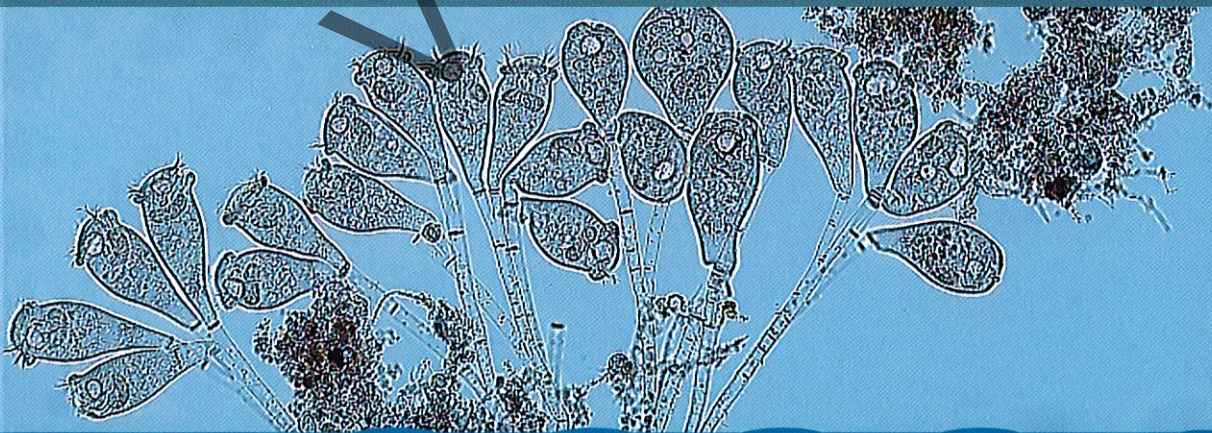




# Das mikroskopische Bild bei der biologischen Abwasserreinigung



wasser





VORSCHAU

**Das mikroskopische Bild  
bei der biologischen  
Abwasserreinigung**

## IMPRESSUM

### Das mikroskopische Bild bei der biologischen Abwasserreinigung

ISBN: 978-3-936385-98-4

#### Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)  
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160  
86179 Augsburg  
Telefon: 0821 9071-0  
E-Mail: [poststelle@lfu.bayern.de](mailto:poststelle@lfu.bayern.de)  
Internet: [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de)

#### Redaktion:

LfU, Referat 67; Redaktionsleitung: Dr. Wilfried Pinther

#### Externe:

Arbeitsgruppe KA 6.1 „Mikrobiologie in der Abwasserreinigung“ in der DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef), Leitung: Dr. Marina Ettl (Yara GmbH, Alpen-Veen); weitere Arbeitsgruppenmitglieder: Miriam Hachenberg (Wuppertal, Wuppertal), Kerstin Heinig (Berliner Wasserbetriebe, Berlin), PDin Dr.-Ing. Christine Helmer-Madhok (Leibniz Universität Hannover, Hannover), Urs Holliger (Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Zürich), Dr. Norbert Kreuzinger (TU Wien, Wien), Allegra Lokay (Abwasserverband Obere Gesprenz, Brensbach), Dr. Edith Nettmann (Ruhr-Universität Bochum, Bochum)

Regierung von Schwaben, Thomas Wittling

Wasserwirtschaftsamt Kempten, Dirk Klos, Olav König

#### Layout:

LfU, Referat 13 u. Thomas Hlauschek

#### Bildnachweis:

siehe Seite 266

#### Druck:

Himmer GmbH Druckerei & Verlag  
Steinerne Furt 95  
86167 Augsburg

#### Stand:

Oktober 2022

#### Auflage:

6.000 Stück

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die publizistische Verwertung der Veröffentlichung – auch von Teilen – wird jedoch ausdrücklich begrüßt. Bitte nehmen Sie Kontakt mit dem Herausgeber auf, der Sie – wenn möglich – mit digitalen Daten der Inhalte und bei der Beschaffung der Wiedergaberechte unterstützt.

Diese Publikation wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.

BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Tel. 089 12 22 20 oder per E-Mail unter [direkt@bayern.de](mailto:direkt@bayern.de) erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.



## INHALT

Vorwort	9
<b>1 Einleitung</b>	<b>11</b>
<b>2 Abwasserreinigungsverfahren und biologische Grundlagen</b>	<b>15</b>
2.1 Belebungsverfahren	18
2.1.1 Belebungsanlagen mit Nachklärbecken	18
2.1.2 Belebungsanlagen im Aufstaubetrieb (SBR-Anlagen)	19
2.1.3 Membranbelebungsanlagen	20
2.1.4 Belebungsanlagen mit granulären Schlämmen	20
2.2 Biofilmanlagen	20
2.2.1 Tropfkörperanlagen	20
2.2.2 Tauchkörperanlagen	21
2.2.3 Anlagen mit frei beweglichen Aufwuchskörpern	22
2.2.4 Biofilter zur Abwasserreinigung	23
2.3 Naturnahe Abwasseranlagen	23
2.3.1 Abwasserteichanlagen	23
2.3.2 Bepflanzte und unbepflanzte Filter	23
2.4 Funktionsweise der biologischen Abwasserreinigung	24
2.4.1 Grundlagen der biologischen Abwasserreinigung	25
2.4.2 Bedeutung der Belüftung in der biologischen Stufe	25
2.4.3 Anpassung und Selektion von Organismen	25
2.4.4 Bakterienwachstum und Trockensubstanz, Überschussschlammabzug	26
2.4.5 Bakterienwachstum und Schlammbelastung	26
2.4.6 Bakterienwachstum und Schlammalter	27
2.4.7 Bakterienwachstum und Temperatur	27
<b>3 Das Mikroskop</b>	<b>29</b>
3.1 Aufbau und Funktion	30
3.2 Anforderungen an die Ausstattung	31
3.2.1 Stativ, Tubus und Okulare	31
3.2.2 Objektivrevolver und Objektive	32
3.2.3 Präparatetisch	32
3.2.4 Beleuchtung und Kondensator	32
3.3 Einstellung des Mikroskops	32
3.3.1 Zentrieren der Beleuchtungseinrichtung	33
3.3.2 Einstellen der Bildebene und Dioptrienausgleich	33
3.3.3 Justierung der Leuchtfeldblende und des Kondensors (Köhlersche Beleuchtung)	34
3.3.4 Abstimmen des Phasenkontrastes	34
3.4 Pflege und allgemeine Hinweise	37
3.5 Fehlersuche	37

<b>4 Probenahme, Präparate und Mikroskopieren</b>	<b>39</b>
4.1 Probenahme	40
4.1.1 Biologische Reinigungsstufe	40
4.1.2 Biofilme	41
4.2 Herstellen von Präparaten	42
4.3 Färbungen von Mikroorganismen und Fadenbakterien	43
4.3.1 Gram- und Neisser-Färbung	43
4.3.2 Kristallviolett-färbung	44
4.3.3 Schwefel-Einlagerungstest	44
4.4 Betrachten der Präparate	45
4.5 Größenbestimmung mit dem Mikroskop	48
<b>5 Probenbeschaffenheit, Dokumentation</b>	<b>51</b>
5.1 Farbe und Geruch der Schlamm- oder Biofilmprobe	53
5.1.1 Farbe	53
5.1.2 Geruch	54
5.2 Flockengröße und Flockenstruktur	54
5.2.1 Größe der Flocke	54
5.2.2 Struktur der Flocke	55
5.3 Abschätzen der Organismendichte	56
5.3.1 Vorkommen	56
5.3.2 Häufigkeit	58
5.3.3 Gesamtfädigkeit	59
5.4 Erfassung der Indikatororganismen mit dem Dokumentationsformblatt	60
<b>6 Identifizierung der Indikatororganismen – Bestimmungsschlüssel</b>	<b>63</b>
6.1 Aufbau des Bestimmungsschlüssels	64
6.2 Bestimmungsschlüssel Tafeln I bis IX	71
6.2.1 Tafel I: Bestimmungsschlüssel Übersicht	72
6.2.2 Tafel II: Fadenförmige Strukturen	73
6.2.3 Tafel III: Auffallend große Organismen (Ein- und Mehrzeller), oft lebhafte Bewegung	74
6.2.4 Tafel IV: Rädertiere, Bärtierchen und Bauchhärlinge	75
6.2.5 Tafel V: Geißeltierchen	76
6.2.6 Tafel VI/1: Freischwimmende oder auf Cirren schreitende Ciliaten (Wimpertierchen)	77
6.2.7 Tafel VI/2: Freischwimmende Wimpertierchen (Fortsetzung Tafel VI/1)	78
6.2.8 Tafel VII: Festsitzende Wimpertierchen und Sauginfusorien	79
6.2.9 Tafel VIII: Wechseltierchen und Wimpertierchen	80
6.2.10 Tafel IX: Sonstige	81

<b>7 Identifizierung der Fadenbakterien – Bestimmungsschlüssel</b>	<b>83</b>
7.1 Merkmale fadenförmiger Bakterien – Formblatt „Dokumentation Fadenbakterien“	84
7.1.1 Unterscheidungsmerkmale fadenförmiger Bakterien im Lebendpräparat	84
7.1.2 Unterscheidungsmerkmale fadenförmiger Bakterien in gefärbten Trockenpräparaten	88
7.1.3 Erfassung mit dem Formblatt „Dokumentation Fadenbakterien“	88
7.2 Hinweise zur Handhabung des Fadenbakterienschlüssels	90
<b>8 Steckbriefe der Organismen im Belebtschlamm</b>	<b>95</b>
8.1 Bakterien, die keine Fäden bilden	102
8.2 Bakterien, die Fäden bilden	108
8.2.1 Niedriglastbakterien	108
8.2.2 Hochlastbakterien	115
8.2.3 Schwefelbakterien	121
8.2.4 Sonstige	124
8.3 Cyanobakterien (Blaualgen)	126
8.4 Pilze	127
8.5 Flagellaten (Geißeltierchen)	128
8.6 Amöben (Wechseltierchen)	131
8.7 Ciliaten (Wimpertierchen)	134
8.7.1 Festsitzende Ciliaten	134
8.7.2 Schreitende Ciliaten	147
8.7.3 Schwimmende/gleitende Ciliaten	150
8.8 Rotatorien (Rädertiere)	168
8.9 Würmer	170
8.10 Weitere Mehrzeller	172
8.11 Algen	179
8.12 Sonstige Strukturen im mikroskopischen Bild	180
<b>9 Lebensgemeinschaften der biologischen Abwasserreinigung</b>	<b>183</b>
9.1 Nahrungsgeflechte in der Abwasserreinigung	184
9.1.1 Zusammensetzung und Aktivität	184
9.1.2 Vermehrung	185
9.1.3 Nahrungspyramide	185
9.1.4 Flockenbildung	187
9.1.5 Typen von Schlammflocken	188
9.1.5.1 Schlammflocken einer schwachbelasteten Anlage	188
9.1.5.2 Schlammflocken einer mittelbelasteten Anlage	189
9.1.5.3 Schlammflocken einer hochbelasteten Anlage	189
9.1.5.4 Sonderform – Blähschlamm	189
9.1.5.5 Sonderform – Primärschlammflocke	189

9.2	<b>Lebensgemeinschaften in Belebungsanlagen</b>	<b>190</b>
9.2.1	Belebtschlamm aus Anlagen mit C-Abbau, Nitrifikation und Denitrifikation	190
9.2.2	Schlammcharakteristika in hochbelasteten Anlagen	190
9.2.3	Schlammcharakteristika bei Sauerstoffmangel	191
9.2.4	Schlammcharakteristika in der Einfahrphase	191
9.2.5	Gestörter Schlamm	191
9.2.6	Einseitig zusammengesetzter Schlamm	191
9.2.7	Vergifteter Schlamm	192
9.3	<b>Lebensgemeinschaften in Biofilmen</b>	<b>192</b>
9.3.1	Tropfkörperanlagen	192
9.3.2	Tauchkörperanlagen	193
9.3.3	Anlagen mit frei beweglichen Aufwuchskörpern, Biofilter	193
9.4	<b>Lebensgemeinschaften in naturnahen Abwasserbehandlungsanlagen</b>	<b>194</b>
9.4.1	Abwasserteiche	194
9.4.2	Bepflanzte und unbepflanzte Filter	195
<b>10</b>	<b>Spezielle Biologie der Fadenbakterien</b>	<b>197</b>
10.1	Umgang mit Betriebsproblemen durch Fadenbakterien	199
10.2	Möglichkeiten der Identifikation von Fadenbakterien	200
10.2.1	Die mikroskopische Analyse	200
10.2.2	Die Fluoreszenz in situ Hybridisierung (FISH)	201
10.3	Selektionsbedingungen und spezifische Bekämpfung von Fadenbakterien	201
10.3.1	Schwefelbakterien	202
10.3.2	Gram-negative Bakterien aus „Hochlastanlagen“	203
10.3.3	Gram-positive Bakterien aus „Niedriglastanlagen“	204
<b>11</b>	<b>Interpretation des mikroskopischen Bildes</b>	<b>207</b>
11.1	Umgang mit den Formblättern „Dokumentation“ und „Bewertung“	208
11.1.1	Manuelle Auswertung mit gedruckten Formblättern	209
11.1.2	Verwendung des Excel-Tools	211
11.2	Anwendung der Formblätter „Dokumentation MB“ und „Bewertung MB“ – Fallbeispiel mit Excel-Tool	214
11.2.1	Bewertung der Indikatororganismen im mikroskopischen Bild	214
11.2.2	Bewertung der Fadenbakterien	218
<b>12</b>	<b>Hinweise auf Betriebsstörungen und Handlungsempfehlungen zur Beseitigung</b>	<b>221</b>
12.1	Allgemeine Hinweise auf Betriebsstörungen	222
12.1.1	Anzeige von Sauerstoffunterversorgung	222
12.1.2	Fäulnisanzeiger im belüfteten Teil der Biologie	223
12.1.3	Anzeige hoher Belastung im belüfteten Teil (bei rechnerisch niedriger Belastung)	224
12.1.4	Stabiler Betrieb trotz Überschreitung von Überwachungswerten	224
12.1.5	Anzeige eines instabilen Betriebes im belüfteten Teil	225
12.1.6	Anzeige von Giftwirkung	225

12.1.7	Anzeige einer zu niedrigen Säurekapazität	226
12.1.8	Artenarme Biozönose im belüfteten Teil	227
<b>12.2</b>	<b>Betriebsstörungen bei Belebungsanlagen</b>	<b>227</b>
12.2.1	Blähschlamm	227
12.2.2	Schwimmschlamm/Schaum	229
<b>12.3</b>	<b>Betriebsstörungen bei Tropfkörperanlagen</b>	<b>230</b>
12.3.1	Starker Bewuchs mit Schwefelbakterien, Pilzen oder fadenförmigen Bakterien	230
12.3.2	Massenentwicklung von Tropfkörperfliegen, Insektenlarven und Würmern	231
12.3.3	Geruchsbelästigung	231
<b>12.4</b>	<b>Betriebsstörungen bei Tauchkörperanlagen</b>	<b>231</b>
12.4.1	Schwefelbakterien auf der ersten Walze, Geruchsbildung	231
12.4.2	Geringer oder kein Biofilm auf der letzten Walze	231
12.4.3	Verschlämmung der Tauchkörper	232
<b>13</b>	<b>Weitergehende molekularbiologische Untersuchungen</b>	<b>233</b>
13.1	Potenzial molekularbiologischer Untersuchungen	234
13.1.1	Grundprinzip der molekularbiologischen Methoden	235
13.1.2	Definitionen und Begriffe	236
13.2	Fluoreszenzmikroskopische Methoden	237
13.2.1	Fluoreszenzmikroskop	237
13.2.2	Fluoreszenzfarbstoffe (Fluorochrome)	238
13.2.3	Wissenswertes über die Fluoreszenzmikroskopie	238
13.2.4	Fluoreszenz in situ Hybridisierung (FISH)	238
13.2.5	Weitere fluoreszenzbasierte Methoden	240
13.2.5.1	Ermittlung der Gesamtzellzahl	240
13.2.5.2	Quantifizierung lebender und toter Bakterien (Live-Dead stain)	242
13.2.5.3	Bestimmung der allgemeinen Stoffwechselaktivität von Bakterien	242
13.3	DNA-basierte Analysen zur Bestimmung der Zusammensetzung mikrobieller Gemeinschaften	243
<b>14</b>	<b>Fachausdrücke / Glossar</b>	<b>245</b>
<b>15</b>	<b>Literatur</b>	<b>257</b>
<b>16</b>	<b>Anlagen</b>	<b>261</b>
	Formblatt Dokumentation mikroskopisches Bild	262
	Formblatt Dokumentation Fadenbakterien	263
	Formblatt Bewertung Fadenbakterien	264
	Formblatt Bewertung mikroskopisches Bild	265
	Bildnachweis	266
	Danksagung	268

## VORWORT

Mikroorganismen leisten einen wesentlichen Beitrag zur Abwasserreinigung auf kommunalen Kläranlagen. Mit mikroskopischen Untersuchungen des belebten Schlammes können – neben physikalischen und chemischen Befunden – aussagekräftige Informationen zum betrieblichen Zustand der Anlagen gewonnen werden. Das so genannte „mikroskopische Bild“ ermöglicht einen direkten Einblick in die Lebenswelt der Organismen, mit deren Hilfe die Abwasserreinigung erfolgt.

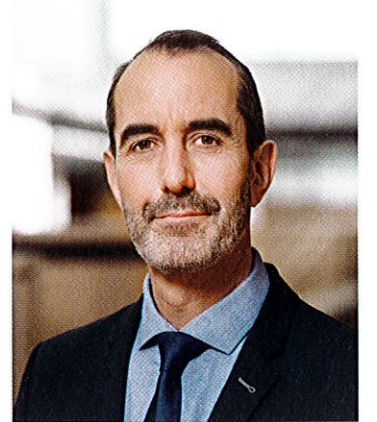
Die vorangegangene Auflage des vom damaligen Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft im Jahr 1999 herausgegebenen Informationsberichts „Das mikroskopische Bild bei der biologischen Abwasserreinigung“ hat als das „Blaue Buch“ weit über Bayern hinaus Anerkennung in der Fachwelt und insbesondere Eingang in die Aus- und Weiterbildung des Betriebspersonals auf Kläranlagen gefunden. In vielen Bundesländern und im europäischen Ausland wird das Blaue Buch eingesetzt, in Anlehnung daran wurden mehrere Schriften ähnlicher Art veröffentlicht. Die vorliegende Neuauflage haben wir unter Mitwirkung einiger ehemaliger Autoren und weiterer Experten erarbeitet. Dabei flossen die neuesten Erkenntnisse aus der Abwasserbiologie sowie die langjährigen Erfahrungen bei der Anwendung des mikroskopischen Bildes auf unterschiedlichsten Kläranlagentypen ein.

Neben der textlichen und bildlichen Überarbeitung wurden insbesondere die Bestimmungsschlüssel sowie die Beschreibungen der Mikroorganismen („Steckbriefe“) umfassend erneuert und um einige Indikatororganismen erweitert. Ein neu entwickeltes Excel-Tool ermöglicht die Erfassung und Bewertung der Biozönose in elektronischer Form in Anlehnung an die bisherigen Formblätter; es ersetzt das EDV-Programm aus dem Jahr 2002. Auf fadenförmig wachsende Bakterien wird in gesonderten Kapiteln eingegangen; neu ist ein Exkurs in aktuelle molekularbiologische Untersuchungsverfahren.

Allen Beteiligten, die an der Erstellung der Neuauflage mitgewirkt haben, danke ich für ihre kompetente und engagierte Arbeit. Ich freue mich, wenn auch die Neuauflage des Blauen Buches als praxisgerechte Arbeitshilfe Akzeptanz findet und einen wichtigen Beitrag zum optimalen Betrieb von Kläranlagen und damit zum nachhaltigen Schutz unserer Gewässer leistet.

Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg im Oktober 2022

**Dr. Christian Mikulla**  
Präsident des Bayerischen Landesamtes für Umwelt



# Einleitung

Wasser ist in vielfältiger Hinsicht Lebensgrundlage und eine unserer wertvollsten Ressourcen. Es kommt als Trinkwasser in die Haushalte und Betriebe und wird nach seinem Gebrauch als Abwasser in Kläranlagen behandelt. Bei der biologischen Reinigung sind vor allem Mikroorganismen am Werk. Wie diese Lebenswelt erfasst und bewertet werden kann, um im Sinne eines nachhaltigen Gewässerschutzes optimale Abwasserreinigung betreiben zu können, soll die Arbeitshilfe aufzeigen.

Kapitel 1

Einleitung

12

VORSCHAU

