

Lemmer/Griebe/Flemming (Hrsg.)

# Ökologie der Abwasserorganismen

Mit 73 Abbildungen, davon 5 Farabbildungen  
und 18 Tabellen



Springer

# Inhaltsverzeichnis

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| Abkürzungsverzeichnis . . . . . | XIX |
|---------------------------------|-----|

## Teil I

### Abwasserreinigungsanlagen als aquatisches Biotop

|          |                                                                                                                                                             |    |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>1</b> | <b>Mikrobiologie und Ökologie –<br/>Was haben sie der Abwassertechnik zu bieten?</b><br><i>H. Lemmer</i>                                                    |    |
| 1.1      | Mikrobielle Lebensgemeinschaften in Abwasser . . . . .                                                                                                      | 3  |
| 1.2      | Abwasserreinigung früher und heute . . . . .                                                                                                                | 4  |
| 1.3      | Aktuelle Probleme in der biologischen Abwasserreinigung . . .                                                                                               | 5  |
| 1.3.1    | Nitrifikation . . . . .                                                                                                                                     | 5  |
| 1.3.2    | Denitrifikation . . . . .                                                                                                                                   | 6  |
| 1.3.3    | Biologische Phosphorelimination . . . . .                                                                                                                   | 7  |
| 1.3.4    | Absetzverhalten des Schlammes . . . . .                                                                                                                     | 8  |
| 1.4      | Aktuelle mikrobiologische und ökologische Fragestellungen<br>in der biologischen Abwasserreinigung . . . . .                                                | 9  |
|          | Literatur . . . . .                                                                                                                                         | 10 |
| <b>2</b> | <b>Wechselbeziehungen Bakterien-Protozoen.<br/>Ein Beitrag zur ökosystemaren Betrachtungsweise<br/>der biologischen Abwasserreinigung</b><br><i>H. Güde</i> |    |
| 2.1      | Biologische Abwasserreinigung auf vorwiegend empirischen<br>Grundlagen . . . . .                                                                            | 13 |
| 2.2      | Die reduktionistische „black box“-Betrachtungsweise . . . . .                                                                                               | 14 |
| 2.3      | Die ökosystemare Betrachtungsweise der biologischen<br>Abwasserreinigung . . . . .                                                                          | 15 |
| 2.4      | Vorkommen der Protozoen . . . . .                                                                                                                           | 16 |
| 2.5      | Der direkte Beitrag der Protozoen zur biologischen<br>Abwasserreinigung . . . . .                                                                           | 17 |
| 2.6      | Wechselbeziehungen innerhalb der Lebensgemeinschaft . . . .                                                                                                 | 18 |

|          |                                                                                                  |    |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.7      | Einfluß des Bakterienfraßes auf bakterielle Stoffumsetzungen                                     | 19 |
| 2.8      | Einfluß der Protozoen auf die Zusammensetzung<br>der bakteriellen Lebensgemeinschaften . . . . . | 20 |
| 2.9      | Beteiligung der Protozoen bei der Flockenbildung . . . . .                                       | 22 |
| 2.10     | Zusammenfassung und Ausblick . . . . .                                                           | 23 |
|          | Literatur . . . . .                                                                              | 24 |
| <b>3</b> | <b>Ökologie mikrobieller Biofilme</b><br><i>L.-A. Meyer-Reil</i>                                 |    |
| 3.1      | Einführung . . . . .                                                                             | 25 |
| 3.2      | Relevanz mikrobieller Biofilme . . . . .                                                         | 25 |
| 3.3      | Mikrobielle Besiedlung von Partikeln . . . . .                                                   | 27 |
| 3.4      | Schlüsselfunktionen extrazellulärer polymerer Substanzen . . .                                   | 29 |
| 3.5      | Mikrobielle Populationen und Prozesse in Biofilmen . . . . .                                     | 30 |
| 3.5.1    | Struktur mikrobieller Biofilme . . . . .                                                         | 31 |
| 3.5.2    | Community-Metabolismus . . . . .                                                                 | 32 |
| 3.5.3    | Stratifikation mikrobieller Substratumsätze . . . . .                                            | 34 |
| 3.6      | Ausblick . . . . .                                                                               | 37 |
|          | Literatur . . . . .                                                                              | 38 |

## Teil II

### Den Organismen und Populationsstrukturen abwasserbürtiger Biozönosen auf der Spur

|          |                                                                                                                                |    |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>4</b> | <b>Klassische Methoden zur Charakterisierung<br/>von Abwasserbakterien – Grenzen und Möglichkeiten</b><br><i>P. Kämpfer</i>    |    |
| 4.1      | Ökologische Aspekte der Abwasserreinigung . . . . .                                                                            | 45 |
| 4.2      | Die Rolle der Taxonomie bei der Bestimmung von Struktur<br>und Funktion mikrobieller Lebensgemeinschaften im Abwasser          | 47 |
| 4.3      | Isolation und Kultivierung aerober und fakultativ<br>anaerober Abwasserbakterien . . . . .                                     | 49 |
| 4.4      | Klassische Methoden zur Charakterisierung und Identifizierung<br>von Abwasserbakterien . . . . .                               | 51 |
| 4.4.1    | Grundlegende Vorgehensweisen und Verfahren . . . . .                                                                           | 51 |
| 4.4.2    | Numerische Verfahren, kommerziell erhältliche<br>Identifizierungssysteme . . . . .                                             | 54 |
| 4.4.3    | Automatisierte Identifizierung aerober und fakultativ anaerober<br>Abwasserbakterien mittels physiologisch-biochemischer Tests | 56 |
| 4.4.4    | Zusammensetzung der isolierbaren Biozönose einer Kläranlage<br>mit biologischer Phosphorelimination . . . . .                  | 59 |
| 4.4.4.1  | Struktur der isolierbaren aeroben und fakultativ anaeroben<br>Lebensgemeinschaft . . . . .                                     | 59 |

|          |                                                                                                                                                                                             |     |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.4.4.2  | Funktion der isolierbaren aeroben und fakultativ anaeroben Lebensgemeinschaft mit Bezug auf die biologische Phosphorelimination . . . . .                                                   | 61  |
| 4.5      | Zusammenfassung und Ausblick . . . . .                                                                                                                                                      | 65  |
|          | Literatur . . . . .                                                                                                                                                                         | 66  |
| <b>5</b> | <b><i>Hyphomicrobium</i> spp; im Klärwerk und im abwasserbelasteten Gewässer</b><br><i>C. G. Gliesche, P. Hirsch und N. C. Holm</i>                                                         |     |
| 5.1      | Einleitung . . . . .                                                                                                                                                                        | 69  |
| 5.2      | Taxonomie . . . . .                                                                                                                                                                         | 70  |
| 5.3      | Die Bakteriengattung <i>Hyphomicrobium</i> . . . . .                                                                                                                                        | 71  |
| 5.4      | Vorkommen und Häufigkeit von <i>Hyphomicrobium</i> spp. im Klärwerk und im Gewässer . . . . .                                                                                               | 72  |
| 5.5      | Schlußfolgerungen für die Praxis . . . . .                                                                                                                                                  | 77  |
|          | Literatur . . . . .                                                                                                                                                                         | 78  |
| <b>6</b> | <b>Durchflußzytometrische Untersuchung von Belebtschlamm mit rRNA-gerichteten Oligonucleotidsonden</b><br><i>G. Wallner und R. Amann</i>                                                    |     |
| 6.1      | Einleitung . . . . .                                                                                                                                                                        | 81  |
| 6.1.1    | Identifizierung von Mikroorganismen durch rRNA-gerichtete Hybridisierungssonden . . . . .                                                                                                   | 81  |
| 6.1.2    | Durchflußzytometrie . . . . .                                                                                                                                                               | 83  |
| 6.2      | Methodik . . . . .                                                                                                                                                                          | 85  |
| 6.2.1    | Probenaufbereitung . . . . .                                                                                                                                                                | 85  |
| 6.2.2    | Fluoreszente, <i>in-situ</i> -Hybridisierung und DNA-Färbung . . . . .                                                                                                                      | 85  |
| 6.2.3    | Durchflußzytometrische Analyse . . . . .                                                                                                                                                    | 85  |
| 6.3      | Anwendungsbeispiel . . . . .                                                                                                                                                                | 86  |
| 6.3.1    | Relative Häufigkeit phylogenetischer Gruppen . . . . .                                                                                                                                      | 88  |
| 6.3.2    | Abschätzung von Zellgröße, Ribosomen- und DNA-Gehalt . . . . .                                                                                                                              | 88  |
| 6.4      | Möglichkeiten und Grenzen der Methode . . . . .                                                                                                                                             | 89  |
|          | Literatur . . . . .                                                                                                                                                                         | 91  |
| <b>7</b> | <b>Die Anwendung von <i>in-situ</i>-Hybridisierungssonden zur Aufklärung von Struktur und Dynamik der mikrobiellen Biozönosen in der Abwasserreinigung</b><br><i>M. Wagner und R. Amann</i> |     |
| 7.1      | Einleitung . . . . .                                                                                                                                                                        | 93  |
| 7.2      | <i>In-situ</i> -Hybridisierung von Belebtschlamm mit rRNA-gerichteten Oligonucleotidsonden . . . . .                                                                                        | 96  |
| 7.2.1    | Gruppenspezifische Oligonucleotidsonden . . . . .                                                                                                                                           | 97  |
| 7.2.2    | Die Rolle von Bakterien der Gattung <i>Acinetobacter</i> bei der erhöhten biologischen Phosphorentfernung . . . . .                                                                         | 100 |

|           |                                                                                                                                                               |     |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.2.3     | <i>In-situ</i> -Nachweis Gram-negativer fadenförmiger Bakterien . . .                                                                                         | 102 |
| 7.3       | Konfokale Laserscanning-Mikroskopie . . . . .                                                                                                                 | 104 |
| 7.4       | Ausblick . . . . .                                                                                                                                            | 105 |
|           | Literatur . . . . .                                                                                                                                           | 106 |
| <b>8</b>  | <b>PCR-Fingerprint-Verfahren zur Analyse von Mikroorganismen-Populationen</b><br><i>H.-V. Tichy, P. Wiesner und R. Simon</i>                                  |     |
| 8.1       | Einleitung . . . . .                                                                                                                                          | 111 |
| 8.2       | DNA-Fingerprinting für die Identifizierung und Typisierung von Organismen . . . . .                                                                           | 112 |
| 8.2.1     | RFLP-Verfahren . . . . .                                                                                                                                      | 112 |
| 8.2.2     | PCR-RFLP-Verfahren . . . . .                                                                                                                                  | 113 |
| 8.2.3     | Restriktionsanalyse amplifizierter rDNA (ARDRA) . . . . .                                                                                                     | 114 |
| 8.2.4     | Computergestützte ARDRA-Analyse . . . . .                                                                                                                     | 116 |
| 8.2.5     | Typisierung von Mikroorganismen durch Analyse von random amplified polymorphic DNA (RAPD) Markern . . . . .                                                   | 118 |
|           | Literatur . . . . .                                                                                                                                           | 121 |
| <b>9</b>  | <b>Reaktionstechnische Untersuchungen zur konjugativen Übertragung des TOL-Plasmids pWWO in Suspension und im Biofilm</b><br><i>C. Dössereck und M. Reuss</i> |     |
| 9.1       | Einleitung . . . . .                                                                                                                                          | 123 |
| 9.2       | Plasmide und Konjugation in Kläranlagen . . . . .                                                                                                             | 123 |
| 9.2.1     | Mechanistische Beschreibung der Konjugation . . . . .                                                                                                         | 124 |
| 9.2.2     | Reaktionskinetischer Ansatz zur Beschreibung der konjugativen Plasmidübertragung . . . . .                                                                    | 124 |
| 9.3       | Reaktionstechnische Untersuchungen zur Übertragung des TOL-Plasmids . . . . .                                                                                 | 125 |
| 9.3.1     | Modellsystem . . . . .                                                                                                                                        | 126 |
| 9.3.2     | Konjugation zwischen suspendierten Kreuzungspartnern . . . . .                                                                                                | 126 |
| 9.3.3     | Konjugation bei immobilisierten Kreuzungspartnern . . . . .                                                                                                   | 130 |
| 9.4       | Zusammenfassung . . . . .                                                                                                                                     | 131 |
|           | Literatur . . . . .                                                                                                                                           | 132 |
| <b>10</b> | <b>Viren in der Abwasserbehandlung</b><br><i>K. P. Hennes</i>                                                                                                 |     |
| 10.1      | Einleitung . . . . .                                                                                                                                          | 135 |
| 10.2      | Struktur und Biologie von Viren . . . . .                                                                                                                     | 135 |
| 10.2.1    | Aufbau und Eigenschaften von Viren . . . . .                                                                                                                  | 138 |
| 10.2.2    | Erfassung von Viren . . . . .                                                                                                                                 | 138 |
| 10.2.2.1  | Keimzahlmethoden . . . . .                                                                                                                                    | 138 |

|          |                                                |     |
|----------|------------------------------------------------|-----|
| 10.2.2.2 | Transmissionselektronenmikroskopie . . . . .   | 141 |
| 10.2.2.3 | Epifluoreszenzmikroskopie . . . . .            | 142 |
| 10.2.3   | Phagenökologie . . . . .                       | 144 |
| 10.3     | Viren in der Kläranlage . . . . .              | 145 |
| 10.3.1   | Pathogene Viren im Abwasser . . . . .          | 146 |
| 10.3.2   | Viren als Indikatoren . . . . .                | 147 |
| 10.3.2.1 | Phagen als Fäkalindikatoren . . . . .          | 147 |
| 10.3.2.2 | Viren als Indikatoren in Kläranlagen . . . . . | 148 |
| 10.3.3   | Entfernung von Viren im Abwasser . . . . .     | 149 |
| 10.4     | Ausblick . . . . .                             | 150 |
|          | Literatur . . . . .                            | 151 |

### Teil III

#### Aktivitäten der Mikroorganismen des Abwassers

|           |                                                                                                                                                                                         |     |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>11</b> | <b>Bestimmung der stoffwechselaktiven Bakterien im Belebtschlamm</b><br><i>T. Griebe, G. Schaule, J. Secker und H.-C. Flemming</i>                                                      |     |
| 11.1      | Einleitung . . . . .                                                                                                                                                                    | 155 |
| 11.2      | Material und Methoden . . . . .                                                                                                                                                         | 156 |
| 11.2.1    | Bestimmung der Stoffwechselaktivität auf zellulärer Ebene . . .                                                                                                                         | 156 |
| 11.2.2    | Bestimmung der Gesamt-Stoffwechselaktivität . . . . .                                                                                                                                   | 158 |
| 11.3      | Ergebnisse und Diskussion . . . . .                                                                                                                                                     | 158 |
| 11.3.1    | Mikroskopische Quantifizierung von stoffwechselaktiven<br>Belebtschlamm-Bakterien . . . . .                                                                                             | 158 |
| 11.3.2    | Einfluß der CTC-Konzentration . . . . .                                                                                                                                                 | 161 |
| 11.3.3    | Einfluß der Inkubationszeit . . . . .                                                                                                                                                   | 163 |
| 11.3.4    | Einfluß von Nährstoffzugabe und Sauerstoff auf die CTC-<br>Reduktion in Belebtschlamm . . . . .                                                                                         | 164 |
| 11.3.5    | Einfluß der Probenlagerung auf die CTC-Reduktion<br>in Belebtschlamm . . . . .                                                                                                          | 165 |
| 11.4      | Schlußfolgerungen . . . . .                                                                                                                                                             | 167 |
|           | Literatur . . . . .                                                                                                                                                                     | 167 |
| <b>12</b> | <b>Die Bedeutung von Biofilmen und Flocken für die Nitrifikation<br/>in aquatischen Biotopen</b><br><i>H.-P. Koops, B. Böttcher, P. Dittberner, G. Rath, G. Stehr und<br/>S. Zörner</i> |     |
| 12.1      | Einleitung . . . . .                                                                                                                                                                    | 169 |
| 12.2      | Der Nitrifikationsprozeß und die beteiligten Organismen . . . .                                                                                                                         | 169 |
| 12.3      | Analyse nitrifizierender Bakterienpopulationen an natürlichen<br>Standorten . . . . .                                                                                                   | 171 |
| 12.4      | Entstehung und Besiedlung von Biofilmen und Flocken . . . . .                                                                                                                           | 172 |

|           |                                                                                                                                                                                       |     |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 12.5      | Ökophysiologische Aspekte der Nitrifikation in Biofilmen<br>bzw. Flocken . . . . .                                                                                                    | 175 |
| 12.6      | Aufbau stabiler Populationen nitrifizierender Bakterien<br>in aquatischen Biotopen . . . . .                                                                                          | 178 |
| 12.7      | Perspektiven der <i>in situ</i> -Untersuchungen<br>des Nitrifikationsprozesses . . . . .                                                                                              | 178 |
|           | Literatur . . . . .                                                                                                                                                                   | 179 |
| <b>13</b> | <b>Neue Wege vom Ammonium zum Stickstoff</b><br><i>D. Zart, I. Schmidt und E. Bock</i>                                                                                                |     |
| 13.1      | Einleitung . . . . .                                                                                                                                                                  | 183 |
| 13.2      | Anaerobe Denitrifikation von <i>Nitrosomonas</i> . . . . .                                                                                                                            | 184 |
| 13.2.1    | Ammonium als Elektronendonator . . . . .                                                                                                                                              | 184 |
| 13.2.2    | Hydroxylamin als Elektronendonator . . . . .                                                                                                                                          | 185 |
| 13.2.3    | Organische Substanzen als Elektronendonatoren . . . . .                                                                                                                               | 185 |
| 13.2.4    | Molekularer Wasserstoff als Elektronendonator . . . . .                                                                                                                               | 186 |
| 13.3      | Denitrifikation von <i>Nitrosomonas</i> unter Sauerstofflimitierung . . . . .                                                                                                         | 187 |
| 13.3.1    | <i>Nitrosomonas</i> -Reinkulturen . . . . .                                                                                                                                           | 187 |
| 13.3.2    | Mischkulturen von <i>Nitrosomonas</i> und verschiedenen<br>chemoorganotrophen Bakterien . . . . .                                                                                     | 190 |
| 13.4      | Zusammenfassung und Ausblick . . . . .                                                                                                                                                | 191 |
|           | Literatur . . . . .                                                                                                                                                                   | 191 |
| <b>14</b> | <b>Lachgas (N<sub>2</sub>O)-Freisetzung aus Belebungsbecken<br/>von Kläranlagen in Abhängigkeit von den Abwassereigenschaften</b><br><i>E. Sümer, G. Benckiser und J. C. G. Ottow</i> |     |
| 14.1      | Einleitung . . . . .                                                                                                                                                                  | 193 |
| 14.2      | N <sub>2</sub> O-Quellen und -Senken in Gewässern . . . . .                                                                                                                           | 193 |
| 14.2.1    | Nitrifikation . . . . .                                                                                                                                                               | 194 |
| 14.2.2    | Denitrifikation . . . . .                                                                                                                                                             | 195 |
| 14.2.3    | Nitratammonifikation . . . . .                                                                                                                                                        | 196 |
| 14.3      | N <sub>2</sub> O-Emissionen aus aquatischen und terrestrischen<br>Ökosystemen . . . . .                                                                                               | 197 |
| 14.4      | <i>In-situ</i> -N <sub>2</sub> O-Freisetzung aus dem Belebungsbecken<br>der Kläranlage Gießen . . . . .                                                                               | 199 |
| 14.5      | Diskussion . . . . .                                                                                                                                                                  | 200 |
|           | Literatur . . . . .                                                                                                                                                                   | 203 |
| <b>15</b> | <b>Stoffumsetzungen und Bakterienpopulationen<br/>in belüfteten Abwasserteichanlagen</b><br><i>H.-J. Lorch</i>                                                                        |     |
| 15.1      | Einleitung . . . . .                                                                                                                                                                  | 205 |
| 15.2      | Bau und Betrieb von belüfteten Abwasserteichanlagen . . . . .                                                                                                                         | 206 |
| 15.3      | Eliminierung der C-Verbindungen . . . . .                                                                                                                                             | 207 |

|           |                                                                                                                             |     |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 15.3.1    | Populationsdichte und Aktivität der heterotrophen Bakterienflora . . . . .                                                  | 207 |
| 15.4      | Notwendigkeit der Stickstoffreduzierung hinsichtlich des Gewässerschutzes . . . . .                                         | 210 |
| 15.4.1    | Stickstoffemissionen bei belüfteten Abwasserteichanlagen . . .                                                              | 211 |
| 15.4.2    | N-Dynamik in den Reinigungsstufen . . . . .                                                                                 | 213 |
| 15.5      | Schlußbemerkung . . . . .                                                                                                   | 216 |
|           | Literatur . . . . .                                                                                                         | 217 |
| <b>16</b> | <b>Polyphosphatspeichernde Bakterien und weitergehende biologische Phosphorentfernung in Kläranlagen</b><br><i>G. Schön</i> |     |
| 16.1      | Einleitung . . . . .                                                                                                        | 221 |
| 16.2      | Phosphoraufnahme durch Mikroorganismen . . . . .                                                                            | 223 |
| 16.3      | Phosphoraufnahme durch Belebtschlamm in Kläranlagen . . .                                                                   | 225 |
| 16.3.1    | Aerobe P-Aufnahme und anaerobe P-Rückführung durch Belebtschlamm . . . . .                                                  | 226 |
| 16.3.1.1  | Substratabhängigkeit der aeroben Phosphataufnahme . . . . .                                                                 | 228 |
| 16.3.1.2  | Anaerobe Phosphatrücklösung und Speicherung von Lipiden . .                                                                 | 230 |
| 16.3.1.3  | Aerobe Polysaccharidspeicherung . . . . .                                                                                   | 231 |
| 16.3.1.4  | Abhängigkeit der Phosphorentfernung von der Phosphatkonzentration . . . . .                                                 | 231 |
| 16.3.2    | Hemmung der Phosphatrücklösung durch Nitrat . . . . .                                                                       | 232 |
| 16.3.3    | Modellvorstellungen zum P-Stoffwechsel im Belebtschlamm . .                                                                 | 233 |
| 16.4      | Polyphosphatspeichernde Belebtschlammbakterien . . . . .                                                                    | 234 |
| 16.4.1    | Modellbakterium <i>Acinetobacter</i> . . . . .                                                                              | 234 |
| 16.4.1.1  | Polyphosphatspeicherung und Polyphosphatverwertung durch <i>Acinetobacter</i> . . . . .                                     | 235 |
| 16.4.1.2  | Energiegehalt der Zellen und Polyphosphatspeicherung . . . . .                                                              | 236 |
| 16.4.1.3  | Organische Reservestoffe . . . . .                                                                                          | 237 |
| 16.4.2    | Spektrum polyphosphatspeichernder Bakterien im Belebtschlamm . . . . .                                                      | 238 |
| 16.4.3    | Syntropher Stoffwechsel im Belebtschlamm . . . . .                                                                          | 239 |
| 16.5      | Schlußbetrachtung . . . . .                                                                                                 | 239 |
|           | Literatur . . . . .                                                                                                         | 240 |

## Teil IV

### Physikalische Probleme durch Abwasserbakterien

|           |                                                                    |     |
|-----------|--------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>17</b> | <b>Ursachen und Bekämpfung von Blähschlamm</b><br><i>H. Lemmer</i> |     |
| 17.1      | Einführung . . . . .                                               | 247 |
| 17.2      | Fadenförmige Mikroorganismen im Belebtschlamm . . . . .            | 247 |

|           |                                                                                                                                                                |     |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 17.3      | Wachstumskinetik von Belebtschlamm Bakterien . . . . .                                                                                                         | 249 |
| 17.4      | Ursachen für die Bildung von Blähschlamm . . . . .                                                                                                             | 251 |
| 17.4.1    | Abwasserbeschaffenheit . . . . .                                                                                                                               | 251 |
| 17.4.2    | Betriebs- und Verfahrensweise . . . . .                                                                                                                        | 251 |
| 17.5      | Maßnahmen zur Bekämpfung von Blähschlamm . . . . .                                                                                                             | 253 |
| 17.6      | Ausblick . . . . .                                                                                                                                             | 255 |
|           | Literatur . . . . .                                                                                                                                            | 256 |
| <b>18</b> | <b>Biologische Ursachen von Schaum und Schwimmschlamm<br/>in Belebungsanlagen sowie mögliche Gegenmaßnahmen</b><br><i>H. Lemmer</i>                            |     |
| 18.1      | Einführung . . . . .                                                                                                                                           | 259 |
| 18.2      | Definition von „Schaum und Schwimmschlamm“ . . . . .                                                                                                           | 259 |
| 18.3      | Fadenförmige Bakterien in schäumendem Belebtschlamm . . . . .                                                                                                  | 261 |
| 18.3.1    | Biologie schaubildender Actinomeceten . . . . .                                                                                                                | 261 |
| 18.3.2    | Biologie von <i>Microthrix parvicella</i> . . . . .                                                                                                            | 263 |
| 18.3.3    | Weitere fadenförmige Bakterien in schäumendem<br>Belebtschlamm . . . . .                                                                                       | 264 |
| 18.4      | Wachstumsstrategien von Mikroorganismen in nährstoffarmer<br>Umgebung als Schlüssel zum Verständnis der Flotations-<br>problematik . . . . .                   | 264 |
| 18.5      | Maßnahmen zur Bekämpfung von Flotationsproblemen . . . . .                                                                                                     | 268 |
|           | Literatur . . . . .                                                                                                                                            | 269 |
| <b>19</b> | <b>Schaum in Faulbehältern</b><br><i>S. Kunst und S. Knoop</i>                                                                                                 |     |
| 19.1      | Entwicklung und Beschreibung der Situation<br>in der Abwasserpraxis . . . . .                                                                                  | 273 |
| 19.2      | Zusammenhänge zwischen Schaumbildung<br>auf den Belebungsbecken und schäumenden Faulbehältern . . . . .                                                        | 275 |
| 19.3      | Verfahrenstechnisch bedingte Selektion von <i>M. parvicella</i><br>unter besonderer Berücksichtigung der Qualität indirekt<br>eingeleiteter Abwässer . . . . . | 280 |
| 19.4      | Typische Mischpopulation fädiger Mikroorganismen<br>in Kläranlagen mit weitgehender Abwasserreinigung . . . . .                                                | 284 |
| 19.5      | Ausblick . . . . .                                                                                                                                             | 287 |
| 19.6      | Zusammenfassung . . . . .                                                                                                                                      | 287 |
|           | Literatur . . . . .                                                                                                                                            | 288 |
|           | <b>Nachwort</b><br><i>U. Szewzyk</i> . . . . .                                                                                                                 | 291 |
|           | <b>Glossar</b> . . . . .                                                                                                                                       | 295 |
|           | <b>Sachverzeichnis</b> . . . . .                                                                                                                               | 307 |