Verweilzeit (Kopp et al. 1997).....	159
<b>Abb. 4.2-26.</b> Durch Klärschlamm oder Abwasser mögliche Infektions-wege.....	161
<b>Abb. 4.2-27.</b> Einfluss von Zeit und Temperatur auf einige Krankheits-erreger nach Feachem et al. (Feachem et al. 1983).....	163
<b>Abb. 4.2-28.</b> Trocknungsverlauf eines Faulschlammes (Kopp 2002).....	174
<b>Abb. 4.2-29.</b> Korrelation zwischen dem Kennwert TR(A) und dem Trok-kenrückstand nach großtechnischem Entwässerungsprozess TR <sub>entw</sub> [%] (Kopp 2002).....	175
<b>Abb. 4.2-30.</b> Abhängigkeit des Zetapotenzials und des Laborentwäs-serungsergebnisses von der Polymerdosiermenge (Kopp 2001) .....	177
<b>Abb. 4.2-31.</b> Zusammenhang zwischen dem Laborschleuderaustrag und groß-technisch erreichten Entwässerungsergebnissen (Denkert 1995) .....	179
<b>Abb. 4.2-32.</b> Vorgänge in einem Eindicker (Seyfried 1986) .....	184
<b>Abb. 4.2-33.</b> Eindicker ohne Schlammräumer (ATV 1983) .....	185
<b>Abb. 4.2-34.</b> Rundeindicker mit Krählwerk (Seyfried 1986).....	186
<b>Abb. 4.2-35.</b> Verfahrensschema einer Flotationsanlage mit Flotations-becken.....	189

---

<b>Abb. 4.2-36.</b> Gas-Sättigungskurven in Abhängigkeit von der Temperatur (p=1.033 mbar).....	191
<b>Abb. 4.2-37.</b> Abzug des Schlammwassers über Öffnungen in seitlich begrenzenden Betondielen (ATV 1996).....	194
<b>Abb. 4.2-38.</b> Schematische Darstellung eines Filterplattensystems (Junge et al. 1995).....	198
<b>Abb. 4.2-39.</b> Spezifische Filterleistung und Trockenrückstand im Schlammkuchen einer Kammer- (links) und Membranfilterpresse (rechts) (Junge et al. 1995).....	200
<b>Abb. 4.2-40.</b> Schema einer Bandfilterpresse (Firma Klein) (Junge et al. 1995).....	201
<b>Abb. 4.2-41.</b> Prinzipskizze eines Gegenstromdekanter (Westfalia Separator) (Junge et al. 1995).....	203
<b>Abb. 4.2-42.</b> Möglichkeiten zur Veränderung von Betriebsparametern bei Dekantern (Junge et al. 1995).....	204
<b>Abb. 4.2-43.</b> Prozentualer Vergleich der Stoffströme in Abwasser- und Sekundärstrom aus der Schlammbehandlung (modifiziert nach Neis 1994).....	207
<b>Abb. 4.2-44.</b> Volumenvergrößerung bei zunehmender N-Rückbelastung (ATV-DVWK 2000 (2)).....	209
<b>Abb. 4.2-45.</b> Schematischer Aufbau einer Ammoniak Strippanlage (Geipel u. Hoffmann 1996).....	213
<b>Abb. 4.2-46.</b> Einbindung einer technischen Einrichtung zur Desintegration von Überschussschlamm in die Verfahrenstechnik der Schlammbehandlung (Kopp et al. 1997).....	222
<b>Abb. 4.2-47.</b> Anteile der Schlammstabilisierungsarten von Kläranlagen unterschiedlicher Größenklasse in Abhängigkeit der Anlagenanzahl (Dichtl u. Keudel 1998).....	237
<b>Abb. 4.2-48.</b> Anteile der Schlammstabilisierungsarten von Kläranlagen unterschiedlicher Größenklasse in Abhängigkeit der Einwohnerwerte (Dichtl u. Keudel 1998).....	239
<b>Abb. 4.3-1.</b> Bioabfallbehandlung auf der Kläranlage Baden-Baden (Korz u. Frick 1996, verändert).....	257
<b>Abb. 4.3-2.</b> Verfahrensschema der Co-Vergärung auf der Kläranlage Radeberg (Wolter et al. 1999).....	260
<b>Abb. 4.3-3.</b> Co-Vergärung auf der Abwasserreinigungsanlage Sölden in Österreich (nach (IB Sprenger, 1996, verändert)).....	261
<b>Abb. 4.3-4.</b> Vergleich von Rohschlamm- und Co-Substrat-Mengen auf der Kläranlage M.....	264
<b>Abb. 4.3-5.</b> Vergleich von Faulbehälterbeschickung (Summe aus Rohschlamm und Co-Substraten) und Gasproduktion auf der Kläranlage M.....	264

---

<b>Abb. 5.1-1.</b> Branchenanteil der industriellen Anaerobanlagen in Deutschland .....	284
<b>Abb. 5.2-2.</b> Gliederung anaerober Verfahren (ATV-Fachauschuß-7.5, 1990, erweitert).....	286
<b>Abb. 5.2-3.</b> Neubau von industriellen Anaerobanlagen in Deutschland .....	287
<b>Abb. 5.2-4.</b> Grundschemata des anaeroben Belebungsverfahrens (Saake, 1986).....	289
<b>Abb. 5.2-5.</b> Anaerobes Belebungsverfahren mit integriertem Parallelplattenabscheider .....	291
<b>Abb. 5.2-6.</b> Schema eines UASB-Reaktors (BIOPAQ <sup>®</sup> - System) .....	297
<b>Abb. 5.2-7.</b> CSB-Raubelastungen von UASB-Reaktoren in Abhängigkeit von den Industriebranchen (Referenzliste mit 269 Anlagen) .....	299
<b>Abb. 5.2-8.</b> Schema des BIOBED <sup>®</sup> -Reaktors .....	307
<b>Abb. 5.2-9.</b> Mittlere CSB-Raubelastung der jeweils neu in Betrieb genommenen BIOBED <sup>®</sup> -Reaktoren (Auslegungswerte).....	310
<b>Abb. 5.2-10.</b> Mittlere CSB-Raubelastung von BIOBED <sup>®</sup> -Reaktoren in verschiedenen Industriebranchen (Auslegungswerte) .....	311
<b>Abb. 5.2-11.</b> Schema des IC <sup>®</sup> -Reaktors (Habets et al 1997).....	314
<b>Abb. 5.2-12.</b> Mittlere CSB-Raubelastung der jeweils neu in Betrieb genommenen IC <sup>®</sup> -Reaktoren (Auslegungswerte).....	318
<b>Abb. 5.2-13.</b> Mittlere CSB-Raubelastung von IC <sup>®</sup> -Reaktoren in verschiedenen Industriebranchen (Auslegungswerte) .....	318
<b>Abb. 5.2-14.</b> Schematische Darstellung eines Festbettreaktors.....	322
<b>Abb. 5.2-15.</b> Schematischer Aufbau eines ANAFLUX <sup>®</sup> -Reaktors sowie großtechnische Anwendung (Firmenprospekt Fa. Degrèmont).....	334
<b>Abb. 5.2-16.</b> Schematischer Aufbau des BMA-Fließbettreaktors.....	337
<b>Abb. 5.3.1-1.</b> Kläranlage der Fa. WeserGold .....	348
<b>Abb. 5.3.1-2.</b> Fließschema der Kläranlage WeserGold.....	350
<b>Abb. 5.3.1-3.</b> Fließschema der Abwasserbehandlung Agrozumos.....	352
<b>Abb. 5.3.1-4.</b> Fließschema der Kläranlage Mineralquelle Zurzach.....	354
<b>Abb. 5.3.2-1.</b> Blockschemata für die Herstellung von Erfrischungsgetränken (ATV M 766 1999).....	356
<b>Abb. 5.3.2-2.</b> Verfahrensschemata der anaeroben-aeroben Betriebskläranlage in Knetzgau (Weinzierl und Müller-Blanke 1998) .....	362
<b>Abb. 5.3.3-3.</b> Fließschema der Kläranlage der Hasseröder Brauerei .....	368
<b>Abb. 5.3.3-4.</b> Fließschema der Kläranlage der Licher Brauerei.....	371
<b>Abb. 5.3.3-5.</b> Kläranlage der Licher Brauerei und kommunale Kläranlage Lich.....	372
<b>Abb. 5.3.3-6.</b> Fließschema der Kläranlage der Brauerei EFES Adana ...	374
<b>Abb. 5.3.3-7.</b> Fließschema der Kläranlage der LUPO Getränke.....	376
<b>Abb. 5.3.3-8.</b> Kläranlage der LUPO Getränke .....	377

---

<b>Abb. 5.3.4-1.</b> Stoffströme der flüssigen und festen Rest- und Abfallstoffe bei Schlachtbetrieben (Steiner 1993, verändert).....	380
<b>Abb. 5.3.4-2.</b> Optimale Belastungsbereiche verschiedener Anaerobverfahren in der Fleischwirtschaft (nach Steiner 1985, verändert).....	385
<b>Abb. 5.3.4-3.</b> Blockfließschema Betriebskläranlage Schlachthof Cakung, Jakarta (erste Ausbaustufe).....	393
<b>Abb. 5.3.4-4.</b> Blockfließschema Rest- und Abfallbehandlung Fa. NFZ Emstek .....	393
<b>Abb. 5.3.4-5.</b> Blockfließschema Rest- und Abfallbehandlung Schlachthof Vitis.....	394
<b>Abb. 5.3.4-6.</b> Blockfließschema Rest- und Abfallbehandlung Fa. DeGeFa, Badbergen .....	394
<b>Abb. 5.3.5-1.</b> Stärkeproduktion in der Europäischen Union und Deutschland seit 1992 (aAc 2002, FSI 2002).....	398
<b>Abb. 5.3.5-2.</b> Prinzipschema der Kartoffelstärkeherstellung (ATV 2000) .....	400
<b>Abb. 5.3.5-3.</b> Prinzipschema der Maisstärkeherstellung (ATV 2000)....	402
<b>Abb. 5.3.5-4.</b> Prinzipschema der Stärkeherstellung aus Weizen (ATV 2002).....	404
<b>Abb. 5.3.5-5.</b> Fließschema der UASB-Anlage in DeKrim zur Behandlung von Kartoffelstärkeabwasser (A 1993).....	410
<b>Abb. 5.3.5-6.</b> Verfahrensschema einer Anaerobanlage (Fließbettreaktoren) zur Reinigung eines Maisstärkeabwassers (ATV 2002) .....	412
<b>Abb. 5.3.5-7.</b> Verfahrensschema einer großtechnischen Anlage (Teilfestbettreaktor) zur Vorbehandlung eines Weizenstärkeabwassers (Althoff 1995), (ATV 2000) .....	415
<b>Abb. 5.3.6-1.</b> Verfahrensschema einer anaerob-aeroben Betriebskläranlage zur Reinigung von Abwasser aus der Kartoffelchipsproduktion .....	422
<b>Abb. 5.3.6-2.</b> Verfahrensschema der anaeroben Vorbehandlungsanlage	424
<b>Abb. 5.3.7-1.</b> Fließschema der Herstellung nieder- und hochveresterten Pektins (Weiß 1997) .....	428
<b>Abb. 5.3.7-2.</b> Abhängigkeit zwischen NO <sub>x</sub> -N-Elimination und pH-Wert im Reaktor bei unterschiedlichen Betriebstemperaturen (Bode 1985) .....	430
<b>Abb. 5.3.7-3.</b> Verfahrensschema der anaeroben-aeroben Betriebskläranlage in Großenbrode, Stand 2003.....	433
<b>Abb. 5.3.8-1.</b> Wasserkreisläufe in der Zuckerfabrik (ATV 2000) .....	438
<b>Abb. 5.3.9-1.</b> Verfahrensgrundbild der Vorbehandlungsanlage der Brennerei .....	450
<b>Abb. 5.3.9-2.</b> CSB-Ablaufkonzentration in Abhängigkeit von der CSB-Schlammbelastung .....	452

---

<b>Abb. 5.3.10-1.</b> Marktanteile verschiedener Branchen des Ernährungsge- werbes in Deutschland.....	455
<b>Abb. 5.3.10-2.</b> Jährlicher Pro-Kopf-Verbrauch an Süßwaren in Deutsch- land .....	456
<b>Abb. 5.3.10-3.</b> Jährlicher Pro-Kopf-Verbrauch an Schokolade (in kg/E ; 2000).....	457
<b>Abb. 5.3.10-4.</b> Foto der Abwasservorbehandlungsanlage (während der jährlichen Wartungsarbeiten).....	464
<b>Abb. 5.3.10-5.</b> CSB – Konzentration 1997–2000 (Monatsmittelwert) ...	465
<b>Abb. 5.3.10-6.</b> Tägliche Abwassermengen und CSB – Frachten 1997- 2000 .....	466
<b>Abb. 5.3.10-7.</b> CSB – Raumbelastung und CSB – Wirkungsgrad 1997– 2000 .....	466
<b>Abb. 5.3.10-8.</b> CSB – Konzentration 2001 und 2002 (Wochenmittelwerte) .....	467
<b>Abb. 5.3.10-9.</b> Tägliche Abwassermengen und CSB – Frachten 2001 und 2002 .....	467
<b>Abb. 5.3.10-10.</b> CSB – Raumbelastung und CSB – Wirkungsgrad 2001 und 2002 .....	468
<b>Abb. 5.4.2-1.</b> Stoffströme und Abwasseranfallstellen bei Tierkörperbesei- tigungsanstalten (nach Metzner 1984, verändert).....	488
<b>Abb. 5.4.2-2.</b> Blockfließschema Betriebskläranlage TBA Oberding .....	497
<b>Abb. 5.4.2-3.</b> Blockfließschema Betriebskläranlage TBA Plattling.....	498
<b>Abb. 5.4.2-4.</b> Blockfließschema Betriebskläranlage TBA Kraftisried....	498
<b>Abb. 5.4.2-5.</b> Blockfließschema Betriebskläranlage TBA Chemnitz.....	499
<b>Abb. 5.4.3-1.</b> Kumulative Anzahl Anlagen THIOPAQ <sup>®</sup> S-Entfernung ..	501
<b>Abb. 5.4.3-2.</b> Blockfließbild Metallrückgewinnung mit biogenem H <sub>2</sub> S	502
<b>Abb. 5.4.3-3.</b> Übersichtszeichnung der großtechnischen Anlage.....	505
<b>Abb. 5.4.3-4.</b> Schematisches Fließbild der Bio-Prozess-Route.....	506
<b>Abb. 5.4.3-5.</b> Schema Phase 1 Behandlungsanlage für Caribou .....	508
<b>Abb. 5.4.3-6.</b> Schema Phase 2 Behandlungsanlage für Caribou .....	509
<b>Abb. 5.4.4-1.</b> BIOBED <sup>®</sup> -Reaktor .....	518
<b>Abb. 5.4.4-2.</b> Verfahrensschema Biologische Biogasentschwefelung ....	519
<b>Abb. 5.4.4-3.</b> Wirbelbettreaktor .....	521
<b>Abb. 5.4.4-4.</b> Fließbild Anaerobe/aerobe Abwasservorbehandlungsanlage in der Humaninsulinherstellung.....	522
<b>Abb. 5.4.4-5.</b> Fließbild Abwasserbehandlungs- und Recyclingprozess in der Textilindustrie.....	522
<b>Abb. 6.1-1.</b> Entwicklung der Zahl der Biogasanlagen in Deutschland seit 1990 .....	534
<b>Abb. 6.1-2.</b> Methanertrag verschiedener Energiepflanzen.....	537

---

<b>Abb. 6.1-3.</b> Verfahrenskonzepte bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen .....	539
<b>Abb. 6.1-4.</b> Verfahrensschema einer Kofermentationsanlage .....	540
<b>Abb. 6.1-5.</b> Feststoffeinbringtechnik .....	541
<b>Abb. 6.1-6.</b> Feststoff-Direkteintragsysteme .....	542
<b>Abb. 6.1-7.</b> Typische Reaktorbauformen für Nassvergärungsverfahren .....	542
<b>Abb. 6.1-8.</b> Gasdruck-Mischverfahren nach Pfefferkorn .....	543
<b>Abb. 6.1-9.</b> Fermenter mit unterschiedlichen Folienabdeckungen .....	544
<b>Abb. 6.1-10.</b> Typische Verfahrenskonzepte landwirtschaftlicher Biogasanlagen .....	546
<b>Abb. 6.1-11.</b> Trockenvergärung mit mobiler Substratbox .....	548
<b>Abb. 6.1-12.</b> Trockenvergärungsverfahren mit Boxenfermentern und Perkolatation .....	549
<b>Abb. 6.1-13.</b> Trockenfermentation ohne Perkolatation mit dem Schlauchverfahren .....	550
<b>Abb. 6.1-14.</b> Schema des 3A-Mietenverfahrens zur Trockenvergärung .....	551
<b>Abb. 6.1-15.</b> Niederdruckgasspeicher für Biogas .....	553
<b>Abb. 6.2-1.</b> Einstufige Vergärungsanlage .....	557
<b>Abb. 6.2-2.</b> Zweistufige Biogasanlage mit Direkteinspeisung von Feststoffen .....	558
<b>Abb. 6.2-3.</b> Zweistufige Biogasanlage mit thermischer Desintegration .....	559
<b>Abb. 6.2-4.</b> Schema der Kofermentations-Gemeinschaftsanlage mit Gärückstandskonditionierung .....	562
<b>Abb. 6.2-5.</b> Trocken-Nass-Simultanvergärung .....	563
<b>Abb. 7-1.</b> Schematischer Verfahrensablauf von Vergärungsanlagen zur Behandlung von Bio- und Restabfällen .....	574
<b>Abb. 7-2.</b> Lageplan eines MBA-Flachbunkers - Aufsicht .....	577
<b>Abb. 7-3.</b> Schematische Darstellung des Verfahrensablaufes bei der Bio- und Grünabfallvergärung – Beispiel trockenere Verfahren .....	581
<b>Abb. 7-4.</b> Korngrößenverteilung Resthaus- und Geschäftsmüll bei Einsatz unterschiedlicher Zerkleinerungsaggregate .....	582
<b>Abb. 7-5.</b> Korngrößenverteilung der Fraktion Organik beim Einsatz unterschiedlicher Zerkleinerungsaggregate .....	584
<b>Abb. 7-6.</b> OTS <sub>bio</sub> -Gehalt und Mengenanteil im Unterkorn verschiedener Kornfraktionen .....	584
<b>Abb. 7-7.</b> Abfall-Nassaflöser und Siebaggregat, Maschinenbau Lohse GmbH, Heidenheim-Oggenhausen, Anlage in Ischgl, Österreich .....	586
<b>Abb. 7-8.</b> Typisierung von Vergärungsverfahren nach deren Prozessführung .....	590
<b>Abb. 7-9.</b> Schematische Darstellung der Möglichkeiten zur Erwärmung des Reaktorzulaufes .....	594

<b>Abb. 7-10.</b> Schematische Darstellung der Möglichkeiten zum Ausgleich der Abstrahlungsverluste .....	594
<b>Abb. 7-11.</b> Schematische Darstellung des KOMPOGAS-Verfahrens für die Verarbeitung von Bioabfällen.....	598
<b>Abb. 7-12.</b> Schematische Darstellung eines horizontal ausgeführten Pfropfstromreaktors (Beispiel KOMPOGAS-Fermenter) .....	599
<b>Abb. 7-13.</b> Schematische Darstellung des LINDE-BRV Reaktors .....	600
<b>Abb. 7-14.</b> Schematische Darstellung des DRANCO-Verfahrens für die Verarbeitung von Bioabfällen.....	601
<b>Abb. 7-15.</b> Schematische Darstellung eines vertikal ausgeführten Pfropfstromreaktors (Beispiel VALORGA-Fermenter) .....	602
<b>Abb. 7-16.</b> Schematische Darstellung des WABIO-Verfahrens für die Verarbeitung von Bioabfällen.....	604
<b>Abb. 7-17.</b> Schematische Darstellung des einstufigen BTA-Verfahrens für die Verarbeitung von Bioabfällen.....	605
<b>Abb. 7-18.</b> Schematische Darstellung des LINDE-KCA-Verfahrens .....	606
<b>Abb. 7-19.</b> Schematische Darstellung des zweistufigen BTA-Verfahrens mit Abtrennung der Feststoffe nach der Hydrolysestufe .....	607
<b>Abb. 7-20.</b> Anlagenschema ISKA <sup>®</sup> -Perkolationsanlage für die Verarbeitung von Restmüll (Anlage Buchen, Odenwaldkreis) .....	609
<b>Abb. 7-21.</b> Schematische Darstellung eines Hybrid- Reaktors, einer Kombination aus Schlamm und Festbettreaktor.....	610
<b>Abb. 7-22.</b> Schematische Darstellung des IMK-Verfahrens für die Verarbeitung von Bioabfällen.....	611
<b>Abb. 7-23.</b> Veränderung des $\text{TOC}_{\text{Eluat}}$ durch die anaerobe und nachgeschaltete aerobe Behandlung von Restabfällen.....	617
<b>Abb. 7-24.</b> Möglichkeiten der Verwertung des anfallenden Biogases....	619
<b>Abb. 7-25.</b> Gesamtkohlenstoff (TOC) im Verlauf der Nachrotte am Beispiel des KOMPOGAS-Verfahrens (Fricke et al. 2001) .....	625
<b>Abb. 7-26.</b> Lachgaskonzentrationen im Rohgas und Stickstoffverbindungen im Eluat im Verlauf der Nachrotte (Wallmann et al., 2001) .....	628
<b>Abb. 7-27.</b> Veränderung der Atmungsaktivität ( $\text{AT}_4$ ) durch die anaerobe und nachgeschaltete aerobe Behandlung von Restabfällen .....	629
<b>Abb. 7-28.</b> Abwasser- und Prozesswasserströme sowie Wässer zur Verwertung einer Vergärungsanlage für Bio- und Restabfälle.....	630
<b>Abb. 7-29.</b> Massenbilanz einer Bioabfallvergärungsanlage mit nachgeschalteter Kompostierung am Beispiel eines Standardbioabfalls ....	641
<b>Abb. 8-1.</b> Spezifische Gasmenge $G_{\text{OTSz}}$ in Abhängigkeit von der Aufenthaltszeit $t_{\text{TS}}$ (Kapp 1984).....	657
<b>Abb. 8-2.</b> Normierte Jahresganglinie des Faulgasanfalls, bezogen auf den jeweiligen Jahresmittelwert (Dichtl et al. 1997).....	658

---

<b>Abb. 8-3.</b> Niederdruck-Trockengasbehälter mit gewichtsbelasteter Membrane (Eisenbau-Heilbronn).....	665
<b>Abb. 8-4.</b> Gassystem einer Schlammfäulungsanlage .....	667
<b>Abb. 8-5.</b> Beispiel für den Wärmebedarf einer Modellanlage für 100.000 EGW bei 100 % Auslastung in $10^8$ kJ/Monat (Meyer et al. 1983) ..	674
<b>Abb. 8-6.</b> Abhängigkeit des Stromverbrauchs vom Reinigungsverfahren (Murl 1999).....	676
<b>Abb. 8-7.</b> Wirkungsgrade von Gasmotoren in Abhängigkeit von der Belastung (Deutz/MWM).....	679
<b>Abb. 8-8.</b> Spezifische Stromerzeugungskosten (inkl. MwSt.) mittels BHKW zur Netzeinspeisung gem. EEG in Abhängigkeit von der Anlagengröße (Niehoff 2002).....	683



## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 2-1.</b> Energie gewinnende Reaktionen methanogener Bakterien...	32
<b>Tabelle 2-2.</b> Kinetische Parameter mesophiler Bakterien bei der Versäuerung von Glucose und Aminosäuren (T: 30–37 °C).....	41
<b>Tabelle 2-3.</b> Kinetische Parameter methanogener und acetogener Bakterien bei Temperaturen von 30–37 °Celsius (Meyer, 2004).....	43
<b>Tabelle 2-4.</b> Günstige Konzentration gelöster Spurenelemente in Anaerobreaktor (Mudrack u. Kunst 2003) .....	48
<b>Tabelle 2-5.</b> Richtwerte für den erforderlichen Spurenelementbedarf, bezogen auf den abgebauten CSB .....	48
<b>Tabelle 3-1.</b> Gegensätzlichkeiten zur Durchmischung von Anaerobreaktoren (Saake 1986).....	57
<b>Tabelle 3-2.</b> Schadwirkung von Schwermetallen.....	82
<b>Tabelle 3-3.</b> Erforderliche Konzentrationen einiger Spurenelemente für einen optimalen anaeroben Abbau (nach Sahn 1981).....	84
<b>Tabelle 4.1-1.</b> Zuordnung wichtiger Kennwerte zu Schlammbehandlungsverfahren (Bahrs 1997) .....	91
<b>Tabelle 4.1-2.</b> Zuordnung wichtiger Kennwerte zu den Schlammarten (Bahrs 1997) .....	95
<b>Tabelle 4.1-3.</b> Rohschlammanfall und -beschaffenheit in Abhängigkeit unterschiedlicher Reinigungsverfahren und Betriebsbedingungen (ATV-DVWK 2003).....	97
<b>Tabelle 4.2-1.</b> Erforderlicher Stabilisierungsgrad in Abhängigkeit von der Art der Beseitigung (Dichtl 1985).....	101
<b>Tabelle 4.2-2.</b> Kennwerte zur Beurteilung des Stabilisierungsgrades <u>aerob</u> behandelter Klärschlämme (nach Dichtl 1985) .....	102
<b>Tabelle 4.2-3.</b> Kennwerte zur Beurteilung des Stabilisierungsgrades <u>anaerob</u> behandelter Klärschlämme (Dichtl 1985).....	103
<b>Tabelle 4.2-4.</b> Richtwerte für Faulraumgrößen nach Imhoff (zitiert in ATV 1983).....	120

---

<b>Tabelle 4.2-5.</b> Spezifische Faulraumvolumen in (l/E) für unbeheizte Faulbehälter in Abhängigkeit von der Schlammart und Belastung nach den Planungs- und Bemessungsgrundsätzen des Landes Nordrhein-Westfalen (Landesamt für Wasser und Abfall NRW 1981) .....	121
<b>Tabelle 4.2-6.</b> Bemessungswerte für beheizte Faulräume (Landesamt für Wasser und Abfall NRW 1981).....	122
<b>Tabelle 4.2-7.</b> Bemessungsvorschläge nach v.d. Emde (1974).....	123
<b>Tabelle 4.2-8.</b> Bemessung von Faulräumen nach Böhnke (Böhnke 1977) .....	124
<b>Tabelle 4.2-9.</b> Zusammenstellung verschiedener Dimensionierungsansätze aus der Literatur für konventionelle Faulbehälter.....	125
<b>Tabelle 4.2-10.</b> Richtwerte für die Faulraumbemessung (zusammengefasst).....	125
<b>Tabelle 4.2-11.</b> Maximale Biogasausbeuten bei vollständigem Abbau der organischen Inhaltsstoffe (ATV-DVWK 2002).....	132
<b>Tabelle 4.2-12.</b> Abhängigkeit des zu erwartenden Biogasanfalls von der praktizierten Verfahrenstechnik der Abwasserreinigung nach Kapp; ergänzt durch den ATV-DVWK Fachausschuss AK 8 Biogas (ATV-DVWK 2002).....	132
<b>Tabelle 4.2-13.</b> Erforderliche Verweilzeiten bei der zweistufigen Klärschlammfaulung (Wechs 1985) .....	138
<b>Tabelle 4.2-14.</b> Im Klärschlamm zu erwartende Erreger, die zu Krankheiten führen können .....	161
<b>Tabelle 4.2-15.</b> Zusammenstellung und Bewertung von Entwässerungskennwerten.....	169
<b>Tabelle 4.2-16.</b> Mittlere Verteilung der Wasseranteile für Faulschlämme (FS) und für simultan aerob stabilisierte Überschussschlämme (ÜS) .....	176
<b>Tabelle 4.2-17.</b> Durch Eindickung erreichbarer Trockenmassenanteil...	187
<b>Tabelle 4.2-18.</b> Maximal zulässige Eindicker-Flächenbelastung (Seyfried 1986).....	187
<b>Tabelle 4.2-19.</b> Gegenüberstellung der Entwässerungsaggregate (Junge et al. 1995) .....	204
<b>Tabelle 4.2-20.</b> Schwankungsbreiten und Erwartungswerte für Konzentrationen an Kohlenstoff- und Nährstoffbelastungen im Prozesswasser der Schlammbehandlung (modifiziert nach ATV 1996) .....	206
<b>Tabelle 4.2-21.</b> Jährliche Humus- und Nährstoffgehalte im Klärschlamm in der Bundesrepublik Deutschland (Poletschny 1995).....	217
<b>Tabelle 4.2-22.</b> Kennzahlen für die aerobe und anaerobe Behandlung organischer Stoffe .....	219
<b>Tabelle 4.2-23.</b> Vergleich der Stickstoff-Rückgewinnungsverfahren (nach Marr u. Koncar 1990) .....	225

---

<b>Tabelle 4.2-24.</b> Zusammenstellung gängiger Verfahrensmöglichkeiten zur Phosphorelimination (Dichtl u. Dockhorn 2002).....	226
<b>Tabelle 4.2-25.</b> Wertstoffpotenzial und Reinigungskosten für verschiedene Abwasserströme (Dockhorn u. Dichtl 2003) .....	230
<b>Tabelle 4.2-26.</b> Frachten und Konzentrationen des Gesamtabwassers sowie von Gelb- und Schwarzwasser von 350.000 EW. (* berechnet nach Angaben von Otterpohl, 2000 mit $4,9 \text{ g K}/(\text{EW} \cdot \text{d})$ ).....	231
<b>Tabelle 4.2-27.</b> Angaben in %/100. (*die Aufteilung des TS wurde angenommen) (Dockhorn u. Dichtl 2003).....	232
<b>Tabelle 4.2-28.</b> Wertstoffpotenzial eines kommunalen Abwassers von 350.000 EW bezüglich organischer Verbindungen, Stickstoff, Phosphor und Kalium (*elektrische Energie aus Verstromung von Biogas) (Dockhorn u. Dichtl 2003).....	232
<b>Tabelle 4.2-29.</b> Wertstoffpotenzial des kommunalen Abwassers auf ganz Deutschland hochgerechnet (Dockhorn u. Dichtl 2003).....	233
<b>Tabelle 4.2-30.</b> Wertstoffpotenzial einzelner Abwasserinhaltsstoffe in den einzelnen Teilströmen berechnet für 350.000 EW (Dockhorn u. Dichtl 2003).....	234
<b>Tabelle 4.3-1.</b> Faulzeiten in bestehenden Faulbehälteranlagen.....	247
<b>Tabelle 4.3-2.</b> Vergleich des Abfallaufkommens in der Nahrungsmittelindustrie mit dem Anfall an Klärschlämmen 1993 (Statistisches Bundesamt 1997).....	248
<b>Tabelle 4.3-3.</b> Betriebe und Abfallmengen im Produzierenden Gewerbe 1993 (Statistisches Bundesamt 1997).....	249
<b>Tabelle 4.3-4.</b> Organische Industrieabfälle (erw. auf der Basis von Braun (1992)) .....	251
<b>Tabelle 4.3-5.</b> Substratspezifische Eigenschaften von Co-Substraten, modifiziert auf der Basis von (Behmel u. Meyer-Pittroff 1996; KTBL 1998).....	252
<b>Tabelle 4.3-6.</b> Basisdaten zur Co-Fermentation von Sauerkrautlake auf der Kläranlage M.....	262
<b>Tabelle 4.3-7.</b> Basisdaten zur Co-Fermentation von Rückständen aus der Gelatineherstellung auf der Kläranlage N.....	266
<b>Tabelle 4.3-8.</b> Beispiele großtechnischer Co-Fermentation auf kommunalen Kläranlagen.....	268
<b>Tabelle 4.3-9.</b> Co-Fermentation auf kommunalen Kläranlagen in Deutschland, Stand 1999 (ISAH 2000) .....	270
<b>Tabelle 4.3-10.</b> Ursachen für Betriebsprobleme infolge Co-Fermentation und mögliche Gegenmaßnahmen.....	271
<b>Tabelle 4.3-11.</b> Schadstoffgrenzwerte für biogene Abfälle zur Co-Fermentation .....	275

---

<b>Tabelle 4.3-12.</b> Positivliste, Teil 1, für biogene Abfälle, die ohne Einzelnachweis grundsätzlich für eine Co-Fermentation in Faulbehälter geeignet sind (Merkblatt zur Co-Fermentation biogener Abfälle in Faulbehältern von Kläranlagen des Landes Nordrhein-Westfalen).....	276
<b>Tabelle 4.3-13.</b> Positivliste, Teil 2, für biogene Abfälle, die einer ökologischen Betrachtung unterzogen werden müssen (Merkblatt zur Co-Fermentation biogener Abfälle in Faulbehältern von Kläranlagen des Landes Nordrhein-Westfalen).....	277
<b>Tabelle 5.2-1.</b> CSB-Raubelastung von anaeroben Belebungsanlagen in Deutschland .....	292
<b>Tabelle 5.2-2.</b> Auslegungs- und Betriebsdaten (Mittelwerte) anaerober Belebungsanlagen .....	292
<b>Tabelle 5.2-3.</b> Vor- und Nachteile der anaeroben Belebungsverfahren ..	294
<b>Tabelle 5.2-4.</b> Betriebsdaten von großtechnischen UASB-Reaktoren ....	297
<b>Tabelle 5.2-5.</b> Vor- und Nachteile des UASB-Verfahrens.....	303
<b>Tabelle 5.2-6.</b> Vor- und Nachteile der EGSB-Reaktoren gegenüber den UASB-Reaktoren.....	305
<b>Tabelle 5.2-7.</b> Betriebsergebnisse (=B) bzw. Auslegungsdaten (=A) von großtechnischen BIOBED®-Reaktoren.....	309
<b>Tabelle 5.2-8.</b> Betriebsergebnisse (=B) bzw. Auslegungsdaten (=A) von großtechnischen IC®-Reaktoren.....	317
<b>Tabelle 5.2-9.</b> CSB-Raubelastung von großtechnischen Festbettreaktoren.....	323
<b>Tabelle 5.2-10.</b> Biomassengehalte von labor- und großtechnischen Festbettreaktoren .....	325
<b>Tabelle 5.2-11.</b> Vor- und Nachteile der anaeroben Festbettreaktoren ....	327
<b>Tabelle 5.2-12.</b> Vor- und Nachteile von Fließbettreaktoren .....	331
<b>Tabelle 5.3.1-1.</b> Die deutsche Fruchtsaftindustrie in Zahlen, Geschäftsjahr 2001, Quelle: Verband der deutschen Fruchtsaft-Industrie e.V. (VdF), Bonn.....	344
<b>Tabelle 5.3.1-2.</b> Beispiele für Abwasserlasten in Fruchtsaftbetrieben verschiedener Größe (nach ATV M 766 und Schobinger 2001) .....	345
<b>Tabelle 5.3.1-3.</b> Mittelwerte vom Gesamtabwasser eines Fruchteverarbeitungsbetriebes (ohne Abfüllung) für mehrere Kampagnen (Rosenwinkel/ Rüffer).....	346
<b>Tabelle 5.3.1-4.</b> Beispiele für die Beschaffenheit von Abwasserteilströmen der Fruchtsaftherstellung (ATV M 766).....	346
<b>Tabelle 5.3.1-5.</b> Jahrsdurchschnittswerte vom Rohabwasser verschiedener Betriebsarten (ATV M 766).....	347
<b>Tabelle 5.3.1-6.</b> Auslegungs- und Betriebsdaten WeserGold .....	349
<b>Tabelle 5.3.1-7.</b> Auslegungs- und Betriebsdaten Agrozumos.....	353
<b>Tabelle 5.3.1-8.</b> Auslegungsdaten.....	354

---

<b>Tabelle 5.3.2-1.</b> Abwasserkonzentrationen, spezifische Wassermengen und Frachten in der Erfrischungsgetränke-Industrie.....	358
<b>Tabelle 5.3.2-2.</b> Abwasserkonzentrationen eines Erfrischungsgetränkeherstellers in Saltillo, Coahuila, Mexiko (Kalyuzhnyi et al. 1997).....	359
<b>Tabelle 5.3.2-3.</b> Liste großtechnischer Anaerobanlagen in der Erfrischungsgetränkeindustrie .....	361
<b>Tabelle 5.3.3-1.</b> Die deutsche Brauwirtschaft in Zahlen, Geschäftsjahr 2002 .....	364
<b>Tabelle 5.3.3-2.</b> Analysenergebnisse der Gesamtabwässer von fünf deutschen Brauereien.....	365
<b>Tabelle 5.3.3-3.</b> Spezifische Abwassermengen und -schmutzfrachten sowie Analysenwerte verschiedener Brauereiabwasserteilströme einer Großbrauerei (Rosenwinkel/ Seyfried).....	366
<b>Tabelle 5.3.3-4.</b> Auslegungs- und Betriebsdaten der Kläranlage der Hasseröder Brauerei .....	369
<b>Tabelle 5.3.3-5.</b> Auslegungs- und Betriebsdaten der Kläranlage der Licher Brauerei.....	371
<b>Tabelle 5.3.3-6.</b> Auslegungs- und Betriebsdaten der Kläranlage der Brauerei EFES .....	375
<b>Tabelle 5.3.3-7.</b> Auslegungs- und Betriebsdaten der Kläranlage der LUPU Getränke.....	377
<b>Tabelle 5.3.4-1.</b> Spezifische Abwassermengen und Schmutzfrachten (sedimentiertes Abwasser) bei Schlacht- und Fleischverarbeitungsbetrieben (nach Jäppelt u. Neumann 1985, verändert) .....	382
<b>Tabelle 5.3.4-2.</b> Anfall und Zusammensetzung von Schlachthofabwasser (nach Tritt 1990), Fleischwarenfabriken: CSB ca. 800–3.000 mg/l, BSB <sub>5</sub> ca. 500–2.500 mg/l.....	382
<b>Tabelle 5.3.4-3.</b> Substratspezifische Kenngrößen verschiedener Rest- und Abfallstoffe der Fleischwirtschaft (nach Tritt et al. 1991, 1993).....	387
<b>Tabelle 5.3.5-1.</b> Bedeutung der Europäischen und der deutschen Stärkeindustrie (FSI, 2002).....	396
<b>Tabelle 5.3.5-2.</b> Rohstoffverarbeitung und Stärkeproduktion in der Europäischen Union und Deutschland (FSI, 2002) .....	397
<b>Tabelle 5.3.5-3.</b> Verbrauch von Stärkeprodukten nach Branchen in der Europäischen Union und Deutschland (FSI, 2002).....	398
<b>Tabelle 5.3.5-4.</b> Spezifische Stoffströme, Konzentrationen und Frachten aus der Kartoffelstärkeproduktion .....	405
<b>Tabelle 5.3.5-5.</b> Abwasserzusammensetzung einer Maisstärkefabrik (Müller 1997).....	406
<b>Tabelle 5.3.5-6.</b> Kennwerte für Brüdenkondensat aus dem Quellwassereindampfer (ATV 2002) .....	406

---

<b>Tabelle 5.3.5-7.</b> Spezielle Abwassermengen und Schmutzfrachten für Abwässer aus der Maisstärkefabrikation (Seyfried/Rosenwinkel 1982) .....	407
<b>Tabelle 5.3.5-8.</b> Abwassercharakteristik bei der Weizenstärkeproduktion (Seyfried et al. 1984, Witt 1991, Althoff 1995, Althoff 2003).....	407
<b>Tabelle 5.3.5-9.</b> Volumina und Belastungsdaten der Betriebskläranlage (Maisstärke-Abwasser) .....	413
<b>Tabelle 5.3.5-10.</b> Kenn- und Betriebswerte für Biogasanlage der Weizenstärkefabrik Hermann Körner GmbH (ATV 2002) .....	413
<b>Tabelle 5.3.5-11.</b> Betriebsergebnisse einer Anaerobanlage (Anaerobstufe) in der Weizenstärkeindustrie seit 1988 (Körner 2003, Althoff 2000, Althoff 2003) .....	414
<b>Tabelle 5.3.6-1.</b> Abwasseranfall und -belastung bei den Verfahrensschritten der Kartoffelverarbeitung (Rosenwinkel, Austermann-Haun, 1996).....	419
<b>Tabelle 5.3.6-2.</b> Großtechnische Anaerobanlagen in der kartoffelveredelnden Industrie in Deutschland .....	421
<b>Tabelle 5.3.7-1.</b> Abwasser kennwerte von Pektinabwässern .....	429
<b>Tabelle 5.3.7-2.</b> Belastungs- und Betriebsdaten einer großtechnischen Hochlastdenitrifikationsstufe (Monatsmittelwerte Januar 2003).....	432
<b>Tabelle 5.3.7-3.</b> Belastungs- und Betriebsdaten des Methanreaktors .....	434
<b>Tabelle 5.3.8-1.</b> Spezifische Abwassermengen sowie die Konzentrationen der wichtigsten Parameter.....	439
<b>Tabelle 5.3.8-2.</b> Großtechnische Anaerobanlagen in der Zuckerindustrie in Deutschland (teilweise nicht mehr in Betrieb).....	441
<b>Tabelle 5.3.9-1.</b> Beschaffenheit von Schlemphen (ATV-DVWK, 1999 bzw. Bischofsberger et al., 1993) .....	446
<b>Tabelle 5.3.9-2.</b> Großtechnische Anaerobanlagen in Brennereien und Hefefabriken in Deutschland (teilweise Anaerobanlage nicht mehr in Betrieb).....	448
<b>Tabelle 5.3.9-3.</b> Mittlere Zulaufmengen und -konzentrationen des Abwassers der Brennerei .....	451
<b>Tabelle 5.3.10-1.</b> Weltweiter Zuckermarkt 1998 und Zuwachs 1994 bis 1998 (ZWS 2002) .....	455
<b>Tabelle 5.3.10-2.</b> Die wichtigsten zehn Märkte der Zuckerwarenindustrie (ZWS 2002) .....	455
<b>Tabelle 5.3.10-3.</b> Effizienz von innerbetrieblichen Maßnahmen (IBM) zur Abwasser- und Frachtreduzierung in einem Süßwaren-Betrieb .....	458
<b>Tabelle 5.3.10-4.</b> Charakteristische Zusammensetzung des Abwassers aus verschiedenen Produktionszweigen der Süßwarenherstellung .....	460
<b>Tabelle 5.3.10-5.</b> Bemessungs- und Betriebswerte einer Abwasservorbehandlungsanlage in der Süßwarenindustrie (1997 bis 2002) .....	463