

# Digitalmikroskopie in der Siedlungswasserwirtschaft

## BACHELOR THESIS

zur Erlangung des Grades

Bachelor of Engineer

am Fachbereich Architektur und Bauingenieurwesen  
der Hochschule RheinMain

eingereicht von:

Justus Sergej  
Matrikelnummer: 863179

Schumannstraße 51 d  
63069 Offenbach am Main  
Tel.: 069-710459311  
e-mail: sergej\_justus@web.de  
03.01.2013

Referenten:

Prof. Dr. Heinz Eckhardt  
Dipl.-Ing. P. Guckelsberger

**Bachelorthesis im Studiengang Bauingenieurwesen  
für Herrn Sergej Justus**

## Digitalmikroskopie in der Siedlungswasserwirtschaft

### **Veranlassung und Zielsetzung**

Digitalmikroskope haben im Vergleich zu herkömmlichen Durchsichtmikroskopen ein breiteres Einsatzgebiet. An der Hochschule RheinMain wurde von mehreren Fachdisziplinen ein gemeinsam finanziertes Digitalmikroskop angeschafft. Neben dem großen Anwendungsspektrum waren folgende Positivmerkmale ausschlaggebend für die fachübergreifende Gemeinschaftsanschaffung:

- hohe und damit effektive Auslastung
- gemeinsamer Erfahrungsaustausch = optimierte Anwendung
- gemeinsame Problemlösungen
- gemeinsame Betriebskosten/Reparaturen aus dem Etat aller beteiligten Laboratorien
- gemeinsame Investition für Updatemodule/optimierende Neuerungen

Im Rahmen dieser BA-Thesis sollen praktische Anwendungen das Einsatzgebiet des Digitalmikroskops in der Siedlungswasserwirtschaft aufzeigen. Im Mittelpunkt steht dabei die Abwasseranalytik mit besonderem Focus auf die Untersuchung und Bewertung von Belebtschlamm, sowie die Untersuchung von Fauna, Flora und Morphologie von Fließ- und Stillgewässern als Teil eines Gewässermonitorings.

### **Bearbeitungspunkte**

- Literatur- und Internetrecherche zu Stand und Technik der mikroskopischen Belebtschlamm- und Gewässeruntersuchung.
- Die aktuellen Systemkomponenten des Digitalmikroskops der HSRM sind tabellarisch zu erfassen. Mögliche Tabellenkategorien: Komponenten-Nummer, -Einsatz/-Verwendung, -Lagerplatz, -Bestell-Nr. etc.. Soweit erforderlich und sinnvoll, textliche Ergänzungen zu den tabellarisch erfassten Komponenten.
- Darstellung zum aktuellen Stand der mikroskopischen Belebtschlammuntersuchung und deren Bedeutung für den Kläranlagenbetrieb.

- Darstellung zum aktuellen Stand der mikroskopischen Gewässeruntersuchung und deren Bedeutung für die Bewertung der Gewässergüte.
- Die mikroskopischen Bilder zur Organismenbestimmung im Belebtschlamm, wie sie mit den dafür vorzugsweise eingesetzten Mikroskoptypen und Vergrößerungen erzielt werden, sind in praktischen Untersuchungen mit eigenen Digitalmikroskopie-Bildern zu vergleichen. Dabei sind die Einstellung am Digitalmikroskop sowie die eingesetzten Komponenten für optimale Bilder zu erproben und nachvollziehbar zu dokumentieren. In gleicher Weise ist bei der Gewässeruntersuchung vorzugehen. Belebtschlammproben können von selbst gewählten Kläranlagen (z.B. Wiesbaden oder Idstein-Beuerbach) stammen. Gewässerprobenmaterial sollte vom natürlichen Oberlauf sowie vom renaturierten Teil des Wellritzbaches (Wiesbaden) stammen.
- Auf Basis des Hersteller-Manual ist ein anwendungsbezogenes Manual für die o.a. Untersuchungen (Belebtschlamm und Gewässer) zu erarbeiten. Eine Kurzfassung dieses Manual sollte den Schnelleinsatz des Digitalmikroskops für die Untersuchung von Belebtschlamm- und Gewässerproben ermöglichen. Wenn möglich, sollte die praktische Vorgehensweise nach der Manual-Kurzfassung in einem Videoclip aufgezeichnet werden.
- Es ist eine sinnvolle (speicherplatzsparende) EDV-mäßige Erfassung und Archivierung der Probenuntersuchungen zu erarbeiten.
- Parallel zur Projektbearbeitung sind offene Fragen zu sammeln. Etwa zur Hälfte der Projektbearbeitungszeit ist, wenn erforderlich, ein Ortstermin mit dem Hersteller/Lieferanten zu vereinbaren, in welchem diese Fragen geklärt werden sollen. Kommen im Anschluss an diesen Ortstermin, neue, offene Frage hinzu, so sind diese in einem gesonderten Kapitel der BA-Thesis, für die Bearbeitung in Folgeprojekten, aufzuführen.
- Vorschläge für sinnvolle Erweiterungen zum Digitalmikroskop und Ausblicke.

### **Präsentation und Abgabe des Projektes:**

1x digital als Worddatei (nicht PDF!) +1x Papierdruck

1 x Powerpoint-Projekt- und –Ergebnispräsentation

1 x Videoclip wenn möglich (s. Bearbeitungspunkte)

Nicht zwingend, aber aufwertend wäre: 1 x Plakat (nicht kleiner als A3) mit wesentliche Meilensteinen, Ergebnissen, Bildern/Graphiken der Arbeit

## **Inhaltsverzeichnis**

Abkürzungsverzeichnis.....	IV
Abbildungsverzeichnis.....	V
<b>1. Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Zielsetzung .....	2
1.2 Aufbau der Arbeit.....	2
<b>2. Grundlagen und Anwendungsgebiete der Mikroskopie</b> .....	<b>4</b>
2.1 Lichtmikroskope.....	4
2.2 Digitalmikroskope.....	9
2.3 Rasterelektronenmikroskope.....	10
<b>3. Das Digitalmikroskop der Hochschule RheinMain FB A/B</b> .....	<b>11</b>
3.1 Erfassung und Beschreibung der Systemkomponenten .....	12
3.2 Inbetriebnahme und Aufbau des Systemsteuerungsgerätes .....	14
3.3 Probeuntersuchung allgemein (fest-, flüssig-Proben) .....	15
3.4 Datensicherung von Probenuntersuchungen (Bilder, Videos etc.) .....	18
<b>4. Mikroskopische Untersuchung von Belebtschlamm</b> .....	<b>18</b>
4.1 Bedeutung für den Kläranlagenbetrieb .....	19
4.2 Aktuelle Bewertungsmethoden von Belebtschlamm .....	20
4.3 Mikroskopische Belebtschlammanalyse.....	21
<b>5. Mikroskopische Untersuchung der Fließ- und Stillgewässer</b> .....	<b>23</b>
5.1 Bedeutung für die Gewässergütebewertung.....	24
5.2 Aktuelle biologisch- /mikroskopische Bewertungsmethoden.....	26
5.3 Mikroskopische Gewässeranalyse .....	28



<b>6. Eigene digitalmikroskopische Belebtschlammuntersuchungen</b> .....	30
6.1 Konzept und Vorgehensweise der praktischen Untersuchungen.....	30
6.2 Einstellung des Mikroskops zur Versuchsdurchführung .....	30
6.3 Mikroskopische Untersuchung von Belebtschlamm .....	31
<b>7. Eigene digitalmikroskopische Gewässeruntersuchung</b> .....	32
7.1 Konzept und Vorgehensweise der praktischen Untersuchung .....	32
7.2 Einstellung des Mikroskops zur Versuchsdurchführung .....	33
7.3 Mikroskopische Untersuchung von Gewässer.....	34
<b>8. Ergebnisse und Bewertung der mikroskopischen Untersuchung</b> .....	35
8.1 Ergebnisdarstellung von Belebtschlammproben .....	35
8.1.1 Bewertungskriterien.....	46
8.1.2 Interpretation und Bedeutung der Ergebnisse.....	50
8.2 Ergebnisdarstellung von Gewässerproben.....	50
8.2.1 Bewertungskriterien.....	55
8.2.2 Interpretation und Bedeutung der Ergebnisse.....	56
<b>9. Zusammenfassende Kurzanleitung zur digitalmikroskopischen     Belebtschlamm- und Gewässeruntersuchung</b> .....	56
<b>10. Schlussbetrachtung</b> .....	57
10.1 Fazit .....	57
10.2 Handlungsempfehlungen für die Erweiterung der Digitalmikroskopie.....	58
10.3 Ausblick .....	58
<b>Anhang</b> .....	VIII
Anhang A: Systemkomponente und Bestandteile des Digitalmikroskops .....	VIII

---

Anhang B: Experteninterviews .....	IX
Anhang C: Beispiele für die Dokumentation und Bewertung der mikroskopischen Belebtschlammuntersuchung .....	XV
Anhang D: Gewässergütebewertung.....	XVIII
Anhang E: Kurzanleitung zur digitalmikroskopischen Belebtschlamm- und Gewässeruntersuchung.....	XIX
Anhang F: Adobe Photoshop Tutorial für die digitale Bildbearbeitung.....	XXII
Literaturverzeichnis .....	XXIII
Internetquellen und elektronische Dokumente .....	XXV
Versicherung.....	XXXIII

## **Abkürzungsverzeichnis**

CCD	Charge-coupled Device (ladungsgekoppeltes Bauelement)
FTP	File Transfer Protocol (virtueller Server)
EGW	Einwohnergleichwert
ISV	Schlammvolumenindex
HSRM	Hochschule RheinMain
BSB <sub>5</sub>	Biochemischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen
B <sub>TS</sub>	BSB <sub>5</sub> -Schlammbelastung
Spp.	nicht im Einzelnen zu nennende Spezies einer Gattung

## **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Glockentierchen unter dem Hellfeldmikroskop .....	6
Abbildung 2: Glockentierchen unter dem Dunkelfeldmikroskop.....	6
Abbildung 3: Glockentierchen unter dem Phasenkontrastmikroskop .....	7
Abbildung 4: Glockentierchen unter dem Fluoreszenzmikroskop .....	8
Abbildung 5: Gesteinsmatrix ohne (links) und mit (rechts) Polarisation .....	9
Abbildung 6: Glockentierchen unter dem Rasterelektronenmikroskop .....	10
Abbildung 7: Das Digitalmikroskop der Hochschule RheinMain "VHX-500FD" .....	12
Abbildung 8: Zeitliche Gültigkeit chemischer und biologischer Indikatoren zur Gewässergütebestimmung .....	25
Abbildung 9: Flocke aus einem Gewässer-Sediment. Hellfeld-(links) und Fluoreszenzaufnahme (rechts) .....	29
Abbildung 10: Probeentnahmestellen (Wellritzbach).....	33
Abbildung 11: Flockendichte des Belebtschlammes, 100x .....	35
Abbildung 12: Haliscomenobacter hydrossis, "Microthrix"-Bakterium, 700x (Kontrastverbessert).....	36
Abbildung 13: Spirostomum teres, Sumpfwurm, 500x (Kontrastverbessert) .....	37
Abbildung 14: Rotaria rotatoria, Teleskop-Rädertier, 600x .....	38
Abbildung 15: Epistylis spp. ,Glockentierchen, 200x .....	39
Abbildung 16: Fadenwurm, 200x (Kontrastverbessert) .....	40
Abbildung 17: Faden-Jochalge der Gattung Spirogyra (Spiralförmig), 500x (Kontrastverbessert).....	41
Abbildung 18: Zangen-Rädertier der Cephalodella Gattung, 500x .....	41
Abbildung 19: Wurzelfüßer (Schalenamöbe) der Arcella-Gattung, 500x (Kontrastverbessert).....	42

Abbildung 20: Bauchhärling der Gattung Chaetonotus, 400x (Kontrastverbessert) .....	43
Abbildung 21: Vorticella, 800x .....	44
Abbildung 22: Tribonema viride (Gelbgrünalge), 600x (Kontrastverbessert) .....	45
Abbildung 23: Bewertung der Anlagenbelastung mit Hilfe der Flockenzusammensetzung .....	47
Abbildung 24: Visuelle Beurteilung von Belebtschlamm bezüglich des Auftretens von Fadenbakterien, 115x .....	49
Abbildung 25: Gliederwurm (Wenigborster, Oligochaeta), 100x (Kontrastverbessert) .....	50
Abbildung 26: Steinfliegenlarve, 100x (Kontrastverbessert) .....	51
Abbildung 27: Schwanzbolzen (links) und Kiemen (rechts) von Eintagsfliegenlarve, 100x .....	52
Abbildung 28: Flussflohkrebs (Gammarus roeseli), 100x .....	53
Abbildung 29: Zuckmückenlarve, 100x (Kontrastverbessert) .....	53
Abbildung 30: Grünalgen und Kieselalge (orangener Stab), 400x (Kontrastverbessert) .....	54
Abbildung 31: Grünalge (Pediastrum boryanum), 1000x (Kontrastverbessert) .....	55
Abbildung 32: Dokumentation und Bewertung des mikroskopischen Bildes für alle Anlagen .....	XV
Abbildung 33: Dokumentation der mikroskopischen Untersuchung .....	XVI
Abbildung 34: Belebtschlammanalyse (Bericht) .....	XVII
Abbildung 35: Gewässergüteklassen in Abhängigkeit von Saprobienindex .....	XVIII
Abbildung 36: Adobe Photoshop CS5 Extended-Bildverbesserung .....	XXI

## 1. Einleitung

Wasser ist die wichtigste Ressource für die Menschheit und der Grundstein für das Leben auf der Erde. Heute leben auf der Erde fast 7 Milliarden Menschen und das Wasser ist in vielen Teilen der Welt bereits knapp und teilweise erheblich verschmutzt. Rund 1,1 Milliarden Menschen haben keinen Zugang zu sauberem Wasser, 2,6 Milliarden müssen ohne angemessene sanitäre Anlagen auskommen und 1,8 Millionen Menschen sterben jährlich an wasserbedingten Krankheiten<sup>1</sup>. Die EU sieht sich bereits mit diesem Problem konfrontiert und plant bis 2015 die Hälfte der Wasserressourcen in einen sauberen Zustand zu bringen<sup>2</sup>. Verschmutztes Wasser ist durch vielfältige Art verseucht. Es reicht von organischen Verbindungen über anorganische Salze, Metalle, Nährstoffe, Gase, Wärme, Radionuklide, Pestizide, bis hin zu Mikroorganismen<sup>3</sup>.

Umweltingenieure werden in Zukunft immer gefragter und müssen sich mit diesen Problemen auseinandersetzen und Lösungen konzipieren<sup>4</sup>. Die Hochschule RheinMain bietet mit dem Studiengang Bauingenieurwesen, sowohl als Schwerpunkt im Bachelor, als auch ein Masterstudiengang im Bereich Umweltmanagement und Stadtplanung in Ballungsräumen an. Damit ist die HSRM eine der führenden Hochschulen in Deutschland, die qualifizierte Umweltingenieure ausbildet und auf die berufliche Herausforderung vorbereitet<sup>5</sup>.

Der Bereich der Siedlungswasserwirtschaft beschäftigt sich überwiegend mit Wassergewinnung, -aufbereitung, -versorgung und Abwasserreinigung<sup>6</sup>. Besonders die Abwasserreinigung durch Kläranlagen hat großen Einfluss auf die Wasserqualität der Gewässer<sup>7</sup>, die u.a. zur Trinkwassergewinnung dienen<sup>8</sup>. Um die Qualität der Gewässer aufrecht zu erhalten, müssen die Gewässer und das durch Kläranlagen eingeleitete Abwasser überwacht werden<sup>9</sup>. Das Wasser kann dabei durch unterschiedliche Methoden untersucht werden<sup>10</sup>. Eine Methode für die biologische Gewässer- und Abwasseranalyse ist die Mikroskopie<sup>11</sup>.

---

<sup>1</sup> Vgl. Simonis U.E. (Juli 2011), [www.berlin-institut.org](http://www.berlin-institut.org), (03.12.2012 – Dokument 46 der CD)

<sup>2</sup> Vgl. Axel Springer AG, (15.11.2012), [www.welt.de](http://www.welt.de), (03.12.2012 – Dokument 6 der CD)

<sup>3</sup> Vgl. Simonis U.E. (Juli 2011), [www.berlin-institut.org](http://www.berlin-institut.org), (03.12.2012 – Dokument 46 der CD)

<sup>4</sup> Vgl. Stallone S. (2012), [www.nachhaltigleben.ch](http://www.nachhaltigleben.ch), (03.12.2012 – Dokument 47 der CD)

<sup>5</sup> Vgl. Hochschule RheinMain (o.J.), [www.hs-rm.de](http://www.hs-rm.de), (03.12.2012 – Dokument 22 der CD)

<sup>6</sup> Vgl. Gujer, W. (2007), Siedlungswasserwirtschaft, S. 1

<sup>7</sup> Vgl. Seilnacht T. (o.J.), [www.seilnacht.com](http://www.seilnacht.com), (03.12.2012 – Dokument 43 der CD)

<sup>8</sup> Vgl. Heitzmann D. (September 2009), [www.statistik.baden-wuerttemberg.de](http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de), (03.12.2012 – Dokument 19 der CD)

<sup>9</sup> Vgl. Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (2005), [www.landesumweltamt.nrw.de](http://www.landesumweltamt.nrw.de), (03.12.2012 – Dokument 29 der CD), S. 3-4

<sup>10</sup> Vgl. m-haditec GmbH & Co. KG (o.J.), [www.aquakulturtechnik.de](http://www.aquakulturtechnik.de), (03.12.2012 – Dokument 36 der CD)

<sup>11</sup> Vgl. Institut für wissenschaftliche Fotografie (o.J.), [www.kage-mikrofotografie.de](http://www.kage-mikrofotografie.de), (03.12.2012 – Dokument 24 der CD)

Die Hochschule RheinMain hat ein Digitalmikroskop angeschafft, das u.a. im Fachbereich Siedlungswasserwirtschaft den Studenten die Möglichkeit bietet eine eigene Gewässer- bzw. Abwasseranalysen, in Ergänzung zu chemisch-physikalischen Methoden, durchzuführen.

Da noch keine fundierten praktischen Erfahrungen in der Hochschule RheinMain mit dem Digitalmikroskop in diesem Bereich vorliegen, soll diese Thesis „Digitalmikroskopie in der Siedlungswasserwirtschaft“ die theoretischen Einsatzmöglichkeiten aufzeigen und durch praktische Anwendungsbeispiele belegen.

## **1.1 Zielsetzung**

Ziel dieser Arbeit ist es, die Einsatzgebiete des Digitalmikroskops in der Siedlungswasserwirtschaft durch die praktische Anwendung aufzuzeigen. Der Focus soll dabei auf die Untersuchung und Bewertung von Belebtschlamm, sowie die Untersuchung von Fauna, Flora und Morphologie von Fließ- und Stillgewässern gelegt werden.

Außerdem soll der aktuellen Stand der mikroskopischen Belebtschlammuntersuchung und deren Bedeutung für den Kläranlagenbetrieb, sowie die Gewässeruntersuchung und deren Bedeutung für die Bewertung der Gewässergüte aufgezeigt werden. In praktischer Arbeit sollen mikroskopische Bilder vom Belebtschlamm und Gewässern angefertigt werden und damit auch die Einstellung am Digitalmikroskop, sowie die eingesetzten Komponenten für optimale Bilder erprobt und dokumentiert werden. Die Belebtschlammproben sollen aus regionalen Kläranlagen entnommen werden und die Gewässerproben aus dem Wellritzbaches (Wiesbaden).

Ziel ist es am Ende der Thesis Vorschläge für sinnvolle und aussagekräftige Untersuchungen, sowie zur möglichen Erweiterungen des Digitalmikroskops und Ausblicke zu geben.

## **1.2 Aufbau der Arbeit**

Die vorliegende Bachelor-Thesis ist in zehn Hauptkapitel gegliedert. Das **erste Kapitel** gibt einen Überblick über die Thematik und begründet die Entstehung der vorliegenden Arbeit.

Im **zweiten Kapitel** werden die theoretische Grundlagen, Funktionsprinzipien und Anwendungsgebiete der Mikroskopie aufgezeigt. Es wird dabei auf die wesentlichen Verfahren der Lichtmikroskopie eingegangen. Zusätzlich werden die wesentlichen Merkmale des Elektronenrastermikroskops beschrieben

Im **dritten Kapitel** wird das Digitalmikroskop der Hochschule RheinMain beschrieben. Dabei wird auf die Inbetriebnahme, Aufbau und die allgemeine Probenuntersuchung von festen und flüssigen Proben eingegangen.

Im **vierten Kapitel** werden die theoretische Grundlagen der mikroskopischen Belebtschlammuntersuchung und die aktuellen Bewertungsmethoden erläutert. Zusätzlich wird die Bedeutung der mikroskopischen Untersuchung für den Kläranlagenbetrieb geschildert.

Im **fünften Kapitel** werden die theoretische Grundlagen der mikroskopischen Fließ- und Stillgewässeruntersuchung, sowie deren Bewertungsmöglichkeiten beschrieben. Außerdem wird in diesem Kapitel die Bedeutung der mikroskopischen Untersuchung für die Gewässergütebestimmung erläutert.

Im **sechsten und siebten Kapitel** werden die eigene Belebtschlamm- und Gewässeruntersuchungen näher erläutert. Dabei wird auf das Konzept der Untersuchung, die Vorgehensweise, die Einstellungen und Versuchsdurchführung eingegangen.

Im **achten Kapitel** werden die Ergebnisse aus der eigener digitalmikroskopischer Untersuchung von Belebtschlamm- und Gewässerproben dargestellt und interpretiert. Ein Teil des Bildmaterials wurde mit Hilfe eines Grafikbearbeitungsprogramms bearbeitet. Dabei wurden die Farben bzw. der Kontrast optimiert. Ein kurzes Tutorial dazu findet man im Anhang.

Im **neunten Kapitel** werden die Mikroskop-Einstellung für die Belebtschlamm- und Gewässeruntersuchung zusammengefasst. Dazu wird eine zweiseitige Anleitung erstellt. Die Anleitung wird auf der CD für die weitere Verwendung (Studienzwecke) bereitgestellt.

Im **zehnten Kapitel** wird ein Fazit gezogen. Außerdem werden hier Handlungsempfehlungen für die Erweiterung der Digitalmikroskopie und ein Ausblick gegeben.

Zusätzlich zur Thesis wird relevantes Informationsmaterial bereitgestellt. Dazu gehört eine **Powerpoint-Präsentation**, ein **DIN A0 Plakat** und **Videomaterial** von den Untersuchungen der Proben. Bei dem Videomaterial handelt es sich um die untersuchungsbegleitende Videoaufnahmen von Belebtschlamm- und Gewässerproben.



## 2. Grundlagen und Anwendungsgebiete der Mikroskopie

Mikroskope sind Hilfsinstrumente um ein vergrößertes Bild von einem Objekt zu liefern. Das Mikroskop und die mikroskopischen Untersuchungsmethoden finden immer häufiger Ihre Anwendung in medizinischen, biologischen, chemischen, mineralogischen und materialanalytischen Gebieten.

Die Anforderungen an das Mikroskop unterscheiden sich je nach Anwendungsgebiet. Zum einen kann das eine qualitative Darstellung mikroskopischer Objekte sein oder die Mikroskopie wird als analytisches Verfahren zur Charakterisierung von Eigenschaften des Objektes genutzt<sup>12</sup>.

Der Markt passt sich dem breiten Spektrum der Anwendungsgebiete an und stellt ein vielfältiges Angebot an Mikroskopen bereit. Dabei werden die Mikroskope z.B. in Licht-, Elektronen-, Rastersonden-, Ultraschall-, Magnetresonanz- und Neutronenmikroskope unterschieden<sup>13</sup>. Eine weitere Unterteilung erfolgt durch das, für die jeweilige Anwendung geeignetste Mikroskopieverfahren. Die üblichen Erwartungen an das Mikroskop bleiben dabei für alle Anwendungen bestehen<sup>14</sup>:

- Vergrößerung
- Schärfe
- Kontrast

In diesem Kapitel werden ausschließlich Lichtmikroskope, Digitalmikroskope und Rasterelektronenmikroskope näher erläutert. Dabei werden das Funktionsprinzip und die allgemeinen Anwendungsgebiete beschrieben.

### 2.1 Lichtmikroskope

Das Lichtmikroskop ist das klassische Mikroskop, das mit einem Beleuchtungs- und einem Abbildungssystem arbeitet. Das Abbildungssystem dient der Vergrößerung des Blickwinkels mit Hilfe von Linsen<sup>15</sup>. Dabei wird eine natürliche oder künstliche Lichtquelle benutzt, die extern oder durch den Fuß des Mikroskops eingelassen wird und das aufgelegte Präparat beleuchtet<sup>16</sup>.

---

<sup>12</sup> Vgl. Piersig W. (2009), Mikroskop und Mikroskopie – Ein wichtiger Helfer auf vielen Gebieten, S. 2

<sup>13</sup> Vgl. Piersig W. (2009), Mikroskop und Mikroskopie – Ein wichtiger Helfer auf vielen Gebieten, S. 3-4

<sup>14</sup> Vgl. Sernetz H., Giese C., Hauptmann D., u.a. (2000), [www.uni-giessen.de](http://www.uni-giessen.de), (03.12.2012 – Dokument 45 der CD), S. 1

<sup>15</sup> Vgl. Linß W., Fanghänel J. (1998), Histologie – Zytologie, allgemeine Histologie, mikroskopische Anatomie, S. 3

<sup>16</sup> Vgl. Karp G. (2005), Molekulare Zellbiologie, S.912

Die Lichtstrahlen werden in der Aperturblende (Öffnungsblende) erfasst und über die Kondensorenlinse durch das Präparat so gelenkt, dass dieser die maximale Ausleuchtung aufweist.

Die am Ende des Tubus (Verbindung zwischen Okular und Objektiv) angebrachte Objektivlinse wirft ein gespiegeltes, vergrößertes und reelles Bild des Präparates. Durch das Okular, welches als Lupe wirkt, wird dem Betrachter das Schlussbild wieder richtig herum angezeigt und noch stärker vergrößert<sup>17</sup>.

Die Qualität der Lichtmikroskope wird wesentlich durch die verwendeten Materialien und der Präzisionsmechanik beeinflusst. Ein weiteres Kriterium für die Qualitätsunterscheidung ist die numerische Apertur der Linsen, des Objektivs und des Kondensors.

Die numerische Apertur beeinflusst die Schärfe der Darstellung bei hoher Vergrößerung und hängt sehr eng mit dem Öffnungswinkel des Objektivs und dem Brechungsindex zusammen<sup>18</sup>. Dabei spielt die Wellenlänge der vorhandenen Lichtstrahlen eine entscheidende Rolle. Ist die Wellenlänge größer als der Abstand der benachbarten Bildpunkte, so kommt es nicht zur Darstellung<sup>19</sup>.

Die Unterteilung der Lichtmikroskope findet nach dem physikalischen Prinzip statt. Dazu gehören unter anderem folgende Mikroskope :

- Hellfeldmikroskop (klassischer Lichtmikroskop)
- Dunkelfeldmikroskop
- Phasenkontrastmikroskop
- Polarisationsmikroskop
- Fluoreszenzmikroskop
- Konfokalmikroskop
- Röntgenmikroskop

Durch das breite Spektrum der Mikroskopieverfahren und deren Preisstruktur werden die Lichtmikroskope, insbesondere die Hellfeldmikroskope in Schulen<sup>20</sup>, diversen Laboratorien<sup>21</sup> und Arztpraxen<sup>22</sup> eingesetzt.

---

<sup>17</sup> Vgl. Linß W., Fanghänel J. (1998), Histologie – Zytologie, allgemeine Histologie, mikroskopische Anatomie, S. 3

<sup>18</sup> Vgl. Wanner G. (2004), Mikroskopisch-botanisches Praktikum, S. 6-8

<sup>19</sup> Vgl. Zabel H. (2011), Kurzlehrbuch Physik, S.175

<sup>20</sup> Vgl. Manes-Wagner H. (2004), Aktuelle Unterrichtsvorbereitung für den Biologieunterricht, S. 54

<sup>21</sup> Vgl. Steffens S. (2003), [www.hss.ulb.uni-bonn.de](http://www.hss.ulb.uni-bonn.de), (03.12.2012 – Dokument 49 der CD), S.16

<sup>22</sup> Vgl. Groß U. (2009), Kurzlehrbuch – Medizinische Mikrobiologie und Infektiologie, S. 138

Das Hellfeldmikroskop bietet folgende Darstellungsmöglichkeit an:



**Abbildung 1: Glockentierchen unter dem Hellfeldmikroskop**

Quelle: Eigenaufnahme mit dem Digitalmikroskop der Hochschule RheinMain



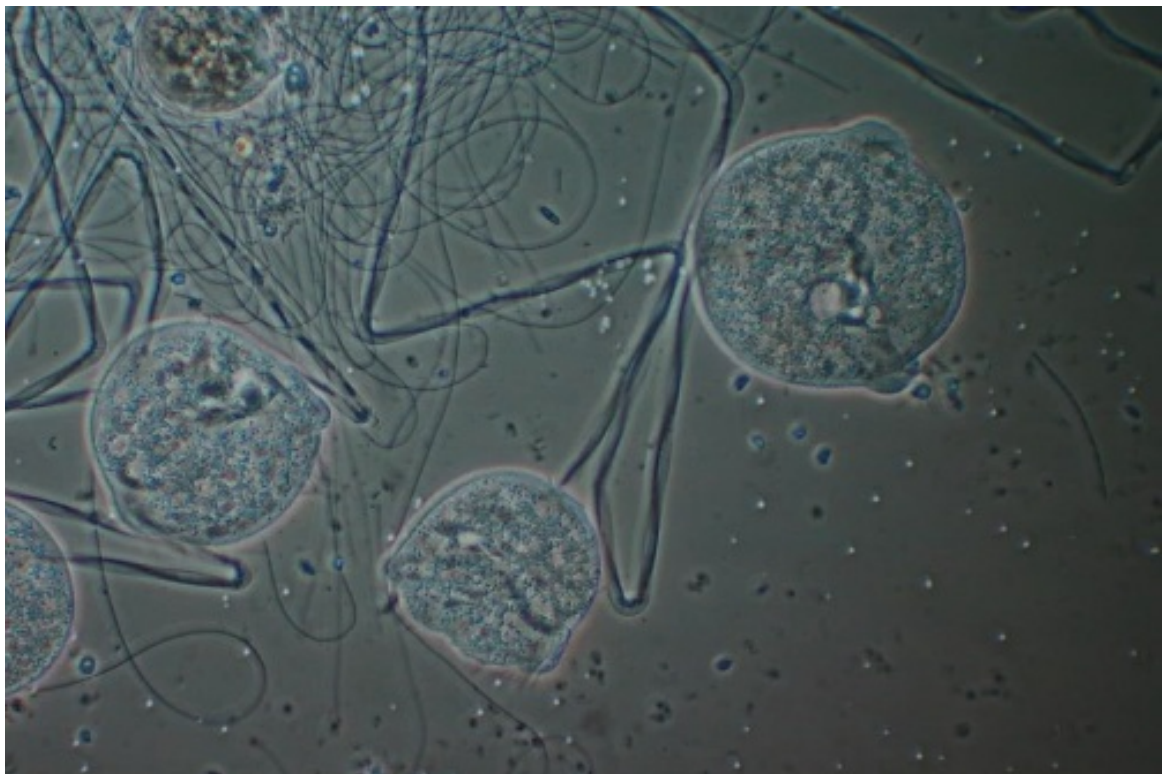
**Abbildung 2: Glockentierchen unter dem Dunkelfeldmikroskop**

Quelle: Fox F. (26. Oktober 2012), [www.mikroskopie-forum.de](http://www.mikroskopie-forum.de), (01.01.2013 – Dokument 14 der CD)

Bei dem **Dunkelfeldmikroskop** wird die Präparatebene durch den Kondensor so beleuchtet, dass die Lichtstrahlen das Objektiv auf indirektem Weg erreichen.

Dieses geschieht nur dann, wenn die Lichtstrahlen durch die Strukturen des Präparates gebrochen, reflektiert oder gestreut werden. Die Strukturen erscheinen dabei hell leuchtend auf dunklem Hintergrund<sup>23</sup>. Die Anwendung findet meist in der Medizin statt z.B. zum Nachweis von Bakterien oder zur Blutuntersuchung<sup>24</sup>. Die Darstellungsmöglichkeit des Dunkelfeldmikroskops ist in der Abbildung 2 auf Seite 6 dargestellt.

Zur Untersuchung von nicht gefärbten Mikroorganismen, lebenden Zellen und Gewebe wird die **Phasenkontrastmikroskopie** angewandt. Der Kontrast ergibt sich aufgrund der Veränderung der Lichtwellen durch die Beschaffenheit des Präparats. Die Objekte erscheinen dabei dunkel auf einem hellem Hintergrund<sup>25</sup>. Folgende Abbildung zeigt die Darstellungsmöglichkeit des Phasenkontrastmikroskops.



**Abbildung 3: Glockentierchen unter dem Phasenkontrastmikroskop**

Quelle: Jon B. (18. Dezember 2011), [www.mikroskopie-forum.de](http://www.mikroskopie-forum.de), (01.01.2013 – Dokument 25 der CD)

---

<sup>23</sup> Vgl. Wachtler F. (2005), Histologie – Lehrbuch der Zytologie, Histologie und mikroskopischen Anatomie des Menschen, S. 19

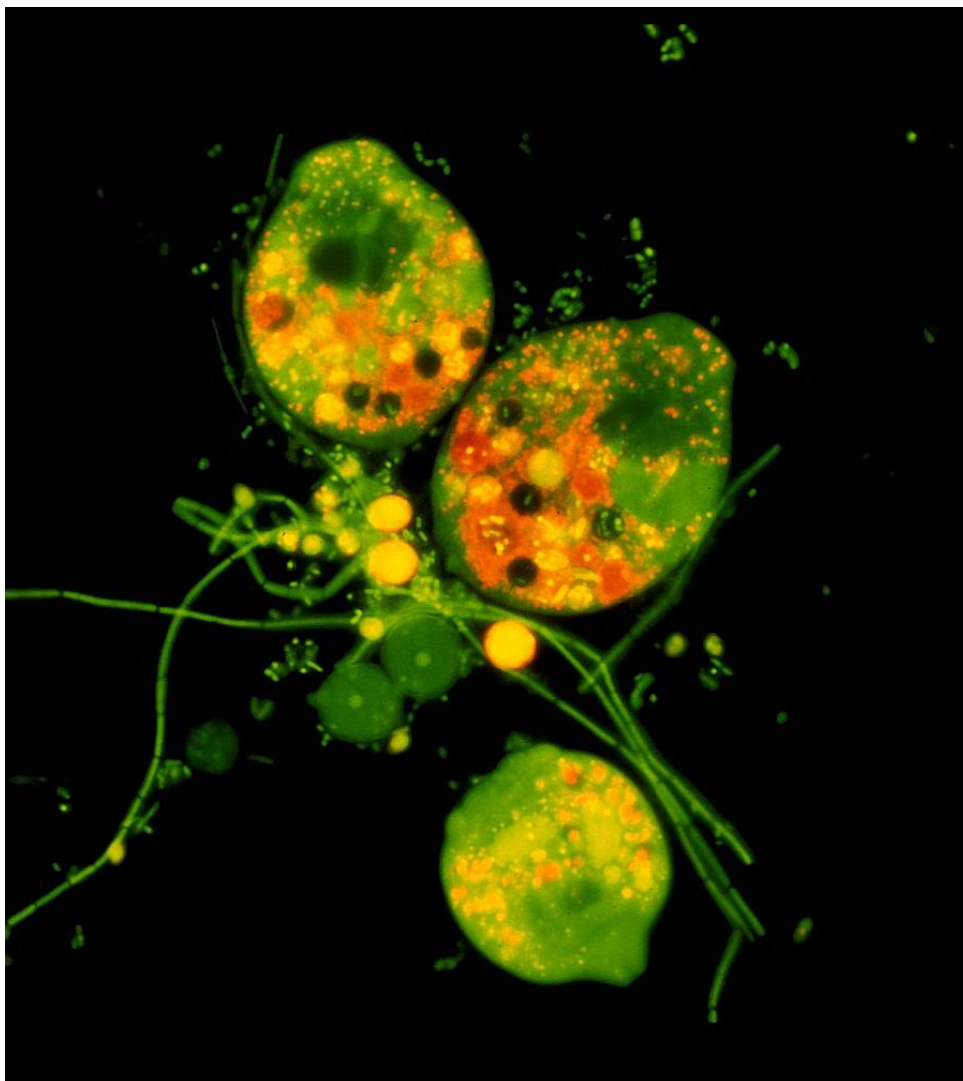
<sup>24</sup> Vgl. Van den Berg F. (2005), Angewandte Physiologie 5 - Komplementäre Therapien verstehen und integrieren, S. 217

<sup>25</sup> Vgl. Wachtler F. (2005), Histologie – Lehrbuch der Zytologie, Histologie und mikroskopischen Anatomie des Menschen, S. 20-21

Eine weitere Möglichkeit der Mikroorganismenuntersuchung wird durch die **Fluoreszenzmikroskopie** ermöglicht. Die Zellen werden bei diesem Mikroskopieverfahren mit fluoreszierenden Farbstoffen eingefärbt.

Durch das Anordnen von zwei Filtersystemen an einem Hellfeldmikroskop können die Wellenlängen von dem Fluoreszenzfarbstoff durch den ersten Filter wahrgenommen werden. Der zweite Filter lässt dagegen nur von dem Farbstoff emittierte Lichtstrahlen durch. Die gefärbten Objekte erscheinen in leuchtenden Farben auf einem dunklen Hintergrund<sup>26</sup>.

Das Fluoreszenzmikroskop bietet folgende Darstellungsmöglichkeit an:



**Abbildung 4: Glockentierchen unter dem Fluoreszenzmikroskop**

Quelle: Adelman H. (27. Januar 2012), [www.mikroskopie-forum.de](http://www.mikroskopie-forum.de), (01.01.2013 – Dokument 1 der CD)

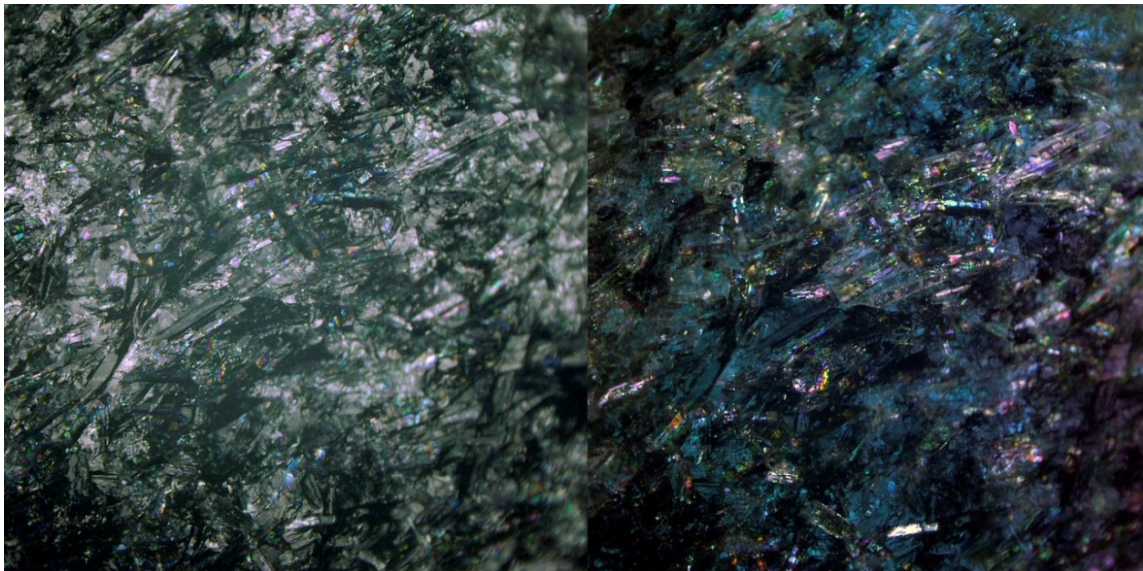
---

<sup>26</sup> Vgl. Alberts B., Bray D., Hopkin K., u.a. (2012), Lehrbuch der Molekularen Zellbiologie, S. 8



Ein **Polarisationsmikroskop** kommt durch die Erweiterung des Hellfeldmikroskops mit Hilfe von Polarisationsfiltern zustande. Die Polarisationsfilter lassen dabei nur in der Schwingungsebene schwingendes Licht durch. Die Filteranordnung erfolgt an zwei Stellen. Der erster Polarisator wird am Objektiv installiert und polarisiert das reflektierte Licht. Ein zweiter Polarisator wird hinter dem Objektiv installiert<sup>27</sup>. Dadurch wird die Wechselwirkung von Lichtstrahlen z.B. durch ein kristallines Material ausgeglichen. Dieses ermöglicht das Gefüge der Mineralkörner in einem Dünnschliff sichtbar zu machen.

Die Mineralienbestimmung erfolgt durch das Messen der einzelnen Lichtbrechungseigenschaften der Mineralkörner<sup>28</sup>. Folgende Abbildung zeigt die Darstellungsmöglichkeit des Polarisationsmikroskops.



**Abbildung 5: Gesteinsmatrix ohne (links) und mit (rechts) Polarisation**

Quelle: Eigenaufnahme mit dem Digitalmikroskop VHX-500FD

## 2.2 Digitalmikroskope

**Ein Digitalmikroskop ist eine Modifikation des analogen Lichtmikroskops durch die Erweiterung von digitalen Einzelkomponenten, welche die Umwandlung der Objektinformationen für die elektronische Bearbeitung ermöglichen.**

Die Hauptelemente sind dabei eine Kameraeinheit (meist CCD basiert) und die dazugehörige Kommunikationssoftware mit deren Hilfe die Abbildung auf einen Monitor übertragen wird<sup>29</sup>.

---

<sup>27</sup> Vgl. Schwartz G.C. (2010), Mikrobereichsanalytik an marinen Biomineralisationsprodukten, S. 19

<sup>28</sup> Vgl. Deutsche Mineralogische Gesellschaft (2004), [www.dmg-home.de](http://www.dmg-home.de), (03.12.2012 – Dokument 13 der CD), S. 14-16

<sup>29</sup> Vgl. Jähne B. (2005), Digitale Bildverarbeitung, S. 255

Durch den Kameraeinsatz werden die Lichtquellen aufgenommen und an den Rechner weitergeleitet. Der Nutzer kann dadurch auf das Betrachten durch das Okular vollständig verzichten. Mit Hilfe der Software können die Eigenschaften der Darstellung während der Untersuchung geändert werden. Das kann z.B. Farbanpassung, Kontrast und die Schärfe sein. Die Software ermöglicht auch Messungen und 3D-Darstellungen durchzuführen<sup>30</sup>. Die gewünschten Darstellungen können zum Schluss abgespeichert und zum späteren Zeitpunkt wieder aufgerufen werden, was bei analoger Betrachtung nicht der Fall ist<sup>31</sup>.

### 2.3 Rasterelektronenmikroskope

In vielen Fachdisziplinen, die sich mit Chemie, Biologie, Geologie und Materialwissenschaft beschäftigen, wird ein detailliertes Wissen über die mikromorphologischen Oberflächenbeschaffenheit und die chemische Zusammensetzung von Festkörperoberflächen immer bedeutsamer<sup>32</sup>.

Eine Möglichkeit der Erkundung stellt die Elektronenrastermikroskopie dar. Um an die physikalische und chemische Information eines Objektes zu gelangen wird die Oberfläche mit einem scharf fokussierten Elektronenstrahl in bestimmten Rasterabständen abgetastet. Die Abtastung kann in vertikaler und horizontale Richtung erfolgen, so dass es eine 3D-Darstellung entsteht<sup>33</sup>.



**Abbildung 6: Glockentierchen unter dem Rasterelektronenmikroskop**

Quelle: Wiedemann B. (o.J.), [www.bewie.de](http://www.bewie.de), (01.01.2013 – Dokument 54 der CD)

---

<sup>30</sup> Vgl. Konradin Verlag R. Kohlhammer GmbH (2010), [www.qe-online.de](http://www.qe-online.de), (03.12.2012 – Dokument 27 der CD), S. 24-25

<sup>31</sup> Vgl. Kück U. (2005), *Praktikum der Molekulargenetik*, S. 330

<sup>32</sup> Vgl. Skoog A.D., Leary J.J., Brendel D., u.a. (1996), *Instrumentelle Analytik – Grundlagen, Geräte, Anwendungen*, S. 427

<sup>33</sup> Vgl. Michler G.H., Lebek W., Godehardt R., u.a. (2004), *Ultramikrotomie in der Materialforschung*, S. 27-30

Mit Rasterelektronenmikroskopie kann das Verhalten von Nanopartikeln (z.B. in Kläranlagen) untersucht werden<sup>34</sup>. Außerdem wird durch eine bis zu 100.000-Fache Vergrößerung eine Darstellung der Mikroorganismen und deren Organe ermöglicht<sup>35</sup>. Die Vergrößerung eines Lichtmikroskops liegt dagegen nur in einem einstelligen tausendfachen Bereich<sup>36</sup>.

### **3. Das Digitalmikroskop der Hochschule RheinMain FB A/B**

Im diesem Kapitel werden die wichtigsten Systemkomponenten, die Inbetriebnahme, die wichtigsten Einstellungen, die allgemeine Untersuchungsmethoden und die Möglichkeiten der Datensicherung beschrieben.

Für die Forschungs- und Lehrzwecke im Fachbereich „Architektur und Bauingenieurwesen“ an der Hochschule RheinMain wurde von mehreren, hier ansässigen Fachdisziplinen ein gemeinsam finanziertes Digitalmikroskop angeschafft.

Um die fachübergreifende Anwendung zu gewährleisten wurden folgende Merkmale bei der Auswahl berücksichtigt:

- hohe und damit effektive Auslastung
- gemeinsamer Erfahrungsaustausch = optimierte Anwendung
- gemeinsame Problemlösungen
- gemeinsame Betriebskosten/Reparaturen aus dem Etat aller beteiligten Laboratorien
- gemeinsame Investition für Updatemodule/optimierende Neuerungen

Die Wahl fiel dabei auf das Digitalmikroskop „VHX-500FD“ des Herstellers KEYENCE.

Das Digitalmikroskop bietet zahlreiche Bildbearbeitungsfunktionen, großen Speicherplatz und ist mit einer tragbaren Kamera ausgestattet. Außerdem bietet das Mikroskop vielfältige Erweiterungsmöglichkeiten und eine 3D-Messung<sup>37</sup>.

---

<sup>34</sup> Vgl. Gesellschaft Deutscher Chemiker e.V. (2012), [www.gdch.de](http://www.gdch.de), (03.12.2012 – Dokument 15 der CD), S. 62

<sup>35</sup> Vgl. Nabors W.M. (2007), Botanik, S. 31

<sup>36</sup> Vgl. Kanani N. (2007), Moderne Mess- und Prüfverfahren für metallische und andere anorganische Überzüge, S. 64

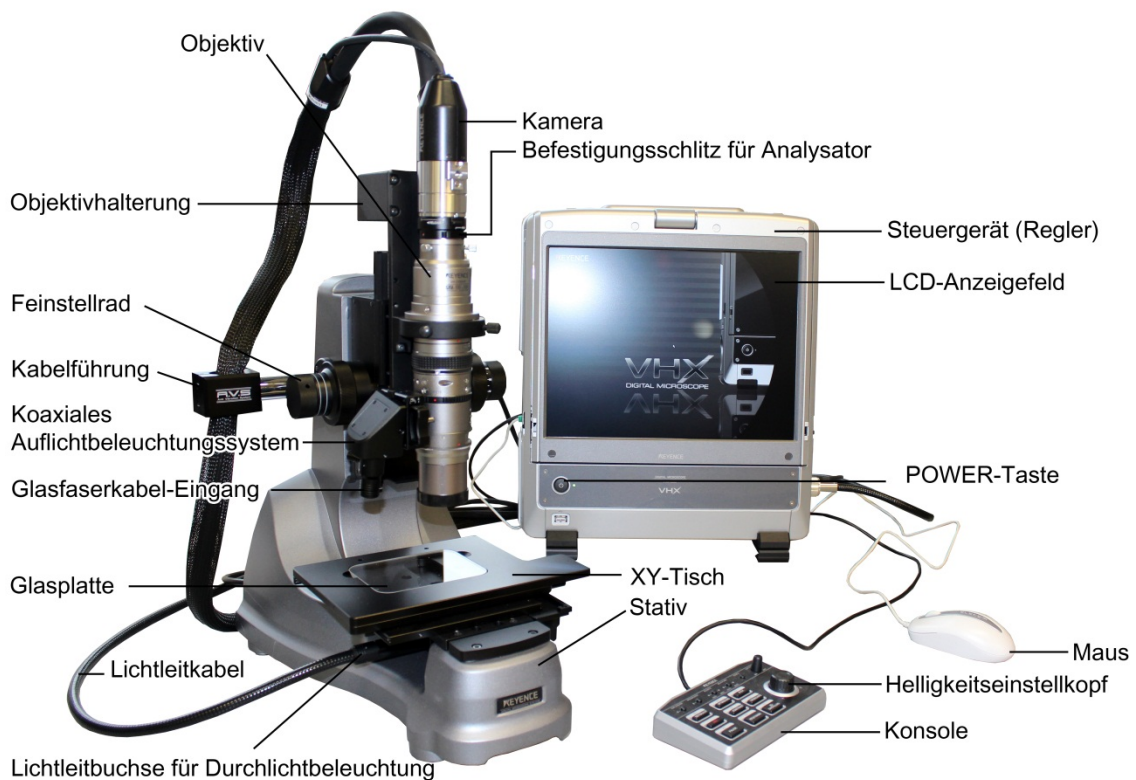
<sup>37</sup> Vgl. KEYENCE CORPORATION (2012), [www.keyence.de](http://www.keyence.de), (03.12.2012 – Dokument 26 der CD), S.2-39



### 3.1 Erfassung und Beschreibung der Systemkomponenten

In diesem Abschnitt werden nur die wichtigste Systemkomponente erwähnt und beschrieben. Eine detaillierte Liste von Systemkomponenten und deren Bestandteile ist im Anhang A auf Seite VII-VIII zu finden.

Das Digitalmikroskop „VHX-500FD“ an der Hochschule RheinMain besteht aus einem Stativ, einem Zoom-Objektiv, einem Steuergerät mit LCD-Monitor, einer Konsole und verfügt über einen Polarisationsfiltersatz. Die folgende Abbildung zeigt das aufgebaute Digitalmikroskop mit den wichtigsten Systemkomponenten.



**Abbildung 7: Das Digitalmikroskop der Hochschule RheinMain "VHX-500FD"**

Quelle: Kombination aus eigener Aufnahme und KEYENCE CORPORATION (2007), Präzisionsstativ VH-S5 Benutzerhandbuch und KEYENCE CORPORATION (2009), Universal-Zoomobjektiv VH-Z100UR Bedienungsanleitung

Das Digitalmikroskop verfügt über ein stabiles Präzisionsstativ, welches die einzelne Systemkomponente aufnimmt. Die Besonderheit des Präzisionsstativs ist das vibrations sichere Betrachtungssystem für starke Vergrößerungen. Daraus resultiert, dass dem Betrachter ermöglicht wird, bei betriebsbedingten oder durch den Betrachter verursachten Vibrationen eine sichere Betrachtung der Objekte zu gewährleisten<sup>38</sup>.

<sup>38</sup> Vgl. KEYENCE CORPORATION (2007), Präzisionsstativ VH-S5 Benutzerhandbuch, Titelblatt

Das Stativ verfügt über einen XY-Objektstisch und ermöglicht dem Betrachter eine Verschiebung des Präparats in vier Richtungen auf der Horizontalebene. Die Steuerung der Objektivplatte wird mit Hilfe von beidseitig angeordneten Haupt- und Feinstellrädern ausgeführt<sup>39</sup>. Daraus folgend, ermöglicht die beidseitige Anordnung eine Arbeitserleichterung für den Betrachter, durch die direkte Zugriffsmöglichkeiten für beide Hände. Die Durchlichtbeleuchtung wird durch das Einführen des Lichtkabels in die Lichtleitbuchse ermöglicht<sup>40</sup>.

Eine weitere wichtige Systemkomponente ist das tragbare Universal-Zoomobjektiv. Die minimale Vergrößerung liegt bei 100-Fach und die maximale bei 1000-Fach. Durch den am Objektiv angebrachten Zoom-Einstellring lässt sich eine beliebige Vergrößerung im verfügbaren Zoombereich einstellen<sup>41</sup>.

Durch das Einrastsystem des Ringes können die Vergrößerungen in 50x-Schritten kontrolliert eingestellt werden. Die Kontrolle über die Lichtstrahlen wird durch den Feldblendenschalter und Irisblenden-Einstellring geregelt<sup>42</sup>. Die Anbringung von einem Analysator und einem Polarisator kann unter anderem direkt an dem Objektiv vorgenommen werden. Dies wird ohne großen Aufwand durch das Auswechseln der Platten ermöglicht<sup>43</sup>. Eine weitere Besonderheit dieses Objektivs ist die Betrachtungsmöglichkeit von nicht durchleuchtenden Objekten. Durch das Einführen des Lichtkabels in den Glasfaserkabel-Eingang können die Objekte mit Licht von oben bestrahlt werden<sup>44</sup>.

Die von der Kamera aufgenommenen Informationen werden an das Steuergerät weitergeleitet und durch den integrierten 15 Zoll LCD-Monitor visualisiert. Das Steuergerät verfügt über verschiedene Anschlüsse und ermöglicht somit die Arbeit mit externen Systemkomponenten wie z.B. Maus, Tastatur, Netzwerksysteme, Speichermedien und Steuerkonsole<sup>45</sup>.

Die Steuerkonsole wird zur Überwachung von Hauptaufgaben eingesetzt. Sie verfügt über fünfzehn Tasten und zwei Regler. Durch die Regler kann die Helligkeit der Beleuchtung und der Kontrast manuell eingestellt werden.

---

<sup>39</sup> Vgl. KEYENCE CORPORATION (2007), Präzisionsstativ VH-S5 Benutzerhandbuch, S. 16

<sup>40</sup> Vgl. KEYENCE CORPORATION (2007), Präzisionsstativ VH-S5 Benutzerhandbuch, S. 10

<sup>41</sup> Vgl. KEYENCE CORPORATION (2009), Universal-Zoomobjektiv VH-Z100UR Bedienungsanleitung, S. 25

<sup>42</sup> Vgl. KEYENCE CORPORATION (2009), Universal-Zoomobjektiv VH-Z100UR Bedienungsanleitung, S. 23

<sup>43</sup> Vgl. KEYENCE CORPORATION (2009), Universal-Zoomobjektiv VH-Z100UR Bedienungsanleitung, S. 10-11

<sup>44</sup> Vgl. KEYENCE CORPORATION (2009), Universal-Zoomobjektiv VH-Z100UR Bedienungsanleitung, S. 8-9

<sup>45</sup> Vgl. KEYENCE CORPORATION (2008), Digital-Mikroskop VHX-500FD Starthandbuch, S. 4-5

Die Tasten ermöglichen den direkten Zugang zu den Optimierungsfunktionen, den Aufnahmemodus, dem Seitenlicht und der 3D-Darstellung. Die Konsole ermöglicht somit eine schnelle und einfache Arbeitsweise<sup>46</sup>.

Das Polarisations-Set ermöglicht eine Darstellung von stark lichtreflektierenden bzw. lichtbrechenden Objekten.

### **3.2 Inbetriebnahme und Aufbau des Systemsteuerungsgerätes**

Das Digitalmikroskop der Hochschule RheinMain kann durch Studenten/Laborpersonal selbständig auf- und umgebaut werden und in Betrieb genommen. Wichtig ist dabei die Hinweise zur Gerätesicherheit zu beachten.

Bei der Erstinbetriebnahme wurden alle Systemkomponente aus der Verpackung entnommen und auf Vollständigkeit gemäß Lieferschein überprüft. Der Zusammenbau der Systemkomponente erfolgte nach Bedienungsanleitungen des Herstellers.

Das Präzisionsstativ wurde aufgestellt und die Schutzeinrichtung entfernt. Das Lichtleitkabel wurde über die Kabelführung in die untere Lichtleitbuchse eingeführt. Nachfolgend wurde der XY-Tisch montiert und durch das Drehen von Stativknöpfen auf Funktionalität überprüft.

Um das Objektiv an das Stativ anbringen zu können, musste die Objektivhalterung montiert werden. Nachfolgend wurde das Objektiv in die Objektivhalterung eingeführt und durch die Feststellvorrichtung befestigt. Das koaxiale Auflichtungssystem wurde in das Objektiv angebracht. Anschließend wurde ein Kamera-Adapter angebracht und die Kamera befestigt<sup>47</sup>.

#### **Aufbau des Systemsteuerungsgerätes**

Zunächst wird das LCD-Anzeigefeld durch Lösen der Seitenverriegelung in die richtige Position gebracht<sup>48</sup>. Das Lichtleitkabel, das Netzkabel, die Konsole und die Maus an die dafür vorgesehenen Anschlüsse angeschlossen. Nach der Überprüfung aller Systemkomponenten und Anschlüsse wurde das Netzkabel in die Steckdose eingeführt<sup>49</sup>.

---

<sup>46</sup> Vgl. KEYENCE CORPORATION (2008): Digital-Mikroskop VHX-500FD Bedienungsanleitung, Kapitel 1, S. 9

<sup>47</sup> Vgl. KEYENCE CORPORATION (2007), Präzisionsstativ VH-S5 Benutzerhandbuch, S. 5-10

<sup>48</sup> Vgl. KEYENCE CORPORATION (2008), Digital-Mikroskop VHX-500FD Bedienungsanleitung, Kapitel 1, S. 5

<sup>49</sup> Vgl. KEYENCE CORPORATION (2008), Digital-Mikroskop VHX-500FD Bedienungsanleitung, Kapitel 2, S. 3

Durch das Betätigen des Hauptnetzschalters an der Rückseite des Systemsteuergerätes wird das Mikroskop an die Hauptstromversorgung angeschlossen. Das Starten des Systems erfolgte durch das Tätigen des POWER-Schalters.

Die im Anhang A aufgelisteten Systemkomponenten und deren Bestandteile sind zum Teil in dazugehöriger Verpackung im „Labor für Siedlungswasserwirtschaft“ gelagert.

Der An- und Umbau erfolgt durch das Anschließen der entsprechenden Systemkomponenten. Dazu gehört z.B. das Lösen des Objektivs für eine Untersuchung der Mikroskopie-Objekte außerhalb des XY-Tisches. Soll das Lichtleitkabel sich im oberen koaxialen Auflichtbeleuchtungssystem befinden, so muss dieser durch das Lösen der Schrauben entfernt werden. Bei weit entfernten Objekten ist die Kabelführung zu öffnen. Das Lösen des Objektivs erfolgt durch das Drehen der Objektivbefestigungsschrauben. Anschließend muss das Lichtleitkabel in das obere koaxiale Auflichtbeleuchtungssystem eingeführt und befestigt werden<sup>50</sup>.

**Das Anbringen des Polarisationssets** erfolgt in zwei Schritten.

1. Das Polarisationsfilter (OP-51662) wird auf die Beleuchtungseinrichtung in der Mitte des XY-Tisches angebracht.
2. Anschließend wird der Analysator (OP-51649) in dem oberen Teil des Objektivs durch das Entfernen des Platzhalters angebracht. Das Einstellen des Polarisationsmodus erfolgt durch das Drehen des Stellrades an dem Analysator<sup>51</sup>.

### **3.3 Probeuntersuchung allgemein (fest-, flüssig-Proben)**

In diesem Abschnitt werden die wichtigsten Einstellungen für das Untersuchen von Fest- und Flüssigproben und das Vorbereiten der Präparate allgemein beschrieben.

#### **Allgemeine Hinweise zur Probenuntersuchung**

Unabhängig davon welche Probe untersucht wird, soll die Lichtstärke und die Helligkeit mit Hilfe der Regler auf der Konsole auf den Mittelwert eingestellt werden. Alternativ dazu kann die Beleuchtung durch das Wählen der Funktion [Kameraeinstellungen/Bildverbesserung] aus dem Befehl [Kamera/Bild] in der Menüleiste.

---

<sup>50</sup> Vgl. KEYENCE CORPORATION (2009), Universal-Zoomobjektiv VH-Z100UR Bedienungsanleitung, S. 8-9

<sup>51</sup> Vgl. KEYENCE CORPORATION (2009), Universal-Zoomobjektiv VH-Z100UR Bedienungsanleitung, S. 10-13

Hier kann ein bestimmter Wert oder eine AUTO-Beleuchtung eingestellt werden. Zusätzlich können in dem geöffneten Fenster die Einstellungen zur Kantenbetonung, Gamma-Anpassung, Antirauschen und Weißabgleich vorgenommen werden.

Die Positionierung der Probe erfolgt durch das Bewegen des XY-Tisches. Nach dem die gewünschte Vergrößerung und Focus eingestellt wurden, erfolgt die Bildeinstellung. Die Bildeinstellung kann manuell oder durch Schnell Tasten eingestellt werden.

Durch das Drücken der Taste **OPTIMIERUNG** auf der Konsole werden vom System vier verschiedene Optimierungsdarstellungen angeboten<sup>52</sup>.

Mit einem Doppelklick erfolgt die Wahl der gewünschter Optimierung. Diese wird für alle nachfolgenden Aufnahmen beibehalten. In der rechten Bildschirmecke werden alle vier Optimierungen in einem Symbolkasten angezeigt. Durch das Anklicken eines bestimmten Bildmodus wird dieser sofort auf den Bildschirm übertragen. Die einzelnen Optimierungsmöglichkeiten lassen sich in Normal-Modus, Bildverbesserungsmodus, Erhebungsverstärkungsmodus und Scharfzeichenmodus unterteilen<sup>53</sup>.

### **Feste Proben**

Zuerst muss der Weißabgleich stattfinden. Dafür muss ein weißes Objekt (z.B. Schwarz-Weiß-Platte) fokussiert werden. Durch das Drücken der Taste **WEIßABGLEICH** auf der Konsole wird der Abgleich automatisch durchgeführt<sup>54</sup>.

Für die Untersuchung von festen Proben, welche das Licht reflektieren, ist darauf zu achten, dass die Beleuchtung von oben erfolgt (Auflichtbeleuchtung). Die festen Proben können bei der Untersuchung auf eine Glasplatte gelegt werden. Bei Materialien wie z.B. Beton und Holz empfiehlt sich die Verwendung der Drehplatte, um die Glasplatte vor dem Verkratzen zu schützen.

Bei der Untersuchung der festen Proben mit Auflichtbeleuchtung sollte Rücksicht auf den Weißabgleich genommen werden. Falls es sich um kristalline, mineralische Bestandteile handelt, kann es bei Vergrößerung zu Farbstichen kommen. Erneuter Weißabgleich kann den Farbstich bei starker Vergrößerung zusätzlich vergrößern.

Es empfiehlt sich das Objektiv auf die minimale Vergrößerung zu stellen und den Weißabgleich erneut zu tätigen.

---

<sup>52</sup> Vgl. KEYENCE CORPORATION (2008), Digital-Mikroskop VHX-500FD Bedienungsanleitung, Kapitel 5, S. 2

<sup>53</sup> Vgl. KEYENCE CORPORATION (2008), Digital-Mikroskop VHX-500FD Bedienungsanleitung, Kapitel 5, S. 2-3

<sup>54</sup> Vgl. KEYENCE CORPORATION (2008), Digital-Mikroskop VHX-500FD Starthandbuch, S. 12

Die Vergrößerung soll danach nur noch durch die Verstärkung der Helligkeit begleitet werden. Sollte es durch den Weißabgleich trotzdem zum Farbstich kommen, so muss der Weißabgleich durch den Einsatz des Analysators erfolgen. Der Weißabgleich wird dabei wie üblich auf einem weißen Objekt durchgeführt<sup>55</sup>.

Die bijektive und surjektive Beleuchtung des Mikroskops ermöglicht die Vorsprünge und Vertiefungen an den Objekten hervorzuheben.

Insbesondere bei festen Proben, wo die Oberflächenbeschaffenheit untersucht werden soll, spielt die Beleuchtungsquelle eine große Rolle. Durch das Drücken der Taste **SEITENLICHT** kann zwischen verschiedenen Beleuchtungsmöglichkeiten gewählt werden<sup>56</sup>.

Bei Stoffen mit hoher Lichtreflexion und Brechungsindex, kann der Polarisationsfilter verwendet werden. Wie in Kapitel 2.1 beschrieben, können durch die Polarisation die Lichtstrahlen besser gelenkt werden. Abbildung (Seite 9 ) zeigt den praktischen Einsatz des Hochschulmikroskops. Auf dem linken Bild ist eine Bruchfläche einer Gesteinsmatrix dargestellt. Aufgrund der grauen Farbtöne ist es schwer zu erkennen, ob es sich um eine amorphe oder kristalline Fläche handelt. Durch die Polarisation ist auf dem rechten Bild zu erkennen, dass die einzelnen Kristalle durch die Farbspiele hervorgehoben werden.

### **Flüssige Proben**

Die flüssige Probe wird auf einen Objektträger oder eine Glasplatte aufgebracht. Ein zweiter Objektträger wird darüber gelegt. Das Auflegen soll langsam geschehen, um den Einschluss von Luftblasen zu vermeiden. Die Luftblasen bilden dabei Ringe mit schwarzem Rand. Wichtig ist dabei zu beachten, dass die Objektträger und die Glasplatte von Verschmutzungen frei sind. Das überschüssige Wasser soll mit Hilfe eines Taschentuchs entfernt werden. Die Objektträger können anschließend auf die Glasplatte gelegt werden oder zwischen den Objektklammern eingespannt werden. Der Weißabgleich soll nach der Fokussierung der Probe erfolgen.

Die Untersuchung der Flüssigproben erfolgt unter Durchlichtbeleuchtung . Dabei ist zu beachten, dass das Lichtleitkabel in die Lichtleitbuchse (unter dem XY-Tisch) eingeführt wird.

---

<sup>55</sup> Beruht auf eigener Erfahrung aus der Arbeit mit dem Digitalmikroskop

<sup>56</sup> Vgl. KEYENCE CORPORATION (2008), Digital-Mikroskop VHX-500FD Bedienungsanleitung, Kapitel 5, S. 6-7

### 3.4 Datensicherung von Probenuntersuchungen (Bilder, Videos etc.)

Das Aufzeichnen von Bildern erfolgt durch das Betätigen der **REC-Taste** auf der Konsole. Nachdem sich das Aufzeichnen-Fenster geöffnet hat, können die gewünschten Einstellungen zum Dateiformat, Informationen zur Datei, Speicherort und Dateinameeingabe vorgenommen werden. Mit Hilfe der Maus kann man den Zielordner wählen oder einen neuen Ordner erstellen. Die Benennung der Datei bzw. des Ordners kann durch die automatisch geöffnete virtuelle Tastatur per Maus eingegeben werden.

Eine weitere Möglichkeit der Eingabe besteht durch das Anschließen der Tastatur. Das Speichern erfolgt durch das Anklicken des Symbols „Speichern“. Das Bild wird auf der internen Festplatte gespeichert. Durch das Anschließen der externen Medien an den USB-Anschluss, können diese Probedaten kopiert oder auch direkt auf andere Datenträger gespeichert werden<sup>57</sup>. Die gespeicherten Dateien lassen sich durch das Öffnen der Menüleiste wie bei einem herkömmlichen Betriebssystem verwalten. Das Öffnen erfolgt durch das Anklicken des Symbols „Album“<sup>58</sup>. Eine weitere Möglichkeit die Daten zu sichern ist das Brennen einer CD<sup>59</sup>. Alternativ dazu können die Daten über einen FTP Anschluss hochgeladen werden oder auch auf einen extern angeschlossenen Computer übertragen werden<sup>60</sup>. Für die FTP-Übertragung ist eine Internetverbindung notwendig.

## 4. Mikroskopische Untersuchung von Belebtschlamm

In diesem Kapitel werden nach einer kurzen Definition von Belebtschlamm die theoretischen Grundlagen zur Belebtschlammuntersuchung und aktuelle Bewertungsmethoden von Belebtschlamm näher erläutert. Insbesondere wird der Focus auf die Beschreibung der Lichtmikroskopie als eine Bewertungsmethode gelegt.

Die biologische Abwasserreinigung funktioniert durch die Überführung von organischen und anorganischen Inhaltsstoffen mit Hilfe von mikrobiellen Lebensgemeinschaften in Biomasse bzw. gelöste und gasförmige Abbauprodukte. Die bei dem Reinigungsprozess entstandene Biomasse aus verschiedenen Lebensorganismen (Biozönose) wird dabei als Belebtschlamm bezeichnet<sup>61</sup>.

---

<sup>57</sup> Vgl. KEYENCE CORPORATION (2008), Digital-Mikroskop VHX-500FD Bedienungsanleitung, Kapitel 6, S. 2-3

<sup>58</sup> Vgl. KEYENCE CORPORATION (2008), Digital-Mikroskop VHX-500FD Bedienungsanleitung, Kapitel 6, S. 7

<sup>59</sup> Vgl. KEYENCE CORPORATION (2008), Digital-Mikroskop VHX-500FD Bedienungsanleitung, Kapitel 6, S. 11-12

<sup>60</sup> Vgl. KEYENCE CORPORATION (2008), Digital-Mikroskop VHX-500FD Bedienungsanleitung, Kapitel 12, S. 12-39

<sup>61</sup> Vgl. Lemmer H., Griebe T., Flemming H.C. (1996), Ökologie der Abwasserorganismen, S. 3

In der Biomasse, also in dem Belebtschlamm kommt es zur Anlagerung von verschiedenen Mikroorganismen und Partikeln aus dem Abwasser. Sie bilden zusammen eine Belebtschlammflocke<sup>62</sup>.

Nach heutigem Stand der Technik werden vorwiegend chemische und physikalische Untersuchungsverfahren zur Bewertung von Belebtschlamm eingesetzt. Die mikroskopische Untersuchung ist ein allgemein anerkanntes Verfahren zur Bewertung von Belebtschlamm und stellt somit eine Ergänzung zu anderen Untersuchungsverfahren dar<sup>63</sup>.

Zu chemischen und physikalischen Untersuchungen gehört unter anderem die Bestimmung des Schlammvolumenanteils, des Schlammindex, des pH-Wertes, des Wassergehalts, des Trockenrückstandes und des Glührückstandes<sup>64</sup>. Diese werden an dieser Stelle erwähnt, jedoch im Weiteren nicht näher erläutert.

Zu den mikroskopischen Untersuchungsmethoden von Belebtschlamm gehört in der Regel die Anwendung der Hellfeld-, Dunkelfeld-, Phasenkontrast- und Fluoreszenzmikroskopie<sup>65</sup>. Die mikroskopischen Untersuchungen liefern im Vergleich zu chemischen und physikalischen Untersuchungen ein reales Bild von Belebtschlamm, Flocken und den darin enthaltenen Mikroorganismen.

#### **4.1 Bedeutung für den Kläranlagenbetrieb**

Oft weisen die Flocken eine mindere Qualität auf und verursachen dadurch viele Betriebsschwierigkeiten infolge von Schaum-, Bläh- und Schwimmschlammbildung. Durch die nicht optimale Qualität der Flocke wird die Reinigungsleistung im Kläranlagenbetrieb deutlich verringert<sup>66</sup>. Die Qualität der Flocke hängt von vielen verschiedenen Faktoren ab. Zum einen kann das eine große Anzahl an fadenförmigen Organismen sein, zum anderen eine geringe Größe der Flocke. Um an die Information zu gelangen, reicht eine chemische oder physikalische Untersuchungsmethode meist nicht aus. Nur durch die visuelle Betrachtung z.B. mit Hilfe eines Mikroskops kann die Kenntnis über die Qualität der Flocke gewonnen werden<sup>67</sup>.

---

<sup>62</sup> Vgl. Gujer W. (2007), Siedlungswasserwirtschaft, S. 325

<sup>63</sup> Vgl. Aqua Service Schwerin (o.J.), [www.mikrobi.aqsn.de](http://www.mikrobi.aqsn.de), (13.11.2012 – Dokument 4 der CD)

<sup>64</sup> Vgl. Grombach P., Haberer K., Merkl G., u.a. (2000), Handbuch der Wasserversorgungstechnik, S. 59

<sup>65</sup> Vgl. Haus J. (Oktober 2010), [www.hund.de](http://www.hund.de), (13.11.2012 – Dokument 18 der CD), S. 3-5

<sup>66</sup> Vgl. Kunst S., Helmer C., Knoop S. (2000), Betriebsprobleme auf Kläranlagen durch Blähschlamm, Schwimmschlamm, Schaum – Handbuch zur Identifizierung und Bekämpfung fädiger Bakterien, S. 3-6

<sup>67</sup> Vgl. Hammel, Experteninterview Nr. 2, Frage 4, Anhang B, Seite XI



Durch die richtige Interpretation der chemischen, physikalischen und biologischen Untersuchung können die Maßnahmen zur Verbesserung der Reinigungsleistung eingeleitet werden. Bei ständiger und regelmäßiger Überwachung mit allen drei Untersuchungsvarianten kann eine Schlammverschlechterung rechtzeitig erkannt werden, bevor sie zu betrieblichen Problemen führt<sup>68</sup>.

#### **4.2 Aktuelle Bewertungsmethoden von Belebtschlamm**

Die Bewertung des Belebtschlammes erfolgt durch das Laborpersonal der Kläranlage. Dafür wird das mikroskopische Bild des Belebtschlammes untersucht, protokolliert und ausgewertet. Für eine qualitative und aussagekräftige Beurteilung ist oft das Mitwirken von sich darauf spezialisierten Instituten notwendig<sup>69</sup>. Heutzutage kann die Nutzung der Software bei der Bewertung von Biomasse in der Kläranlage sehr hilfreich sein. Die spezifische Softwareanwendung kann dabei als Datenbank mit vielen Bestimmungsbeispielen dienen und ggf. Empfehlungen zur Anlagensteuerung vorschlagen<sup>70</sup>.

Nach gesetzlichen Grundlagen besteht für die Eigenüberwachung der Abwasseranlagen in Hessen keine Pflicht für die Bewertung des mikroskopischen Bildes<sup>71</sup>. Daraus lässt sich schließen, dass der Inhalt der Protokolle für die Dokumentation und Auswertung des Belebtschlammes eine Sache des Kläranlagenbetriebes ist, der hilft die Kläranlage störungsfrei und effizient (kostensparend) zu betreiben.

Die Bewertung des Belebtschlammes unterscheidet sich in zwei Arten. Die erste Möglichkeit stellt eine allgemeine Bewertung des Zustandes an der Stelle der Probenentnahme dar. Dabei wird die Reinigungsstufe, die Fädigkeit, die Biozönose, das Schlammalter, die Sauerstoffversorgung und die Nitrifikation bewertet<sup>72</sup>.

Wichtige Einflussparameter sind dabei:

- Farbe bzw. Farbtöne des Belebtschlammes
- Flockengröße, Flockenstruktur und Gesamtfädigkeit
- Abgeschätzte Organismendichte, Indikatororganismen
- Sonstige Feststellungen

---

<sup>68</sup> Vgl. Eikelboom D.H., van Buijsen H.J.J. (1992), Handbuch für die mikroskopische Schlammuntersuchung, S. 7

<sup>69</sup> Vgl. Haufschild A., Experteninterview Nr.3, Frage 4, Anhang B, S. XIII-XIV

<sup>70</sup> Vgl. Aqua Service Schwerin (o.J.), [www.mikrobi.aqsn.de](http://www.mikrobi.aqsn.de), (18.11.2012 - Dokument 5 der CD)

<sup>71</sup> Vgl. Land Hessen (2010), [www.rv.hessenrecht.hessen.de](http://www.rv.hessenrecht.hessen.de), (13.11.2012 – Dokument 30 der CD)

<sup>72</sup> Vgl. Bayerisches Landesamt für die Wasserwirtschaft (1999), [www.bestellen.bayern.de](http://www.bestellen.bayern.de), (19.11.2012 – Dokument 9 der CD), S. 125

Zwei Beispiele für die Dokumentation und Bewertung des Belebtschlammes sind im Anhang C auf der Seite XV-XVII zu finden. Ebenfalls ist im Anhang C auf der Seite XVII ein Beurteilungsschreiben für die Untersuchungsergebnisse zu finden.

Die zweite Möglichkeit stellt die Bewertung des Belebtschlammes in Hinsicht auf die fadenförmigen Mikroorganismen dar. Diese kann bei routinemäßigen Untersuchungen oder auch bei Betriebsstörungen durchgeführt werden. Es wird dabei unter anderem die Dominanz, die Verzweigung, die Beweglichkeit, die Fadenform, die Färbung, der Fadendurchmesser und die Zellform bestimmt<sup>73</sup>. Die Bewertung der fadenförmigen Organismen erfolgt in der Regel mit Hilfe von Bestimmungsschlüsseln.

Diese können aus der Literatur entnommen werden oder durch den Kläranlagenbetrieb selbständig aufgrund eigener Erfahrung erstellt werden. Hierzu sind nur die Organismen aufzulisten, welche bei regelmäßiger Beobachtung festgestellt werden<sup>74</sup>.

Die Bestimmung der fadenförmigen Mikroorganismen ist oft mit Fehlern und Aufwand verbunden. Oft kommt es zur Fehlerfeststellung erst am Ende der Bewertung, so muss die Indizierung nochmals kritisch untersucht werden<sup>75</sup>. Da die Bewertung mit viel Aufwand und Fachwissen verbunden ist, wird diese in der Praxis selten durchgeführt. Die Experteninterviews im Anhang B bestätigen dies.

### **4.3 Mikroskopische Belebtschlammanalyse**

In diesem Kapitel wird ein Teil der in Kapitel 2.1 aufgeführten Mikroskopieverfahren in Bezug auf die Belebtschlammuntersuchung näher beschrieben und die wichtigsten Untersuchungsmethoden miteinander verglichen.

Die Mikroskopie spielt bei der Untersuchung und Bewertung des Belebtschlammes eine wichtige Rolle, da die meisten Mikroorganismen nicht mit bloßem Auge erkennbar sind.

#### **Hellfeldmikroskopie**

Die Hellfeldmikroskopie weist in der Belebtschlammuntersuchung eine große Vielfalt auf. Mit Hilfe der Hellfeldmikroskope kann man die kontrastreichen Mikroorganismen in ihrer natürlichen Darstellung beobachten. Die Hellfeldmikroskopie bietet auch die Möglichkeit die Untersuchung mit Hilfe von Färbemethoden durchzuführen.

---

<sup>73</sup> Vgl. Eikelboom D.H., van Buijsen H.J.J. (1992), Handbuch für die mikroskopische Schlammuntersuchung, Anhang 2

<sup>74</sup> Vgl. Eikelboom D.H., van Buijsen H.J.J. (1992), Handbuch für die mikroskopische Schlammuntersuchung, S. 51

<sup>75</sup> Vgl. Eikelboom D.H., van Buijsen H.J.J. (1992), Handbuch für die mikroskopische Schlammuntersuchung, S. 52-54

### **Gramm- und Neisser-Färbung**

Durch das Anfärben der Mikroorganismen kann entweder der Kontrast erhöht oder bestimmte Merkmale festgestellt werden. Die üblichen Verfahren sind die Gram- und Neisser-Färbung. Mit Hilfe der Gramm-Färbung ist es möglich die Organismen nach Gramm-negativen und Gramm-positiven Zellen zu unterscheiden. Diese Information ist im späteren für die Bewertung der fadenförmigen Organismen unerlässlich<sup>76</sup>. Die Neisser-Färbung ermöglicht die Speicherung von Reservestoffen in der Zelle zu beobachten und ist ebenfalls ein Eingangsparameter für den Bewertungsschlüssel<sup>77</sup>.

### **Phasenkontrastmikroskopie**

Die Phasenkontrastmikroskopie findet ebenfalls Anwendung in der Belebtschlamm-Untersuchung. Sie wird hauptsächlich für kontrastschwache Präparate eingesetzt. Die Anwendung der Färbemethoden ist bei Phasenkontrastmikroskopie nicht möglich<sup>78</sup>.

### **Dunkelfeldmikroskopie**

Die Dunkelfeldmikroskopie kann ebenfalls für die Belebtschlammuntersuchung eingesetzt werden. Der Focus wird dabei auf die kontrastreiche Darstellung der Umrisse von transparenten Objekten gelegt. Dieses Verfahren benötigt im Vergleich zur Phasenkontrastmikroskopie einen deutlich geringeren apparativen Aufwand<sup>79</sup>.

### **Fluoreszenzmikroskopie**

Ein letztes Verfahren, welches in der Untersuchung der Biomasse eine große Rolle spielt, ist die Fluoreszenzmikroskopie. Die synthetisch hergestellten, fluoreszenzmarkierten Stückchen vom genetischen Material binden sich an das genetische Material bestimmter Bakterien und lassen diese dabei aufleuchten. Dieses Verfahren ermöglicht die Bestimmung der gesuchten Mikroorganismen direkt in der Biozönose. Das Verfahren wird in der Praxis als „Fluoreszenz in situ Hybridisierung“ bezeichnet<sup>80</sup>. Diese Technologie hat auch eine weitere wichtige Einsatzmöglichkeit. Mit Hilfe von fluoreszenzmarkierten Substraten kann die Enzymaktivität direkt an der Zelle beobachtet werden. Diese Methode wird als „Enzyme Labeled Fluorescence“ bezeichnet<sup>81</sup>.

---

<sup>76</sup> Vgl. Paris S. (2004), <http://d-nb.info>, (19.11.2012 – Dokument 39 der CD), S. 45

<sup>77</sup> Vgl. Eikelboom D.H., van Buijsen H.J.J. (1992), Handbuch für die mikroskopische Schlammuntersuchung, S. 42-43

<sup>78</sup> Vgl. Hammel, Experteninterview Nr. 2, Frage 3, Anhang B, S. XI

<sup>79</sup> Vgl. Linkenheld C. (2010), [www.mikroskopie.de](http://www.mikroskopie.de), (19.11.2012 – Dokument 33 der CD), S. 6

<sup>80</sup> Vgl. Miszalok V., Klingbeil U., Chudoba I. (2001), [www.miszalok.de](http://www.miszalok.de), (19.11.2012 – Dokument 37 der CD), S.1

<sup>81</sup> Vgl. Bayerisches Landesamt für Umwelt (o.J.), [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de),

Dadurch können Rückschlüsse auf die Stoffaktivität der Zellen gezogen werden. Auch das Erscheinen der einzelnen Organe (durch Aufnahme der Farbe) ist möglich.

Die wesentlichen Merkmale auf die es in der Belebtschlammuntersuchung überwiegend ankommt, sind<sup>82</sup>:

- Gestalt, Größe und Struktur der Schlammflocke, sowie einzelnen Organismen
- Identifizierung der Protozoen und fadenförmigen Bakterien
- Ausmaß des fadenförmigen Wachstum deren Gestalt
- Zusammensetzung und innere Struktur der Schlammflocken

Diese Merkmale lassen sich je nach Vergrößerung am besten mit Hilfe des Hellfeldmikroskops erfassen, da es sich um optische Bestimmungseigenschaften handelt. Phasenkontrast und Dunkelfeldmikroskope können ebenfalls eingesetzt werden, jedoch nicht bei der Färbung.

Für die Untersuchung können sowohl klassische, als auch digitale Lichtmikroskope eingesetzt werden. Die Wahl des Mikroskops hängt vom Umfang der Untersuchung ab. Sind Untersuchungsbilder gefordert, so ist der Einsatz des Digitalmikroskops erforderlich.

## **5. Mikroskopische Untersuchung der Fließ- und Stillgewässer**

In diesem Kapitel werden die Definitionen zum Gewässermonitoring, die theoretische Grundlagen zur Untersuchung der Fließ- und Stillgewässer, sowie aktuelle Bewertungsmethoden zur Gewässergüte erläutert. Insbesondere wird der Focus auf die Beschreibung der Lichtmikroskopie als eine Bewertungsmethode gelegt.

Die Erfassung, Beobachtung und Überwachung des biotischen und abiotischen Zustandes eines Gewässers in einer repräsentativen Region wird als Monitoring bezeichnet<sup>83</sup>. Zu abiotischen Faktoren gehört Klima, Relief, Boden, chemische und physikalische Beschaffenheit des Wassers<sup>84</sup>. Zu biotischen Faktoren gehören die Merkmale der Fauna (Tierbestand) und Flora (Pflanzenbestand)<sup>85</sup>.

---

(19.11.2012 – Dokument 7 der CD)

<sup>82</sup> Vgl. Eikelboom D.H., van Buijssen H.J.J. (1992), Handbuch für die mikroskopische Schlammuntersuchung, S. 20

<sup>83</sup> Vgl. Guderian R., Gunkel G. (2000), Handbuch der Umweltveränderungen und Ökotoxikologie, Band 3B, Aquatische Systeme, S. 336-337

<sup>84</sup> Vgl. Universität Bremen Institut für Umweltverfahrenstechnik (o.J.), [www.wasser-wissen.de](http://www.wasser-wissen.de), (21.11.2012 - Dokument 51 der CD)

<sup>85</sup> Vgl. Der Ministerpräsident des Landes Schleswig-Holstein mit der Staatskanzlei (o.J.), [www.schleswig-holstein.de](http://www.schleswig-holstein.de), (21.11.2012 - Dokument 12 der CD)

Für die Bewertung der Gewässergüte werden biologische, chemische, physikalische und ökomorphologische Gewässeruntersuchungen durchgeführt<sup>86</sup>.

Chemisch-physikalische Gewässeruntersuchung liefert Informationen über physikalische Kenngrößen und chemische Stoffkonzentrationen. Das Wasser wird dabei hauptsächlich auf Trübung, Temperatur, gelöster Sauerstoffgehalt, pH-Wert, Leitfähigkeit, Phosphor-, Nitrat-, Ammonium-, Chlorophyll- und Kieselsäuregehalt untersucht<sup>87</sup>.

Bei biologischer Gewässeruntersuchung wird der Focus auf die Erfassung von wirbellosen benthischen Organismen, Wasserpflanzen, Fischen und benthischen, sowie planktischen Algen gelegt<sup>88</sup>.

Ökomorphologische Gewässeruntersuchung liefert unter anderem Informationen über Gewässerbauwerke, Tiefenvarianz, Profiltyp, Breitenvarianz, Uferbewuchs, Flächennutzung Gewässerverlauf und Strömungsbild<sup>89</sup>.

## 5.1 Bedeutung für die Gewässergütebewertung

Die biologische Gewässeruntersuchung ist ein wichtiger Bestandteil des Gewässerschutzes. Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen die Belastungsschwerpunkte und die Fortschritte der Gewässersanierung auf<sup>90</sup> und stellen damit eine Erfolgskontrolle, etwa in Rahmen eines Gewässermonitorings dar.

Die EU-Wasserrahmenrichtlinie fordert, dass alle oberirdischen Gewässer bis Ende 2015 in einen guten ökologischen Zustand überführt werden müssen. Dies entspricht einer geringen Abweichung zum natürlichen Zustand. Der ökologische Zustand wird dabei durch die Biozönose beschrieben<sup>91</sup>. Die natürliche Biozönose setzt sich wie im Kapitel 5 beschrieben aus verschiedenen Lebensorganismen und Lebensgemeinschaften zusammen. Dazu gehören auch viele Mikroorganismen (Mikrozoobenthos), die erst durch die Anwendung der Mikroskopie sichtbar werden. Das Mikrozoobenthos ist unter anderem für die Charakterisierung der Nährstoffbelastung oder Toxizität notwendig<sup>92</sup>.

---

<sup>86</sup> Vgl. BUND-Ortsverband Hockenheimer Rheinebene (o.J.), [www.hockenheimer-rheinebene.bund.net](http://www.hockenheimer-rheinebene.bund.net), (23.11.2012 – Dokument 10 der CD)

<sup>87</sup> Vgl. Bayer. Landesamt für Umwelt (o.J.), [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de), (24.11.2012 – Dokument 8 der CD)

<sup>88</sup> Vgl. Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz Berlin (2007), [www.stadtentwicklung.berlin.de](http://www.stadtentwicklung.berlin.de), (24.11.2012 – Dokument 44 der CD), S. 9

<sup>89</sup> Vgl. Sukdolak D. (2012), [www.raumentwicklung.uni-oldenburg.de](http://www.raumentwicklung.uni-oldenburg.de), (24.11.2012 – Dokument 50 der CD), S.57

<sup>90</sup> Vgl. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (1992), [www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de), (24.11.2012 – Dokument 28 der CD), S. 2

<sup>91</sup> Vgl. Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (o.J.), [www.atlas.umwelt.hessen.de](http://www.atlas.umwelt.hessen.de), (24.11.2012 – Dokument 20 der CD)

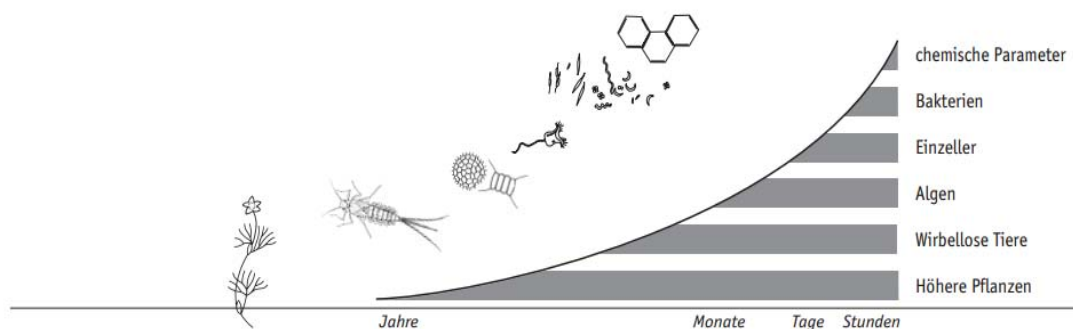
<sup>92</sup> Vgl. Schützender T. (2010), <http://d-nb.info>, (24.11.2012 – Dokument 42 der CD), S. 21-22

Daraus folgt, dass die Anwendung der Mikroskopie für die biologische Untersuchung unverzichtbar ist.

Da die Zusammensetzung der Biozönose in der Natur wesentlich durch die morphologische Strukturen, sowie physikalische und chemische Faktoren beeinflusst wird, ist das Einbeziehen aller drei Untersuchungsmethoden für eine qualitative Bewertung notwendig<sup>93</sup>.

Die chemisch-physikalischen Untersuchungen liefern dabei die Angaben über den momentanen Zustand des Gewässers. Die biologischen Untersuchungen liefern dagegen die mittelfristigen Informationen, welche für die Rückschlüsse in Hinblick auf die spätere Entwicklung des Gewässers wichtig sein können.

Gleichzeitig liefern die mittelfristige Informationen Ergebnisse über die Belastung, die ein Gewässer in einer bestimmten Zeitspanne erfährt<sup>94</sup>. Folgende Abbildung zeigt die zeitliche Gültigkeit chemischer und biologischer Indikatoren zur Gewässerbestimmung.



**Abbildung 8: Zeitliche Gültigkeit chemischer und biologischer Indikatoren zur Gewässergütebestimmung**

Quelle: Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (o.J.), [www.hmuenv.hessen.de](http://www.hmuenv.hessen.de), (01.01.2013 Dokument 21 de CD)

Zusammengefasst bietet das biologische Untersuchungsprogramm die Möglichkeit die Gewässergüte großer Räumlichkeit auf eine zeitliche Gültigkeit von mehreren Monaten bis Jahre in Abhängigkeit der gewählten Indikatorarten zu beschreiben. Dafür ist wenig Materialaufwand und viel Artenkenntnis erforderlich.

---

<sup>93</sup> Vgl. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (1992), [www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de), (24.11.2012 – Dokument 28 der CD), S. 4

<sup>94</sup> Vgl. Verbands-Gewässer-Gruppe Obere Eder (o.J.), [www.vggoe.de](http://www.vggoe.de), (24.11.2012 – Dokument 52 der CD)

## 5.2 Aktuelle biologisch- /mikroskopische Bewertungsmethoden

Nach aktuellem Stand der Technik wird zur biologisch-mikroskopischen Bewertung der Fließgewässer das Saprobien-System verwendet<sup>95</sup>. Das Saprobien-System basiert auf der Widerstandsfähigkeit der Wasserorganismen gegenüber der organischen Verunreinigung. Die Saprobien, auch Indikatororganismen genannt, sind in der Lage auf Grund ihres relativ engen ökologischen Verbreitungsspektrums bestimmte Verschmutzungsgrade anzuzeigen<sup>96</sup>.

Die Zuordnung eines fließenden Gewässers zu einer Gewässergüteklasse erfolgt durch den Saprobienindex<sup>97</sup>. Für die Berechnung des Saprobienindex (Pantle & Buck) ist die Unterteilung der Indikatororganismen nach Gruppen notwendig.

Sollen mehrere Indikatororganismen einer Gruppe vorhanden sein, so ist die Summenbildung notwendig. Die jeweilige Gruppensumme wird dabei mit einem dafür bestimmten Faktor multipliziert. Anschließend muss die Summe aller Gruppen (mit dem Faktor multipliziert) durch die Gesamtsumme der gezählten Individuen multipliziert werden. Dabei ist es sehr wichtig die Indikatororganismen nach vier Stufen zu unterscheiden. In die os-Gruppe gehören die Organismen die typisch für die Gewässergüteklasse I sind. In die bms-Gruppe gehören die Indikatororganismen die für die Gewässergüte II typisch sind. Die Gewässergüteklasse III kann der ams-Gruppe und Gewässergüteklasse IV kann der ps-Gruppe zugeordnet werden<sup>98</sup>.

Die folgende Formel soll die Berechnung veranschaulicht darstellen:

$$S = \frac{1 * \sum(os) + 2 * \sum(bms) + 3 * \sum(ams) + 4 * \sum(ps)}{\sum[(os) + (bms) + (ams) + (ps)]}$$

Die Zuordnung zur jeweiliger Gewässergüteklasse in Anhängigkeit von Saprobienindex ist aus dem Anhang D (Seite XVIII) zu entnehmen.

---

<sup>95</sup> Vgl. Deutsches Institut für Normung e. V. (2004), DIN 38410-1: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Biologisch-ökologische Gewässeruntersuchung (Gruppe M) - Teil 1: Bestimmung des Saprobienindex in Fließgewässern (M 1)

<sup>96</sup> Vgl. Maniak U. (2010), Hydrologie und Wasserwirtschaft – Eine Einführung für Ingenieure, S.367

<sup>97</sup> Vgl. Patt H., Jürging P., Kraus W. (2010), Naturnaher Wasserbau – Entwicklung und Gestaltung von Fließgewässern, S. 160

<sup>98</sup> Vgl. Streble H., Krauter S. (2001), Das Leben im Wassertropfen, S. 387

## Stillgewässer

Die Gewässergütebestimmung bei Stillgewässer erfolgt durch das Trophiesystem. Dieses Bewertungsverfahren kann **nicht** bei Fließgewässer angewendet werden, genau so kann das Saprobien-system nicht für die Stillgewässer verwendet werden<sup>99</sup>. Bei einem fließenden Gewässer wird durch die Strömung ein homogener Wasserkörper vorausgesetzt. In einem stehenden Gewässer kommt es zur Eutrophierung (Nährstoffanreicherung) und Verlandung (Wachstum von Wasser- und Sumpfpflanzen). Die Ursache dafür ist unter anderem die Bildung von Wasserschichten<sup>100</sup>. Die Wasserschichten weisen in Vergleich zum homogenen Wasserkörper unterschiedliche chemische und physikalische Eigenschaften auf. Das Saprobien-system scheitert an dieser Stelle, da es zum selben Zeitpunkt an verschiedenen Probenahmestellen zu verschiedenen Ergebnissen kommt.

Die Zustandsbewertung stehender Gewässer erfolgt somit allein durch die vier Trophiestufen, welche sich nach Stoff- und Energieumsatz unterscheiden.

Die vier Trophiestufen lassen sich wie folgt unterscheiden:

- Oligotroph (Nährstoffarm und gering Produktiv)
- Mesotroph (Mäßig Produktiv)
- Eutroph (Nährstoffreich und hoch Produktiv)
- Polyotroph (Übermäßig nährstoffreich und sehr hoch Produktiv)

Trotzdem werden zu den einzelnen Trophiestufen die Indikatororganismen zugeordnet. Durch das Vorhandensein oder Fehlen von bestimmten Indikatororganismen ist es möglich Aussagen über die Qualitätsmerkmale eines stehenden Gewässers zu machen. Um eine sichere Zuordnung der Trophiestufen zu gewährleisten, müssen mehrmalige Bestimmungen der Indikatorarten im Verlauf eines Jahres erfolgen<sup>101</sup>.

Weitere Möglichkeiten der Oberflächengewässerbewertung sind der Artenfehlbetrag nach Kothé und der Saprobienindex nach Zelinka & Marvan<sup>102</sup>. Beim „Artenfehlbetrag“ werden die Ergebnisse in Prozent angegeben. Dabei wird das Verhältnis zwischen der Anzahl Leittaxa (Einheit erkannter Lebensgemeinschaft/Indikatororganismen) an Probestelle X und der Anzahl theoretisch möglicher Leittaxa an der Probestelle X ermittelt.

---

<sup>99</sup> Vgl. Streble H., Krauter S. (2001), Das Leben im Wassertropfen, S. 390-391

<sup>100</sup> Vgl. MariLim Company for Aquatic Research GmbH (o.J.), www.marilim.de, (24.11.2012 – Dokument 35 der CD)

<sup>101</sup> Vgl. Streble H., Krauter S. (2001), Das Leben im Wassertropfen, S. 390

<sup>102</sup> Vgl. Wendel M. (2009), Methoden zur Gewässergütebestimmung, S. 2



Die Zahl wird mit 100% multipliziert und von der theoretisch möglicher Leittaxa an der Probestelle X abgezogen<sup>103</sup>.

Bei Bewertung mit Saprobienindex nach Zelinka & Marvan wird mit Indikatorgewichten gerechnet. Im Vergleich dazu wird beim Saprobienindex nach Pantle & Buck mit Häufigkeitswerten gerechnet.

Das Indikationsgewicht sagt aus, inwieweit sich ein Indikatororganismus für eine bestimmte Gewässergüteklasse eignet. Kommt ein Organismus nur in einer Gewässergüteklasse vor, so erhält er die maximale Gewichtung. Beim Vorkommen in mehreren Gewässergüteklasse sinkt die Gewichtungszahl<sup>104</sup>.

Im ersten Schritt wird das Produkt aus Häufigkeit, Saprobiewert und Indikationsgewicht gebildet. Bei mehreren Indikatororganismen ist eine Summenbildung notwendig. In dem zweiten Schritt wird das Produkt aus der Häufigkeit und dem Indikationsgewicht gebildet, welches ebenfalls summiert werden muss. Der Saprobienindex wird aus dem Verhältnis der beiden Schritte gebildet. Für die Berechnung wird folgende Formel verwendet<sup>105</sup>:

$$S = \frac{\sum [\text{Häufigkeit} * \text{Indikationsgewicht} * \text{Saprobiewert}]}{\sum [\text{Häufigkeit} * \text{Indikationsgewicht}]}$$

Die Zuordnung der Gewässergüteklasse erfolgt wie beim Saprobienindex nach Pantle & Buck.

### 5.3 Mikroskopische Gewässeranalyse

Die Oberflächengewässer können natürlich, als auch anthropogen geprägt sein. Je nach Region und Gewässermorphologie sind verschiedene Indikatororganismen zu finden<sup>106</sup>. Viele Indikatororganismen können ohne weitere Hilfsmittel erkannt und bestimmt werden.

---

<sup>103</sup> Vgl. Lubini V., Vicentini H. (2011), [www.ag.ch](http://www.ag.ch), (24.11.2012 – Dokument 34 der CD), S. 5

<sup>104</sup> Vgl. AquaPlus (2008), [www.bve.be.ch](http://www.bve.be.ch), (24.11.2012 – Dokument 3 der CD), S. 17

<sup>105</sup> Vgl. Rolauffs P., Hering D., Sommerhäuser M., u.a. (2003), [www.umweltdaten.de](http://www.umweltdaten.de), (25.11.2012 – Dokument 41 der CD), S. 19

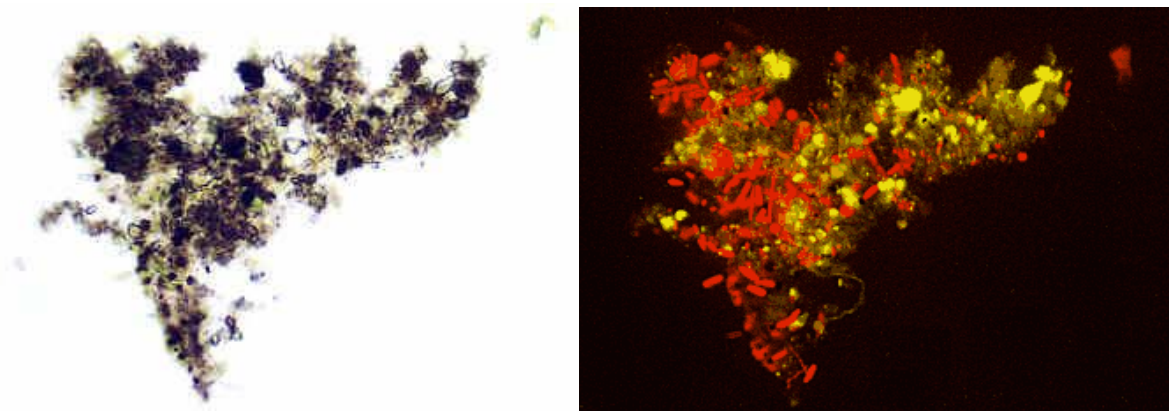
<sup>106</sup> Vgl. Groll M. (2011), <http://archiv.ub.uni-marburg.de>, (25.11.2012 – Dokument 17 der CD), S. 364

Gleichzeitig gibt es welche die erst durch die Anwendung der Mikroskopie sichtbar werden. Insbesondere bei Untersuchung von Zoo- und Phytoplankton ist die Anwendung der Mikroskopie unverzichtbar<sup>107</sup>.

Aus der Abbildung 8 ist deutlich zu erkennen, dass höhere Indikatororganismen die Aussagen über die stoffliche Belastung für eine breitere Zeitspanne liefern. Daher ist in der Regel die Bewertung über höher organisierte Organismen ausreichend. Dennoch ist aus dem Kapitel 5.2 bekannt, dass das Vorkommen von Stelle zu Stelle unterschiedlich sein kann.

Trotzdem eignet sich Makrozoobenthos aufgrund seiner spezifischen Lebens-, Ernährungs- und Verhaltensstrategien besonders zum Bewerten des Entwicklungszustandes von Fließgewässern. Daher ist eine mikroskopische Untersuchung als Ergänzung äußerst ratsam<sup>108</sup>. Da es sich bei der Gewässeruntersuchung um ähnliche Mikroorganismen handelt, können für die Betrachtung die Hellfeld-, Dunkelfeld-, Phasenkontrast- und Fluoreszenzmikroskopie verwendet werden.

Die ersten drei Verfahren werden in der Regel für die Artenbestimmung und die Artenzählung genutzt<sup>109</sup>. Mit Hilfe der Fluoreszenzmikroskopie können bestimmte Leitorganismen besser gefunden werden, als bei der Untersuchung mit der Hellfeldmikroskopie<sup>110</sup>. Folgende Abbildung verdeutlicht dieses.



---

<sup>107</sup> Vgl. Klee O. (1973), Kleines Praktikum der Wasser- und Abwasseruntersuchung – Einfache biologische und chemische Verfahren, S. 4-5

<sup>108</sup> Vgl. Horn J., Hé M. (o.J.), [www.uni-kassel.de](http://www.uni-kassel.de), (25.11.2012 – Dokument 23 der CD)

<sup>109</sup> Vgl. Bundesamt für Umwelt BAFU (2007), [www.bafu.admin.ch](http://www.bafu.admin.ch), (25.11.2012 – Dokument 11 der CD), S. 13

<sup>110</sup> Vgl. Linkenheld C. (o.J.), [www.mikroskopie.de](http://www.mikroskopie.de), (25.11.2012 - Dokument 32 der CD)

Es ist deutlich zu erkennen, dass die Algen mit Hilfe der Fluoreszenzmikroskopie aufgrund der roten Färbung leichter identifizierbar sind. Die Fluoreszenzmikroskopie kann auch für die Aktivitätsbeobachtung der einzelnen Leitorganismen und zur Untersuchung vom Verhalten auf bestimmte stoffliche Belastung eingesetzt werden<sup>111</sup>.

## **6. Eigene digitalmikroskopische Belebtschlammuntersuchungen**

**Abbildung 9: Flocke aus einem Gewässer-Sediment. Hellfeld-(links) und Fluoreszenzaufnahme (rechts)**

Quelle: Linkenheld C. (o.J.), [www.mikroskopie.de](http://www.mikroskopie.de), (25.11.2012 - Dokument 32 der CD)

In diesem Kapitel wird die mikroskopische Belebtschlammuntersuchung mit Hilfe des Digitalmikroskops der Hochschule RheinMain beschrieben. Dabei wird auf das Konzept der Untersuchung, die Einstellungen des Mikroskops und die Vorgehensweise eingegangen.

### **6.1 Konzept und Vorgehensweise der praktischen Untersuchungen**

Für die Belebtschlammuntersuchung wurden zwei Proben aus der Kläranlage „Beuerbach“ in Hünstetten entnommen. Die erste Probe wurde für die Voruntersuchung verwendet. Ziel der Voruntersuchung war es, die optimale Einstellungs- und Vergrößerungsmöglichkeiten für die Belebtschlammuntersuchung herauszufinden.

Die zweite Probe wurde für die Hauptuntersuchung verwendet. Die Proben wurden am 7. November 2012 und 19. Dezember 2012 entnommen. Die mikroskopische Untersuchung fand jeweils am Entnahme- und darauf folgenden Tag statt. Um eine Veränderung des Belebtschlammes durch die Temperatureinflüsse zu vermeiden, wurden die Proben im Kühlschrank gelagert.

### **6.2 Einstellung des Mikroskops zur Versuchsdurchführung**

Um die Zellwände von Mikroorganismen in der Probe zu verstärken und eine qualitative Betrachtung von Organellen zu ermöglichen, wurden folgende Bildverbesserungsfunktionen verwendet:

- Edge Enhancement (Kantenvergrößerung und Kantenbetonung)
- Helligkeitszusammensetzung (Großer Sichtbereich)
- Gamma adjustment (Gammaeinstellung)

---

<sup>111</sup> Vgl. Bayer. Landesamt für Umwelt (o.J.), [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de), (19.11.2012 – Dokument 7 der CD)

- Offset adjustment (Verschiebeeinstellung)
- Rauschunterdrückung

Die Bildverbesserungsfunktionen lassen sich durch die Funktion „Kameraeinstellungen/ Bildverbesserung“ aus dem Befehl „Kamera/Bild“ der Menüleiste aufrufen.

Für die Kantenbetonung wurde ein Wert von 4,1 eingestellt (möglicher Einstellungsbereich liegt zwischen 0 und 20). Gamma-Anpassung, Offset und Anti-Geräusch wurden deaktiviert. Das Deaktivieren der Anti-Geräuschfunktion ist bei der Kantenbetonung notwendig, da sonst die erwünschte Betonung durch die Unterdrückung der Signale (Lichtempfindlichkeit) verloren geht.

Die Helligkeit wurde auf AUTO gestellt. Vorteil dieser Einstellung ist die automatische Helligkeitsanpassung bei Probenuntersuchung. Bei einer Vergrößerung über 600x wurde ein Helligkeitsverlust festgestellt und manuell durch Drehen des Helligkeitseinstellknopfs (großer Drehknopf) auf der Konsole beseitigt.

### **6.3 Mikroskopische Untersuchung von Belebtschlamm**

Nach der Probenentnahme und der Voreinstellungen des Digitalmikroskops begann die Untersuchung des Belebtschlammes. Die große Glasplatte wurde gereinigt, abgetrocknet und auf den XY-Tisch gelegt. Ein Tropfen der Belebtschlammprobe wurde auf die Glasplatte gegeben und durch einen Objektträger abgedeckt. Die Vorteile der Glasplatte sind der Verzicht auf die Objektklammern, kein Auslaufen der Probe auf die Durchlichtbeleuchtung und eine sofortige Umsetzung der Richtungsänderung durch das Drehen des XY-Stativknopfes.

Der Fokus wurde eingestellt und der Weißabgleich getätigt. Durch das Drücken der Taste **OPTIMIERUNG** an der Konsole wurden vier Betrachtungsmöglichkeiten vom System vorgeschlagen. Für die Untersuchung wurde der Betonungsmodus (Bildverbesserungsmodus) gewählt.

Als erstes wurde die Dichte und die Flockengestalt bei 100-Facher Vergrößerung untersucht. Durch Erhöhung der Vergrößerung wurden die Mikroorganismen identifiziert. Für die Bildaufnahme wurde die Vergrößerung auf die Größe der jeweiligen Mikroorganismen unter der Beachtung der Bildschärfe angepasst. Die Aufnahme der Mikroorganismen erfolgte durch Drücken der Taste **PAUSE** und folgend der Taste **REC**.

Die Benennung der Bilder erfolgte unter selbst gewähltem Schlüssel und beinhaltet die Informationen über die Vergrößerung, Bildnummer und Bildzuordnungsbuchstabe (bei

mehreren Aufnahmen eines Objektes). Das Speichern der Bilder erfolgte im TIFF-Format, um die Grafikverluste bei späterer Grafikkbearbeitung zu vermeiden. Zusätzlich wurden Videoaufnahmen von ausgewählten Proben aufgezeichnet.

Nach der Probenuntersuchung wurden die Gläser abgenommen, gewaschen und abgetrocknet. Die weitere Probenuntersuchung erfolgte unter denselben Bedingungen.

## **7. Eigene digitalmikroskopische Gewässeruntersuchung**

In diesem Kapitel wird die mikroskopische Gewässeruntersuchung mit Hilfe des Digitalmikroskops der Hochschule RheinMain beschrieben. Dabei wird auf das Konzept der Untersuchung, die Einstellungen des Mikroskops und die Versuchsdurchführung eingegangen.

### **7.1 Konzept und Vorgehensweise der praktischen Untersuchung**

Für die Gewässeruntersuchung wurden mehrere Proben von verschiedenen Fließgewässern entnommen. Für die Voruntersuchung wurde die Proben aus dem Hainbach und Main in Offenbach am Main entnommen. Diese Gewässer sind der Gewässergüteklasse 2 zugeordnet. Ziel der Voruntersuchung war es, die optimale Einstellungs- und Vergrößerungsmöglichkeiten für die Gewässeruntersuchung herauszufinden. Die gefundenen Mikroorganismen sollen dabei aufgenommen und für den Fall, dass im Wellritzbach wenig gefunden wird, als Bildmaterial verwendet werden. Die Proben wurden am 05. November 2012 entnommen und am selben Tag untersucht.

Ein Teil der Probe wurde bei Raumtemperatur gelagert, um die Veränderungen der Probe auf die Flockengestalt und die Mikroorganismen zu betrachten. Die abschließende Untersuchung fand am 19. Dezember statt.

Die Proben für die Hauptuntersuchung stammen aus dem renaturierten Bereich des Wellritzbachs in Wiesbaden. Die Renaturierung fand im Rahmen eines Projekts zwischen der Landeshauptstadt Wiesbaden und der Hochschule RheinMain im Jahre 2004 statt. Dieser 350 m lange Abschnitt dient als Fließgewässerlehrstrecke für die Studierenden der Hochschule RheinMain.

Die Probe wurde am 19. Dezember 2012 aus dem vorderen Renaturierungsbereich entnommen, nicht weit vom Übergang des Bachs in das Betonprofil. Die Wassertemperatur bei der Probenentnahme betrug 5°C.

Da der Wellritzbach ein Gewässer 3. Ordnung ist, soll, wenn möglich, auch untersucht werden, ob sich die Veränderungen der Lebensgemeinschaften im renaturierten Bereich einen Einfluss auf die Gewässergüte haben könnten.

Folgende Abbildung zeigt die Entnahmestellen (rot gekreiselt) und die Beschaffenheit der Probe.



## 7.2 Einstellung des Mikroskops zur Versuchsdurchführung

Um die Zellwände von Mikroorganismen in der Probe zu verstärken und eine qualitative Betrachtung von Organellen zu ermöglichen, wurden folgende Bildverbesserungsfunktionen verwendet:

- Edge Enhancement (Kantenvergrößerung und Kantenbetonung)
- Helligkeitszusammensetzung (Großer Sichtbereich)
- Gamma adjustment (Gammaeinstellung)
- Offset adjustment (Verschiebeeinstellung)
- Rauschunterdrückung

**Abbildung 10: Probeentnahmestellen (Wellritzbach)**

Quelle: Eigenaufnahme

Die Bildverbesserungsfunktionen lassen sich durch die Funktion „Kameraeinstellungen/ Bildverbesserung“ aus dem Befehl „Kamera/Bild“ der Menüleiste aufrufen.

Für die Kantenbetonung wurde ein Wert von 4,1 eingestellt (möglicher Einstellungsbereich liegt zwischen 0 und 20). Gamma-Anpassung, Offset und Anti-Geräusch wurden deaktiviert. Das Deaktivieren der Anti-Geräuschfunktion ist bei der Kantenbetonung notwendig, da sonst die erwünschte Betonung durch die Unterdrückung der Signale (Lichtempfindlichkeit) verloren geht. Die Helligkeit wurde auf AUTO gestellt.

Vorteil dieser Einstellung ist die automatische Helligkeitsanpassung bei Probenuntersuchung. Bei einer Vergrößerung über 600x wurde ein Helligkeitsverlust festgestellt und manuell durch Drehen des Helligkeitseinstellknopfs (großer Drehknopf) auf der Konsole beseitigt.

### **7.3 Mikroskopische Untersuchung von Gewässer**

Nach der Probenentnahme und der Voreinstellungen des Digitalmikroskops begann die Untersuchung der Gewässerproben. Die große Glasplatte wurde gereinigt, abgetrocknet und auf den XY-Tisch gelegt. Ein Tropfen der Gewässerprobe wurde auf die Glasplatte gegeben und durch einen Objektträger abgedeckt. Es ist darauf zu achten, dass der Objektträger sehr vorsichtig aufgelegt wird, da sonst die Membran bei größeren Mikroorganismen beschädigt wird und es zum Auslaufen der Organellen kommt.

Die Vorteile der Glasplatte sind der Verzicht auf die Objektklammern, kein Auslaufen der Probe auf die Durchlichtbeleuchtung und eine sofortige Umsetzung der Richtungsänderung durch das Drehen des XY-Stativknopfes.

Der Fokus wurde eingestellt und der Weißabgleich getätigt. Durch das Drücken der Taste **OPTIMIERUNG** an der Konsole wurden vier Betrachtungsmöglichkeiten vom System vorgeschlagen. Für die Untersuchung wurde der Betonungsmodus (Bildverbesserungsmodus) gewählt.

Als erstes wurde die Dichte und die Flockengestalt bei 100-Facher Vergrößerung untersucht. Es wurde festgestellt, dass es deutlich weniger Flocken in Vergleich zum Belebtschlamm gibt und eine hohe Anzahl an mineralischen Schwebestoffen vorhanden ist. Durch Erhöhung der Vergrößerung wurden die kleinsten Mikroorganismen identifiziert. Die großen Leitorganismen können mit bloßem Auge festgestellt werden. Auch unter der geringsten Vergrößerung (100-Fachen) kann die volle Größe der großen Leitorganismen nicht erfasst werden, was die Videodatei v\_01\_100x der CD (Ordner „Video“) belegt.



Für die Bildaufnahme wurde die Vergrößerung auf die Größe der jeweiligen Mikroorganismen unter der Beachtung der Bildschärfe angepasst. Die Aufnahme der Mikroorganismen erfolgte durch drücken der Taste **PAUSE** und folgend der Taste **REC**. Die Benennung der Bilder erfolgte unter selbst gewähltem Schlüssel und beinhaltet die Informationen über die Vergrößerung, Bildnummer und Bildzuordnungsbuchstabe (bei mehreren Aufnahmen eines Objektes). Das Speichern der Bilder erfolgte im TIFF-Format, um die Grafikverluste bei späterer Grafikkbearbeitung zu vermeiden.

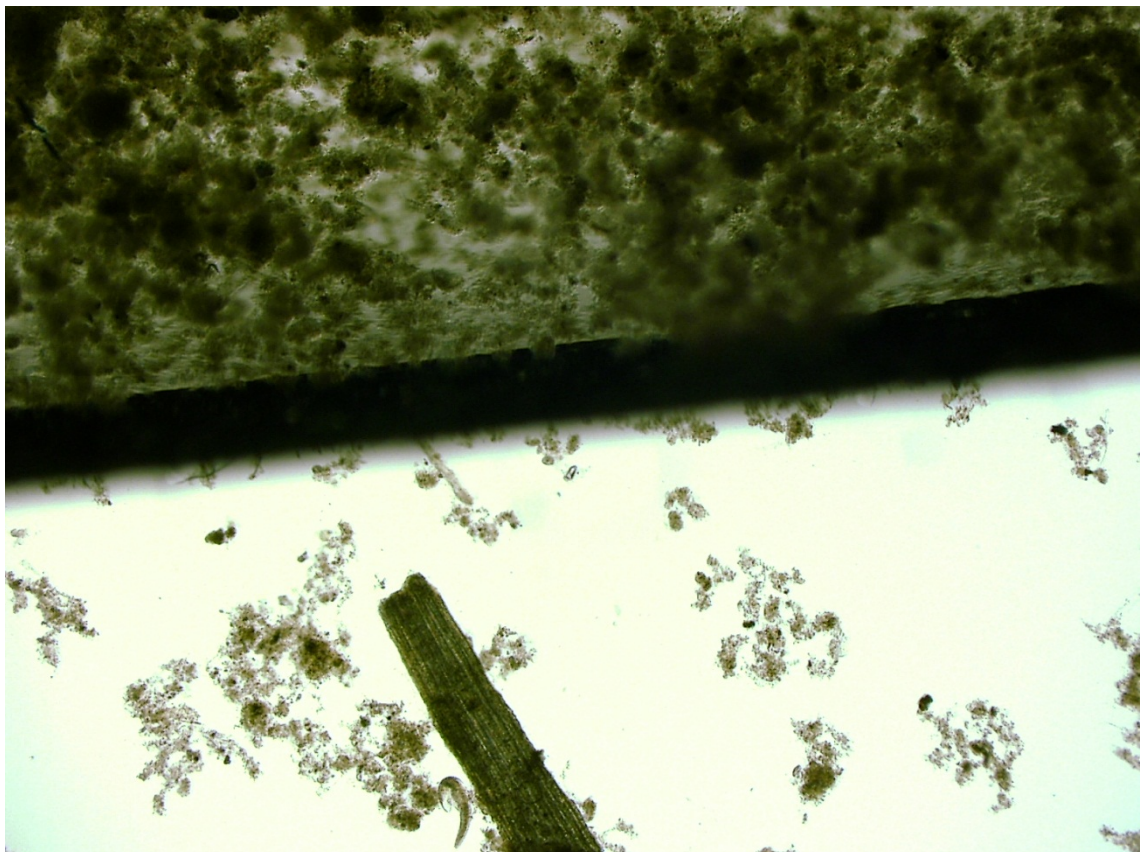
Nach der Probenuntersuchung wurden die Gläser abgenommen, gewaschen und abgetrocknet. Die weitere Probenuntersuchung erfolgte unter denselben Bedingungen.

## **8. Ergebnisse und Bewertung der mikroskopischen Untersuchung**

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Belebtschlamm- und Gewässeruntersuchung dargestellt. Außerdem werden in diesem Abschnitt die Bewertungskriterien erwähnt und die Ergebnisse interpretiert.

### **8.1 Ergebnisdarstellung von Belebtschlammproben**

Folgende Abbildung zeigt die Dichte und die Größe der Flocken. Im oberen Teil des Bildes ist die tatsächliche Flockendichte und im unteren Teil ist die Flockendichte unter dem Objektträger zu sehen.



**Abbildung 11: Flockendichte des Belebtschlammes, 100x**

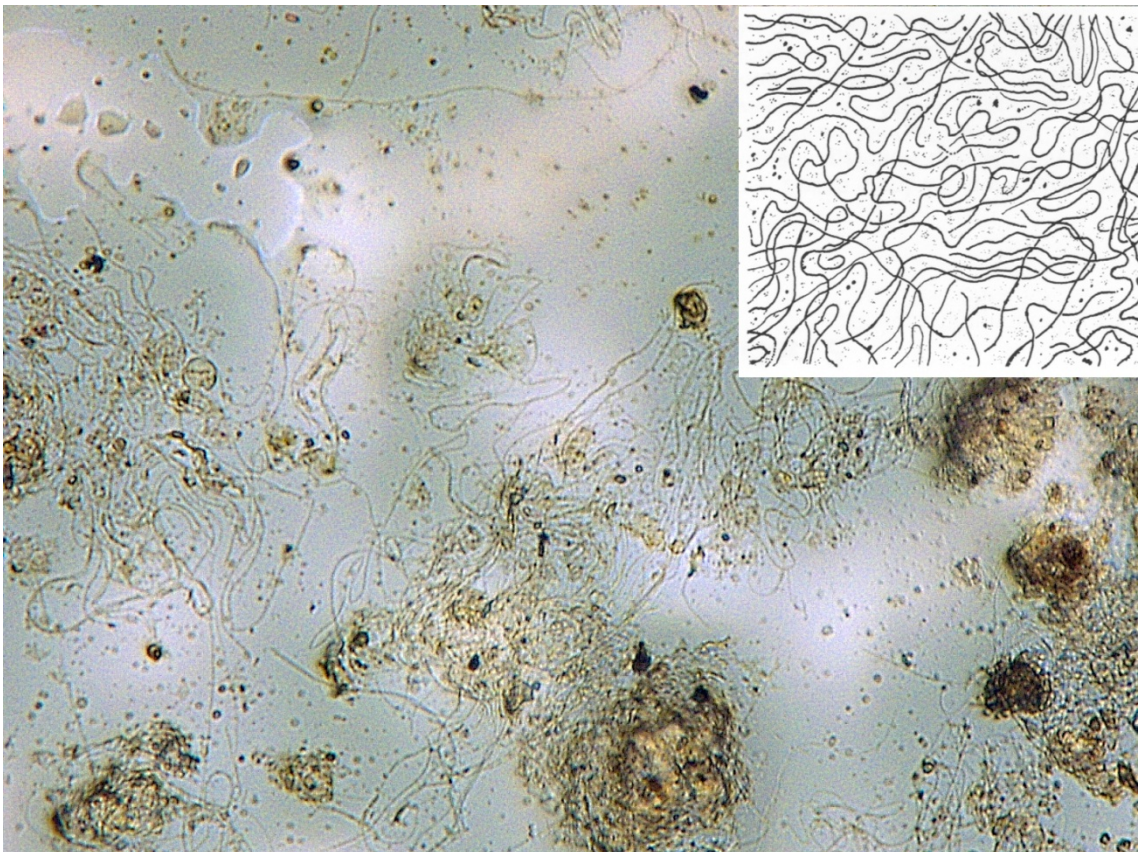
Quelle: Eigenaufnahme mit dem Digitalmikroskop der Hochschule RheinMain



Um einen besseren Überblick über die Dichte und Zusammensetzung des Belebtschlammes zu verschaffen, wurde eine Videoaufnahme mit verschiedenen Vergrößerungen erstellt. Am Ende der Aufnahme wurde die Darstellung vergrößert, um einen besseren Überblick über die Zusammensetzung der Flocke zu verschaffen.

Die Videoaufnahme „Belebtschlamm\_v“ ist auf der CD im Ordner „Video“ zu finden.

Im Folgenden werden die vorgefundene Mikroorganismen aus der Kläranlage „Beuerbach“ abgebildet. Zusätzlich werden Bestimmungsbilder und Informationen aus der Literatur eingefügt. Zur Bestimmung ausgewählter Mikroorganismen wurden zusätzlich Videoaufnahmen gemacht.



**Abbildung 12: Haliscomenobacter hydrossis, "Microthrix"-Bakterium, 700x (Kontrastverbessert)**

Quelle: Kombination aus eigener Aufnahme und Streble H., Krauter S. (2001), Das Leben im Wassertropfen, S.335

Es handelt sich in der Abbildung 12 um unverzweigte Ketten von Bakterien. Die Teilprobe stammt aus einer an der Oberfläche schwimmender Knäuele mit einem Durchmesser von etwa 1000  $\mu\text{m}$  (1 mm).

Das Aufschwimmen dieser Knäuele (Flocke) geschieht durch eine Bildung von Stickstoffgasbläschen, welche durch die Massenentwicklung der Bakterien im Inneren der Knäuele verursacht wird. Diese Bakterienart ist immer im Schlamm und in der Schlammflocke zu finden. Es handelt sich dabei um eine neu aufgenommene Art<sup>112</sup>.

In der Abbildung 13 ist ein bei der Belebtschlammuntersuchung vorgefundener Sumpfwurm (*Spirostomum teres*) abgebildet.



**Abbildung 13: Spirostomum teres, Sumpfwurm, 500x (Kontrastverbessert)**

Quelle: Kombination aus eigener Aufnahme und Streble H., Krauter S. (2001), Das Leben im Wassertropfen, S.265

*Spirostomum teres* wird auch *ambiguum* genannt. Die Körperbreite ist 10-12 mal kleiner als die Länge. Sumpfwürme ernähren sich von Bakterien und sind in Faulschlamm kleiner Gewässer zu finden. Sumpfwürme sind sehr verbreitet und sind zwischen 150-400 µm lang<sup>113</sup>.

Die Sumpfwürmer sind schwefelwasserstofftolerant. Sie kommen in Anlagen mit einem Belastungsbereich von  $B_{TS} \gg 0,15 \text{ kg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$  und mit niedriger Sauerstoffkonzentrationen ( $< 1 \text{ mg/l}$ ) vor<sup>114</sup>.

<sup>112</sup> Vgl. Streble H., Krauter S. (2001), Das Leben im Wassertropfen, S. 334

<sup>113</sup> Vgl. Streble H., Krauter S. (2001), Das Leben im Wassertropfen, S. 264

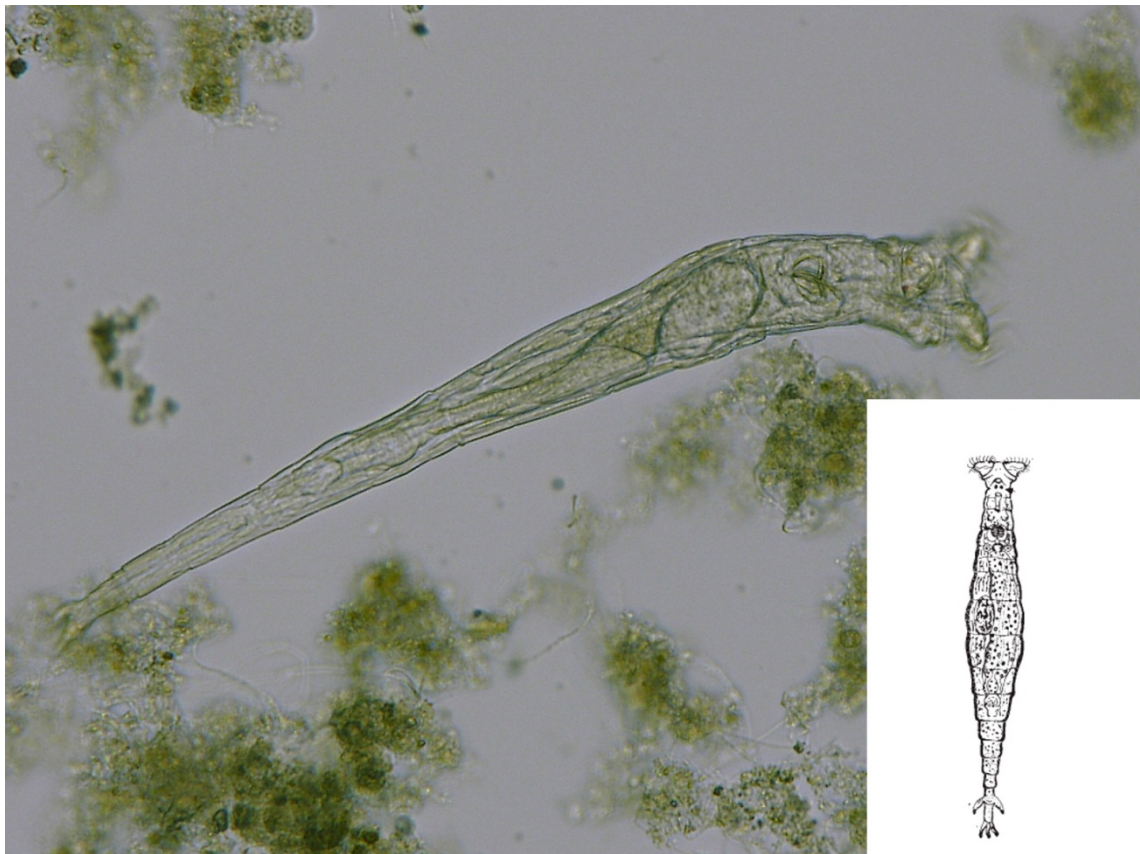
<sup>114</sup> Vgl. Bayerisches Landesamt für die Wasserwirtschaft (1999), [www.bestellen.bayern.de](http://www.bestellen.bayern.de), (19.11.2012 – Dokument 9 der CD), S.60



Dazugehörige Videoaufnahme „Sumpfwurm“ ist auf der CD im Ordner „Video“ zu finden. Die Originalaufnahme „Sumpfwurm 500x“ ist ebenfalls auf der CD in dem Ordner „Originalaufnahmen“ zu finden.

In der Abbildung 14 ist *Rotaria rotatoria* aus der Gattung der Teleskop-Rädertiere dargestellt. *Rotaria rotatoria* kommt häufig im Belebtschlamm von Kläranlagen und Wasseransammlungen aller Art vor und hat eine Länge zwischen 230 und 1100  $\mu\text{m}$ <sup>115</sup>.

*Rotaria rotatoria* ist gekennzeichnet durch ein langgestreckter Körper mit auffälligem Kaumagen und zwei roten Augenflecken, welche nah am Räderorgan liegen<sup>116</sup>. Durch ein gegliederter Fuß mit Zehen können sich die Teleskop-Rädertiere an der Flocke festhaken.



**Abbildung 14: *Rotaria rotatoria*, Teleskop-Rädertier, 600x**

Quelle: Kombination aus eigener Aufnahme und Bayerisches Landesamt für die Wasserwirtschaft (1999), [www.bestellen.bayern.de](http://www.bestellen.bayern.de), (19.11.2012 – Dokument 9 der CD), S.69

*Rotaria rotatoria* kann auch andere Formen annehmen kann. Sie kann rädernd (wie im oberen Bild) und kriechend vorkommen. Beim Kriechen werden die Rädorscheiben

---

<sup>115</sup> Vgl. Streble H., Krauter S. (2001), Das Leben im Wassertropfen., S. 284

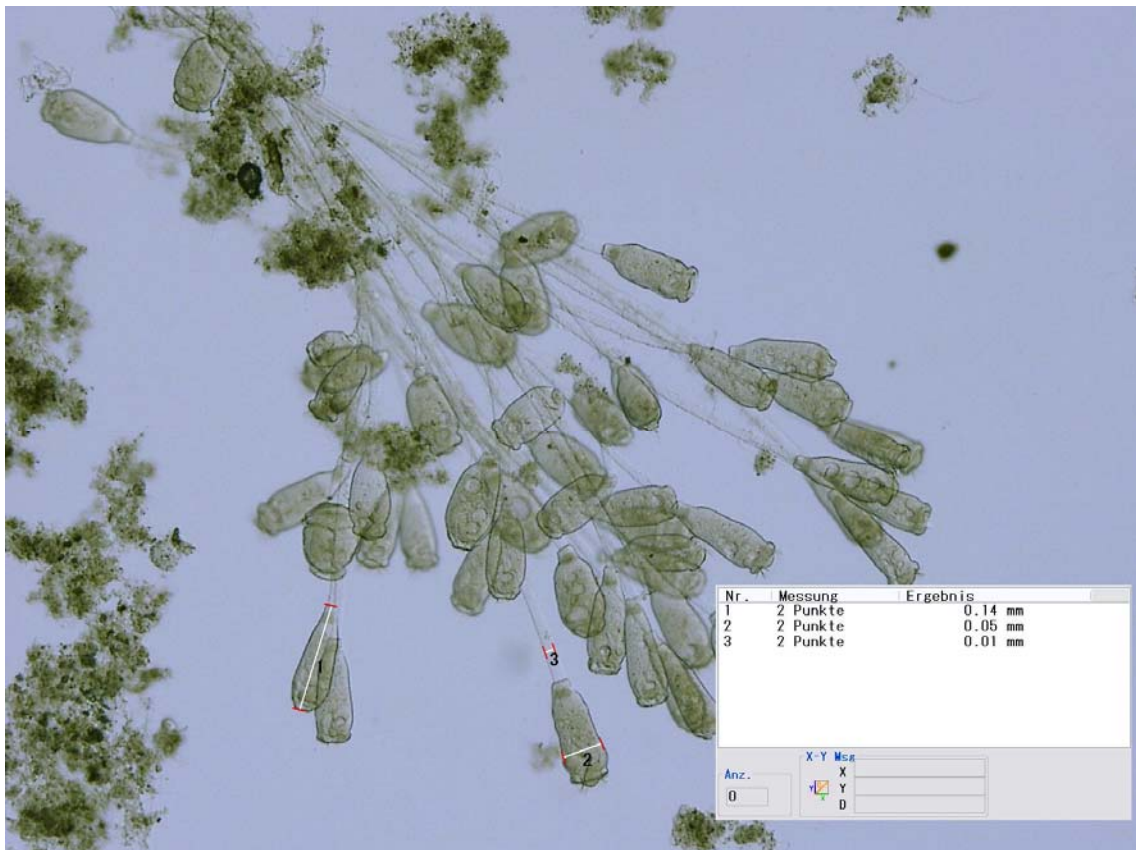
<sup>116</sup> Bayerisches Landesamt für die Wasserwirtschaft (1999), [www.bestellen.bayern.de](http://www.bestellen.bayern.de), (19.11.2012 – Dokument 9 der CD), S.69

eingezogen. Die verschiedene Formannahmen sind auf der CD im Ordner „Originalaufnahmen/ Rotaria rotatoria“ in verschiedenen Vergrößerungen zu finden.

Um die Bewegung der Räderorgane zu verdeutlichen, wurde ein entsprechendes Video aufgenommen. Dazugehörige Videoaufnahme „Rotaria rotatoria“ ist auf der CD im Ordner „Video“ zu finden.

In der Abbildung 15 ist *Epistylis* spp. (Glockentierchen) abgebildet. Die Vertreter dieser Gattung bilden Kolonien und sind durch auffällig dicke Stiele gut erkennbar. Sie weisen ein schlankes bis trichterförmiges „Köpfchen“ auf, welche eine Größe von 70-190  $\mu\text{m}$  hat. Diese Gattung besitzt kein Myonem (Organellen einiger Protozoen) und kann sich deshalb nicht zusammenziehen. Die einzelnen Abmessungen von „Köpfchen“ und Stiel sind in der Abbildung 15 festgehalten.

*Epistylis*-Arten sind tolerant gegenüber höheren Belastungen von  $B_{TS} \gg 0,15 \text{ kg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$  und Sauerstoffmangel. Sie wachsen in Biofilmen und zeigen stabile Bedingungen zur Denitrifikation und Bio-P-Elimination an<sup>117</sup>.



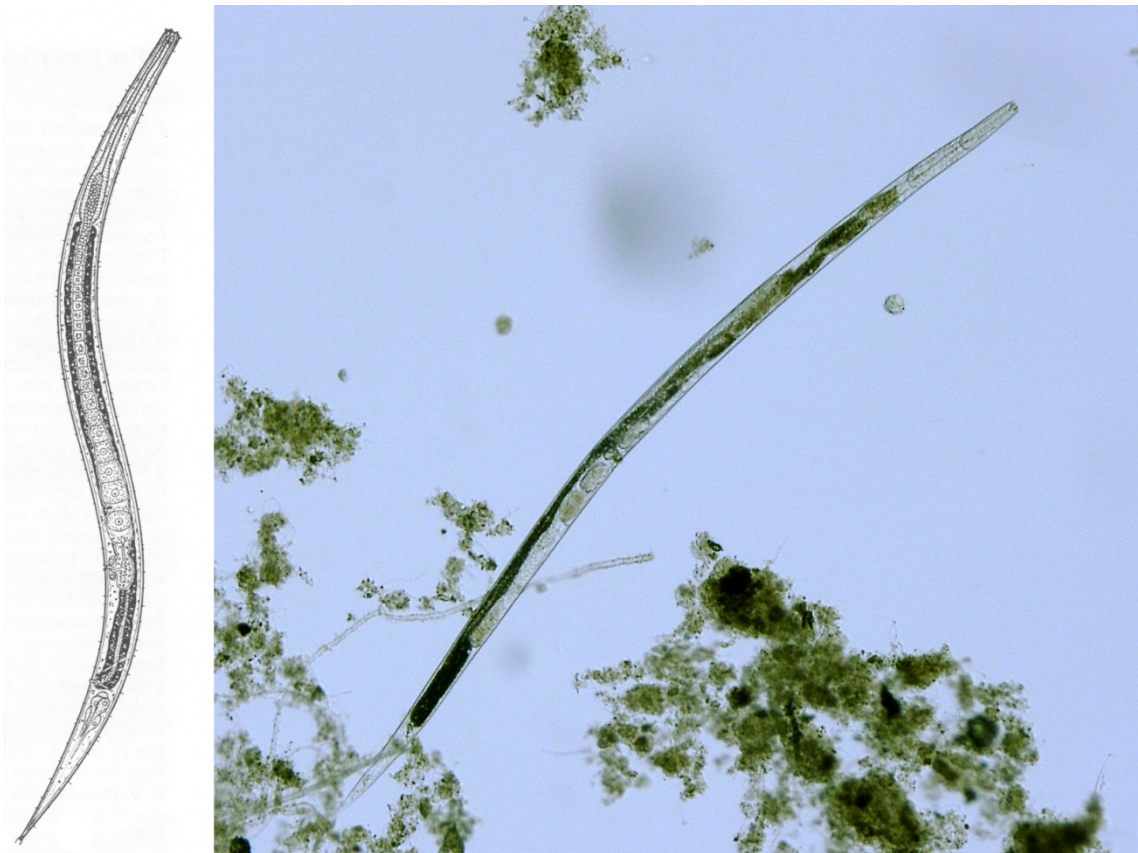
**Abbildung 15: *Epistylis* spp. „Glockentierchen, 200x**

Quelle: Eigenaufnahme mit dem Digitalmikroskop der Hochschule RheinMain

<sup>117</sup> Vgl. Bayerisches Landesamt für die Wasserwirtschaft (1999), [www.bestellen.bayern.de](http://www.bestellen.bayern.de), (19.11.2012 – Dokument 9 der CD), S.65

Um die Bewegung des Mundfelds mit Wulst zu zeigen, wurde ein Video aufgenommen. Die Aufnahme „Epistylis spp“ ist im Ordner „Video“ zu finden. Weiteres Bildmaterial ist auf der CD im Ordner „Originalaufnahmen/Epistylis spp“ zu finden.

In der Abbildung 16 ist ein Fadenwurm (Nematoden) abgebildet. Die genaue Gattungszugehörigkeit konnte nicht bestimmt werden. Die Fadenwürmer können je nach Gattung zwischen 40-5500 µm lang sein. Sie sind besonders durch die peitschenartige Bewegung auffällig<sup>118</sup>. Die Größe des vorgefundenen Fadenwurmes liegt bei ca. 1300 µm. Die Originalaufnahme „Fadenwurm 200x“ ist auf der CD in dem Ordner „Originalaufnahmen“ zu finden



**Abbildung 16: Fadenwurm, 200x (Kontrastverbessert)**

Quelle: Kombination aus eigener Aufnahme und Streble H., Krauter S. (2001), Das Leben im Wassertropfen, S.309

In der Abbildung 17 ist eine Faden-Jochalge oder auch Schraubenalge der Gattung Spirogyra abgebildet. Sie werden in der Literatur als schleimige, freischwimmende Watten aus grünen und unverzweigten Fäden mit Zylindrischem Zellkern (linksgewundene Wendel) beschrieben. In Mitteleuropa werden über 120 Arten dieser Gattung gezählt<sup>119</sup>. Die Originalaufnahme „Faden-Jochalge 500x“ ist auf der CD in dem Ordner „Originalaufnahmen“ zu finden.

---

<sup>118</sup> Vgl. Streble H., Krauter S. (2001), Das Leben im Wassertropfen, S. 308

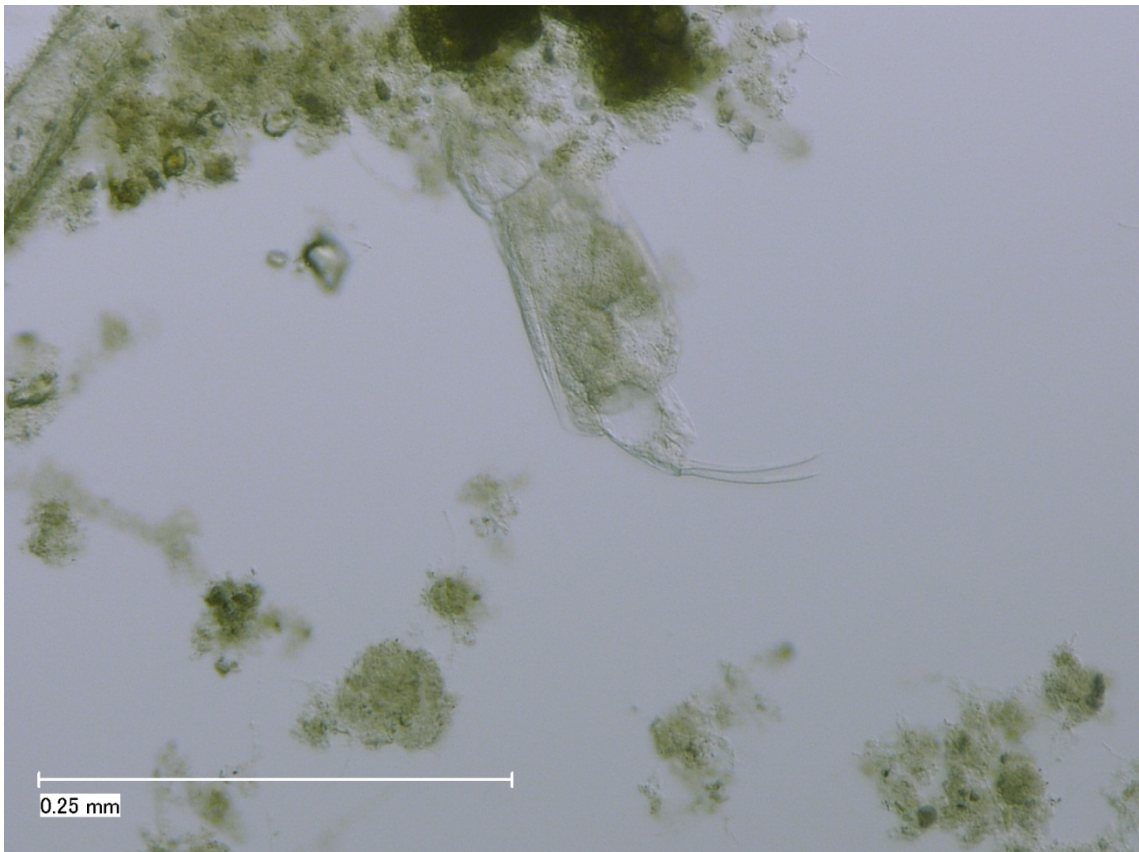
<sup>119</sup> Vgl. Streble H., Krauter S. (2001), Das Leben im Wassertropfen, S. 216





**Abbildung 17: Faden-Jochalge der Gattung Spirogyra (Spiralförmig), 500x (Kontrastverbessert)**

Quelle: Eigenaufnahme mit dem Digitalmikroskop der Hochschule RheinMain



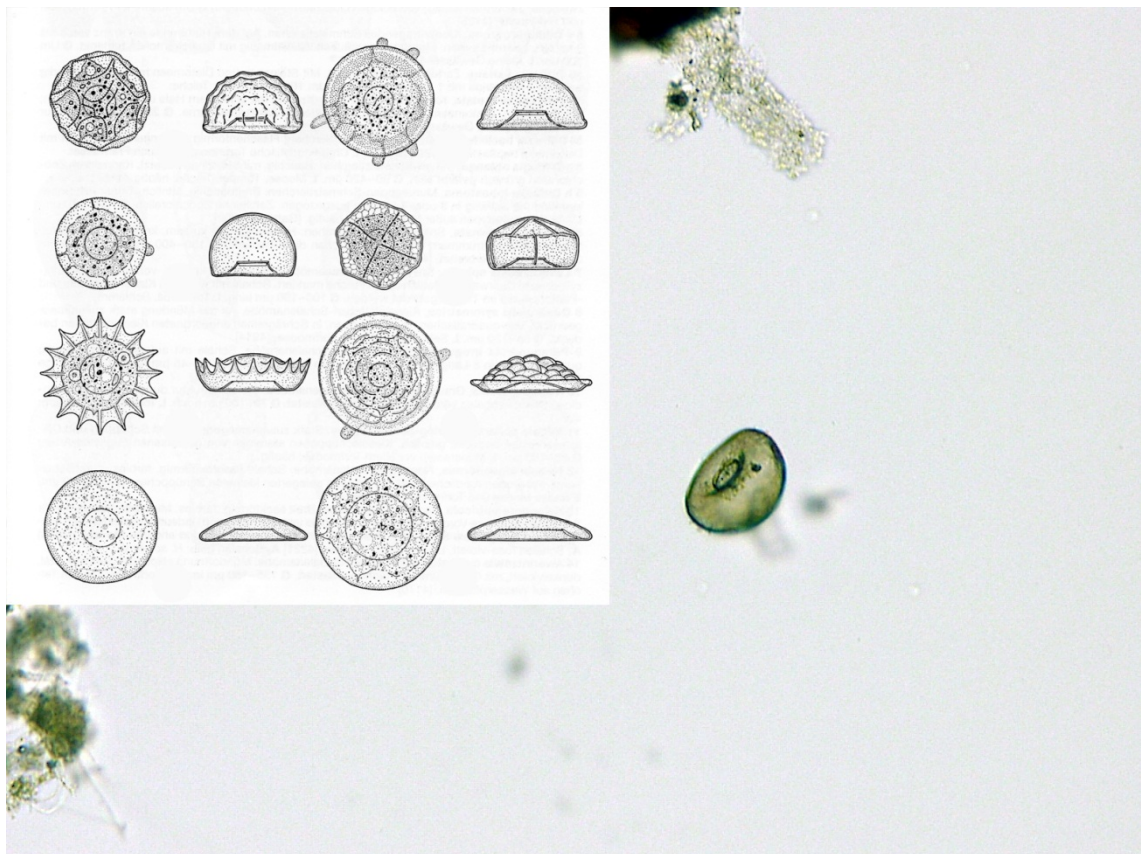
**Abbildung 18: Zangen-Rädertier der Cephelodella Gattung, 500x**

Quelle: Eigenaufnahme mit dem Digitalmikroskop der Hochschule RheinMain



In der Abbildung 18 ist ein Zangen-Rädertier der Cephalodella Gattung abgebildet. Der Panzer Besteht aus 4-5 Platten, welche durch Längsspalten getrennt sind. Die Zehen sind länger als der Fuß und das Räderorgan ist schräggestellt. Um den Mund ist ein Büschel starrer Wimpern angeordnet. Die Zangen-Rädertiere werden auch als Räuber bezeichnet<sup>120</sup>. Sie ernähren sich von Algen, organischer Substanz und Bakterien. Um die Bewegung des Räderorgans zu zeigen, wurde ein Video aufgenommen. Die Aufnahme „Zangen-Rädertier“ ist im Ordner „Video“ zu finden.

Abbildung 19 zeigt einen Wurzelfüßer (Schalenamöbe) der Arcella-Gattung. Die Schalen erscheinen in Aufsicht rund bis Kantig (je nach Art) und besitzen eine zentraler Mündung. Viele Arten sind weit verbreitet und sind in verschiedensten Gewässertypen (Teiche und Seen) zu finden. Die erreichbare Größe (je nach Art) liegt im Bereich von ca. 50-270  $\mu\text{m}$ <sup>121</sup>. Das in der Abbildung 19 abgebildete Uhrplastier hat einen Durchmesser von ca. 60  $\mu\text{m}$ . Die Originalaufnahme „Schalenamöbe 500x“ ist auf der CD in dem Ordner „Originalaufnahmen“ zu finden.



**Abbildung 19: Wurzelfüßer (Schalenamöbe) der Arcella-Gattung, 500x (Kontrastverbessert)**

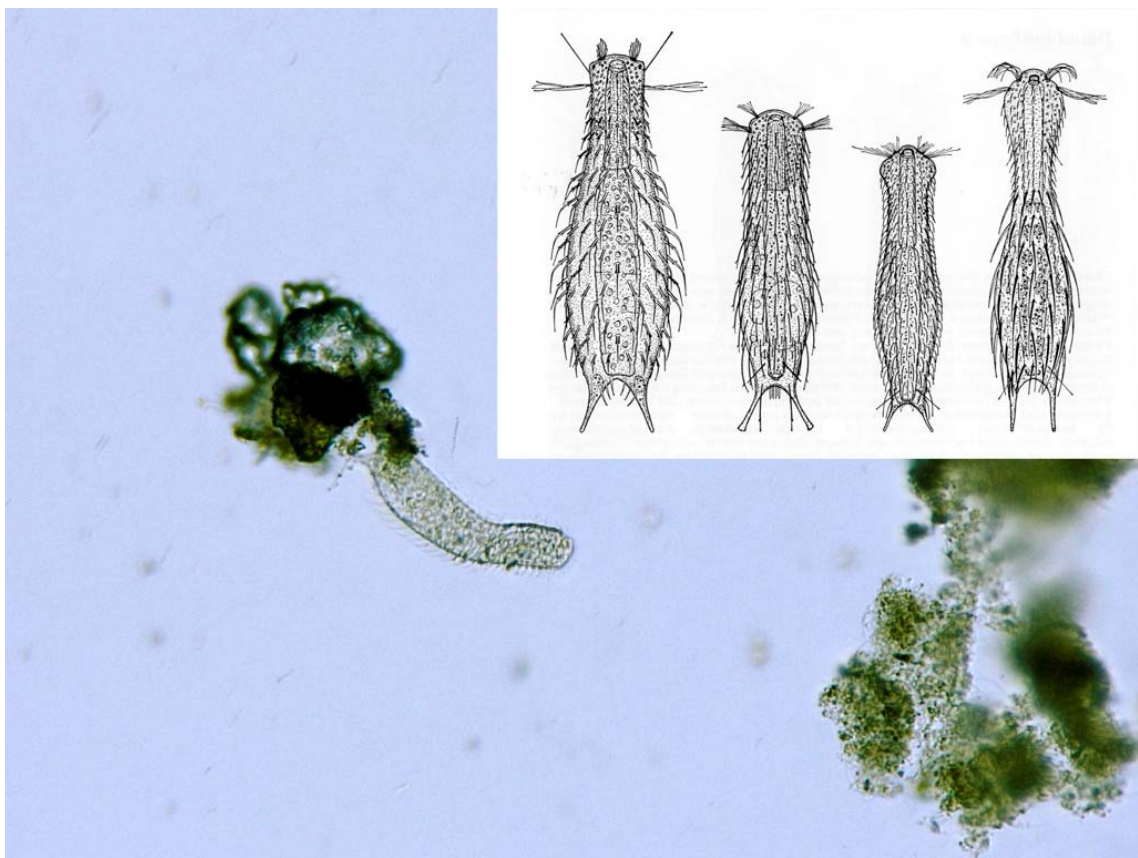
Quelle: Kombination aus eigener Aufnahme und Streble H., Krauter S. (2001), Das Leben im Wassertropfen, S.309

<sup>120</sup> Vgl. Streble H., Krauter S. (2001), Das Leben im Wassertropfen, S. 294

<sup>121</sup> Vgl. Streble H., Krauter S. (2001), Das Leben im Wassertropfen, S. 232

In der Abbildung 20 ist ein Bauchhärling (auch Flaschentierchen genannt) der Gattung *Chaetonotus* dargestellt. Sie ähneln den Wimpertierchen und werden deshalb oft verwechselt. Im Vergleich zu Wimpertierchen sind die Bauchhärlinge Mehrzeller. Die Zellenanzahl ist bei jeder Art konstant und wird unabhängig vom Alter nicht über- oder unterschritten. Es sind mehr als 200 Arten bekannt und sie werden zwischen 80 µm und 800 µm groß. Die vorgefundene Art ist ca. 150 µm lang und 30 µm breit.

Sie sind ebenfalls Räuber wie die Rädertierchen und ernähren sich von Protozoen (einzellige Lebewesen, Bakterien, Wimpertierchen) und Algen. Die Vermehrung findet durch Jungfernzeugung statt. Die Eier werden einzeln abgelegt und die Entwicklung dauert 2-3 Tage, wonach die geschlüpften Jungtiere fast ihre volle Größe erreichen<sup>122</sup>.



**Abbildung 20: Bauchhärling der Gattung *Chaetonotus*, 400x (Kontrastverbessert)**

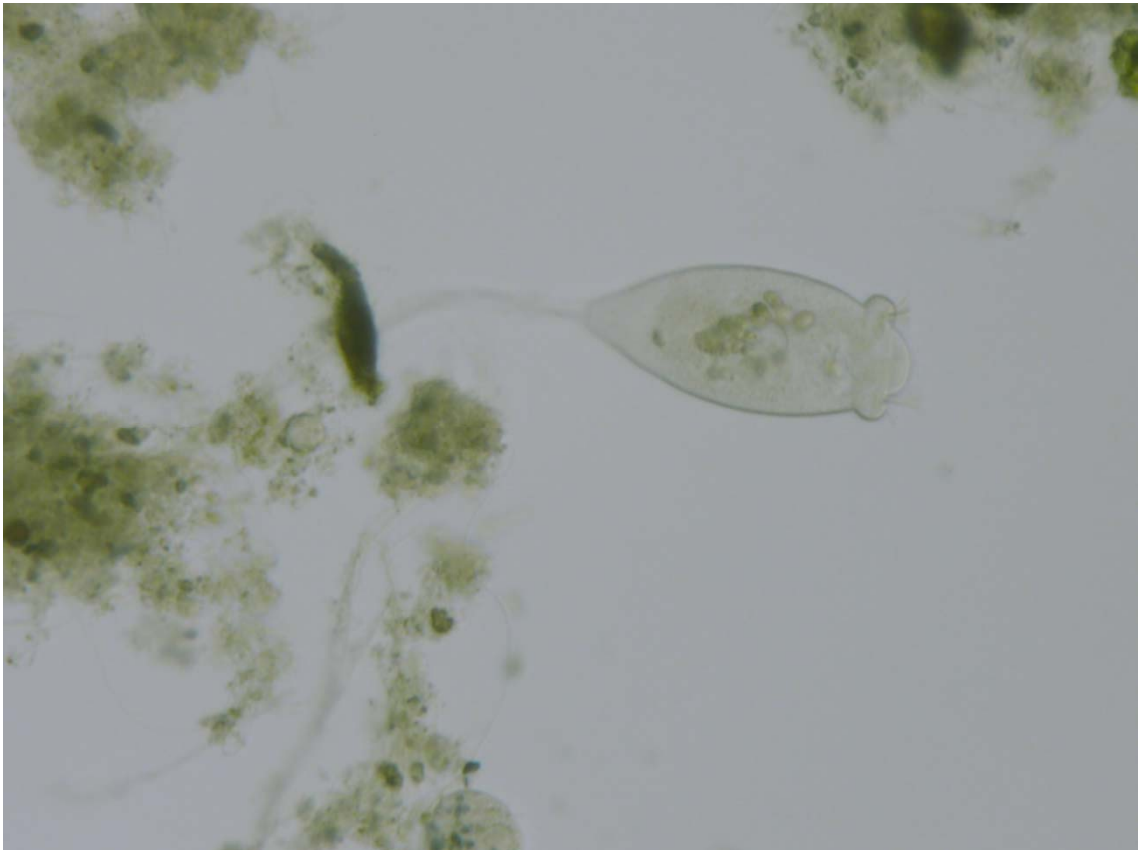
Quelle: Kombination aus eigener Aufnahme und Streble H., Krauter S. (2001), *Das Leben im Wassertropfen*, S.305

Die Originalaufnahme „Bauchhärling 400x“ ist auf der CD in dem Ordner „Originalaufnahmen“ zu finden.

<sup>122</sup> Vgl. Stanjek G.H. (o.J.), [www.hydro-kosmos.de](http://www.hydro-kosmos.de), (25.12.2012 – Dokument 48 der CD)



In der Abbildung 21 ist ein weiteres Wimpertierchen (Glockentierchen) der Gattung *Vorticella* dargestellt. Das Köpfchen hat einen Durchmesser von 50 µm bis 150 µm und sitzt meist auf einem Stiel. Der Stiel ist in Vergleich zu *Epistylis*-Arten (Abbildung 15) umschließt ein Muskel (Myonem), welcher das Zusammenziehen ermöglicht. Sie sind Einzelorganismen und leben nicht in Kolonien<sup>123</sup>. Das Köpfchen des abgebildeten Wimpertierchens ist 110 µm lang und 50 µm breit. Die Originalaufnahme „*Vorticella* 800x“ ist auf der CD in dem Ordner „Originalaufnahmen“ zu finden.



**Abbildung 21: *Vorticella*, 800x**

Quelle: Eigenaufnahme mit dem Digitalmikroskop der Hochschule RheinMain

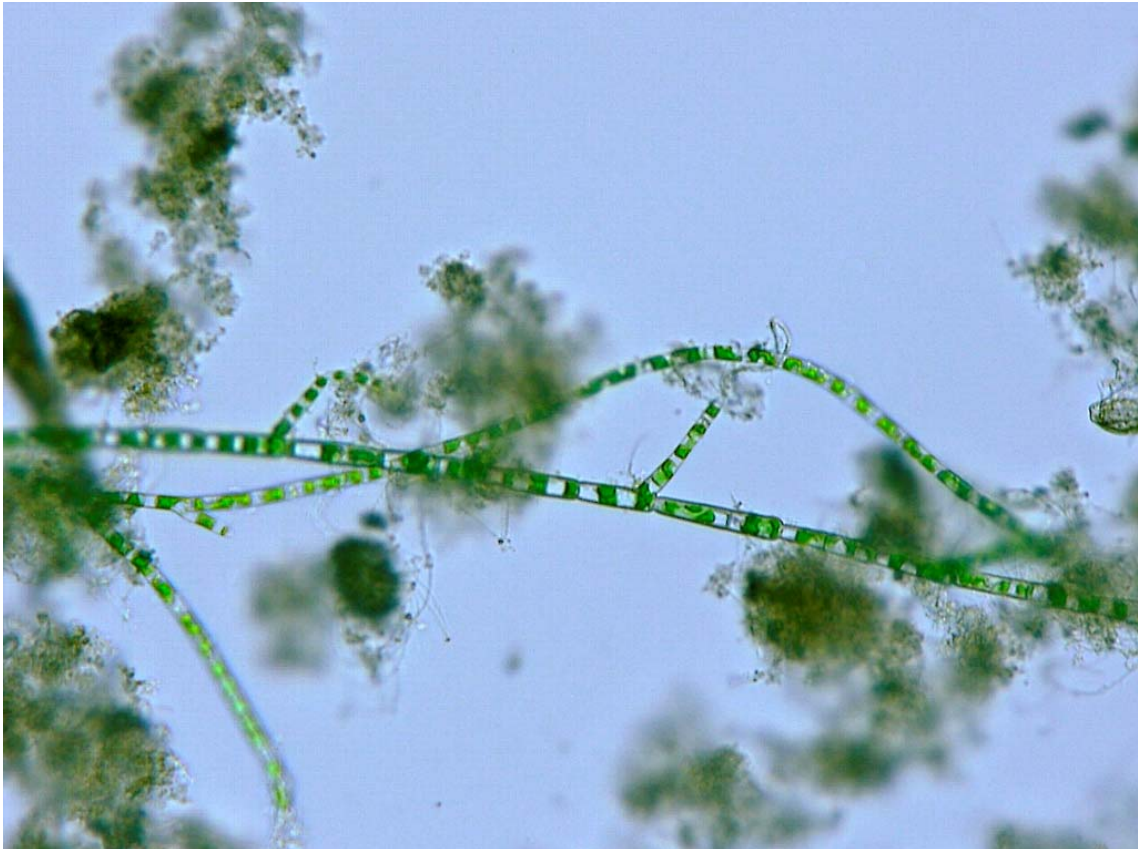
Es wurden bei der mikroskopischer Untersuchung viele weitere Mikroorganismen gefunden. Dazu gehört z.B. *Aspidisca costata*. Im Belebtschlamm kommen vier verschiedene Arten der *Aspidisca* Gattung vor und sind nahezu in jedem Schlamm zu finden. Die Körperlänge liegt bei ca. 30 µm<sup>124</sup>. Aufgrund von schneller Bewegung könnte keine Bildaufnahme gemacht werden. Um die Bewegung von *Aspidisca costata* zu verdeutlichen, wurde eine Videoaufnahme gemacht. Die Aufnahme „*Aspidisca costata*“ ist im Ordner „Video“ zu finden.

---

<sup>123</sup> Vgl. Eikelboom D.H., van Buijsen H.J.J. (1992), Handbuch für die mikroskopische Schlammuntersuchung, S. 62

<sup>124</sup> Vgl. Eikelboom D.H., van Buijsen H.J.J. (1992), Handbuch für die mikroskopische Schlammuntersuchung, S. 64

In der Abbildung 22 ist eine *Tribonema viride* (Gelbgrünalge) abgebildet. Die Wasserfäden erscheinen lebhaft Grün und beinhalten viele Chloroplasten. Die H-Förmige Membranstücke sind unter dem Mikroskop gut zu sehen. Die Zellenlänge ist ca. 30-100 µm lang und ca. 10-15 µm breit. Sie kommen üblicherweise in stehenden Gewässern, Kleinstgewässern und feuchter Erde vor<sup>125</sup>. Die abgebildete Gelbgrünalge hat eine Zellenlänge von 30 µm und eine Breite von 10 µm. Die Originalaufnahme „*Tribonema viride* 600x“ ist auf der CD in dem Ordner „Originalaufnahmen“ zu finden.



**Abbildung 22: *Tribonema viride* (Gelbgrünalge), 600x (Kontrastverbessert)**

Quelle: Eigenaufnahme mit dem Digitalmikroskop der Hochschule RheinMain

Weitere Mikroorganismen, die bei der Untersuchung von Belebtschlamm gefunden wurden, werden nicht detailliert aufgeführt, weil sie nicht genau zugeordnet werden konnten. Das Bildmaterial ist auf der CD im Ordner „Originalaufnahmen/Unbekannt“ zu finden.

Im Biofilm der Belebtschlammprobe wurden viele freischwimmende Protozoen gefunden. Die Aktivität dieser Bakterien ist im Video „Protozoen“ auf der CD im Ordner „Video“ dargestellt.

---

<sup>125</sup> Vgl. Streble H., Krauter S. (2001), Das Leben im Wassertropfen, S. 152

Um die Anzahl der Mikroorganismen festzustellen, wurde eine Probe mit einer Fläche von ca. 6 cm<sup>2</sup> untersucht. Die gefundenen Mikroorganismen setzen sich wie folgt zusammen:

Freie Bakterien (im Biofilm)	viele
Freie Bakterien (Belebtschlamm)	wenige
Rotatorien	6 Stück
Nematoden	4 Stück
Aspidisca	46 Stück
Epistylis	5 Stück
Vorticella	13 Stück
Algen	6 Stück
Schalenamöben	8 Stück
Spirostomum	21 Stück

Die Anzahl der gezählten Mikroorganismen kann von der tatsächlichen Anzahl abweichen, da viele Mikroorganismen sich schnell bewegen. Diese können wiederholt gezählt oder auch gar nicht erfasst werden. Die Flockengröße des untersuchten Belebtschlammes beträgt im Durchschnitt ca. 400 µm.

### 8.1.1 Bewertungskriterien

Die Bewertungskriterien wurden in Anlehnung an „Streble H., Krauter S. (2001): Das Leben im Wassertropfen“, „Eikelboom D.H., van Buijsen H.J.J. (1992): Handbuch für die mikroskopische Schlammuntersuchung“, „Bayerisches Landesamt für die Wasserwirtschaft (1999), [www.bestellen.bayern.de](http://www.bestellen.bayern.de), (19.11.2012 – Dokument 9 der CD)“ und „Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (1992), Das mikroskopische Bild bei der aeroben Abwasserreinigung“, 2. Auflage, Heft 8/92 „erstellt.

Für die Bewertung der Ergebnisse werden folgende Bewertungskriterien festgelegt:

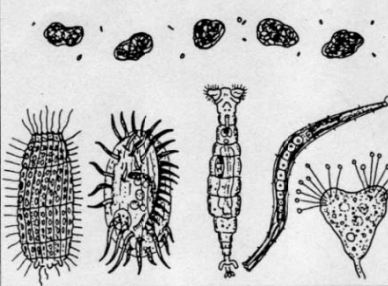
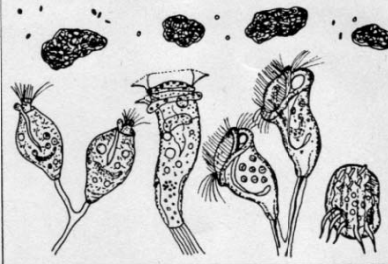
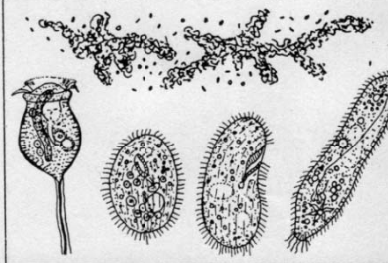
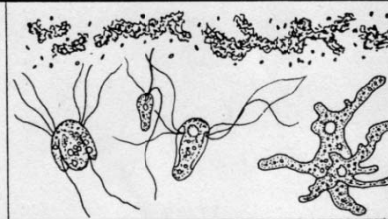
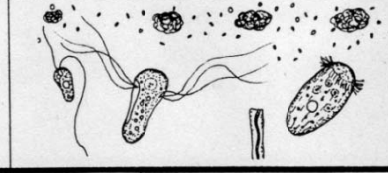


- Größe der Flocke

große Flocken	Durchmesser > 500 µm
mittelgroße Flocken	Durchmesser zwischen 100 bis 500 µm
kleine Flocken	Durchmesser < 100 µm
- Struktur der Flocke

offen	Die Flocken sind durch Hohlräume geprägt (wird häufig durch die Anwesenheit der fadenförmigen Mikroorganismen hervorgerufen)
kompakt	Können nur wenige Hohlräume festgestellt werden

- Zusammensetzung der Flocke

Hier soll die Anwesenheit charakteristischer Gruppen von Mikroorganismen untersucht werden, da diese unmittelbar mit Qualität und Quantität der zur Verfügung gestellten Nährstoffen verbunden sind. Dadurch können Rückschlüsse auf die Belastung der Anlage gemacht werden. Die Zuordnung kann aus der folgenden Abbildung entnommen werden.

schwachbelastet	wenig freie Bakterien Flocken klein abgerundet fest  Coleps Euplotes Rotatorien Nematoden Sauginfusorien	
mittelbelastet	wenig freie Bakterien Flocken mittel, klein abgerundet fest  Opercularia Epistylis Carchesium Aspidisca cicada	
hochbelastet	häufig freie Bakterien Flocken groß unregelmäßig locker  Vort. microstoma Glaucoma Dexiostoma Paramecium	
instabil	häufig freie Bakterien Flocken groß, mittel und klein unregelmäßig locker  Geißeltierchen Amoeben (unbeschalt)	
Stoßbelastung	häufig freie Bakterien Flocken klein, aufgelöst  Geißeltierchen Schwärmer von Vorticella	
Sauerstoffmangel	Spirillen Schwefelbakterien Schwärmerzellen	
Blähschlamm/ Schwimmschlamm	viele fadenförmige Bakterien Schlammindex (> 150ml/g)	

**Abbildung 23: Bewertung der Anlagenbelastung mit Hilfe der Flockenzusammensetzung**

Quelle: Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (1992): Das mikroskopische Bild bei der aeroben Abwasserreinigung“, 2. Auflage, Heft 8/92

Das Ausmaß kann an organischen und anorganischen Bestandteilen, sowie Mikroorganismen wird wie folgt definiert:

- abwesend
- ± fallweise beobachtet
- + regelmäßig beobachtet (5 bis 10 Beobachtungen in einem Präparat)
- ++ häufig Vorkommen (mehr als 10 bis 15 Fälle in einem Präparat)

Das Ausmaß an freischwebenden Bakterien wird wie folgt definiert:

- nahezu abwesend
- + einige –zig Beobachtungen
- ++ hunderte Beobachtungen

- Wachstum von freischwebenden Bakterien

Bei der mikroskopischer Untersuchung kann das Ausmaß der fadenförmigen Mikroorganismen durch fünf Kategorien (nach Eikelboom D.H., van Buijsen H.J.J. (1992): Handbuch für die mikroskopische Schlammuntersuchung) bestimmt werden.

Kategorie 0: Es sind kaum fadenförmige Mikroorganismen anwesend.

Kategorie 1: Eine kleine Anzahl an fadenförmigen Mikroorganismen sind anwesend

Kategorie 2: Eine mäßige Anzahl an fadenförmigen Mikroorganismen sind anwesend

Kategorie 3: Eine große Anzahl an fadenförmigen Mikroorganismen sind anwesend

Kategorie 4: Eine extreme Anzahl an fadenförmigen Mikroorganismen sind anwesend

Das mikroskopische Bild zu den Kategorien ist aus der Abbildung 24 zu entnehmen.

- Geruch und Schlammabsetzung

frisch bis erdig                      Reinigungsstufe ist in Ordnung

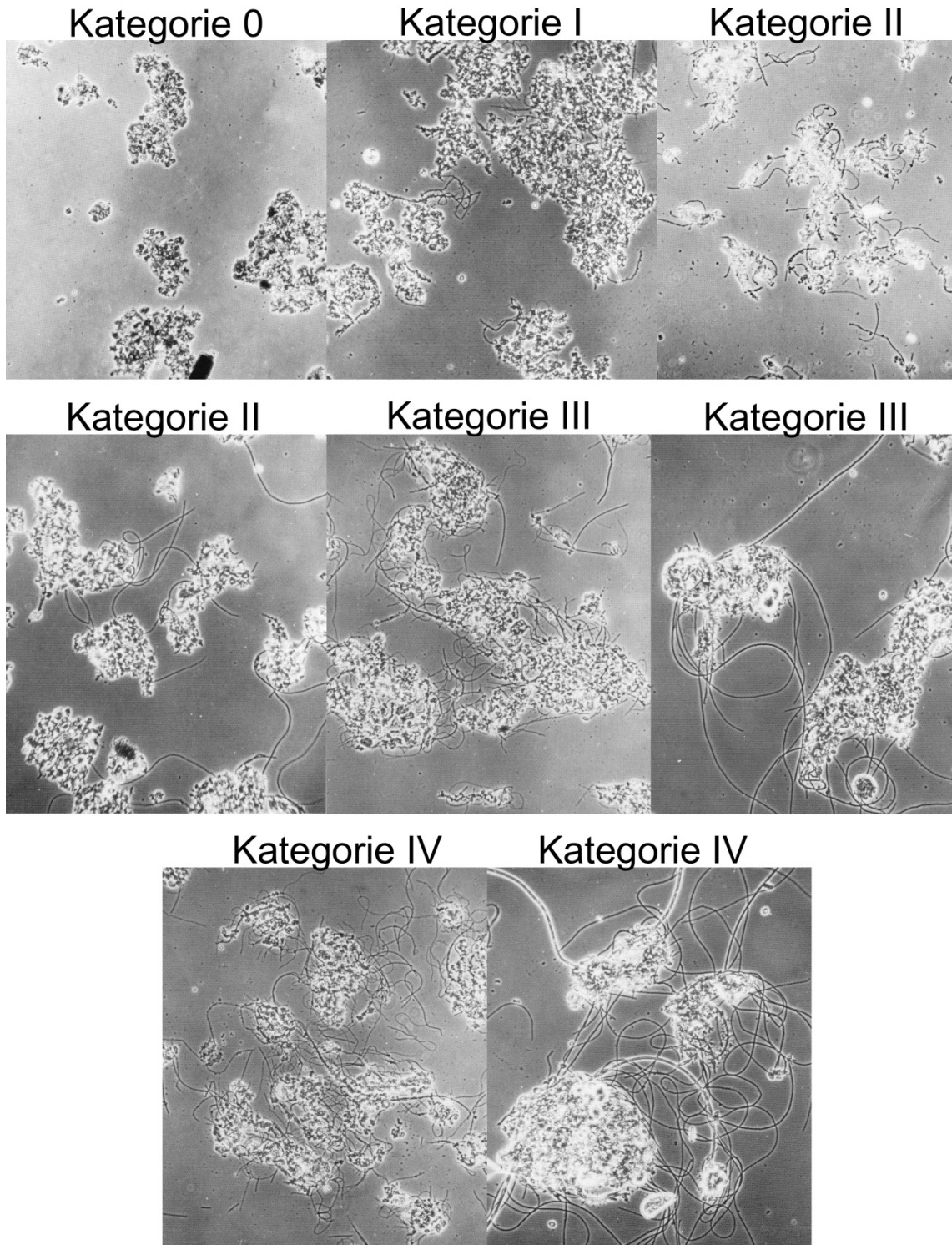
muffig bis faulig                      Es liegt eine Störung vor

- Farbe

grau bis mittelbraun                      Belebtschlamm ist in Ordnung

dunkelbraun bis schwarz                      alter oder hochbelasteter Schlamm





**Abbildung 24: Visuelle Beurteilung von Belebtschlamm bezüglich des Auftretens von Fadenbakterien, 115x**

Quelle: Kombination in Anlehnung an Eikelboom D.H., van Buijsen H.J.J. (1992), Handbuch für die mikroskopische Schlammuntersuchung, S. 77-78

### 8.1.2 Interpretation und Bedeutung der Ergebnisse

Der untersuchte Belebtschlamm weist eine mittlere Flockengröße auf. Im Allgemeinen kann der Schlamm als frei von fadenförmigen Mikroorganismen bewertet werden und gehört eindeutig in die Kategorie 0. Die in der Abbildung 12 dargestellte Microthrix"-Bakterie kommt in jedem Belebtschlamm vor und ist nur bei Vermehrung als problematisch einzustufen. Die Flocken sind Kompakt und unregelmäßig.

Die meisten Mikroorganismen wurden regelmäßig beobachtet. Mikroorganismen der Spirostomum, Aspidisca und Vorticella Gattung wurden häufig beobachtet (mehr als 10 Fälle). Es konnte eine sehr geringe Anzahl an freien Bakterien (ausgenommen Biofilm) festgestellt werden. Die Farbe wird als mittelbraun und der Geruch als frisch eingestuft.

Die Wimpertiere kommen mit hoher Artenvielfalt vor, insbesondere die Arten der festsitzenden Wimpertierchen und auf der Flocke schreitenden Wimpertierchen. Die Anwesenheit von Rädertierchen ist auf ein hohes Schlammalter zurückzuführen. Die Anlage kann als schwachbelastet mit artenreicher Biozönose und guter Sauerstoffversorgung bewertet werden.

### 8.2 Ergebnisdarstellung von Gewässerproben



**Abbildung 25: Gliederwurm (Wenigborster, Oligochaeta), 100x (Kontrastverbessert)**

Quelle: Eigenaufnahme mit dem Digitalmikroskop der Hochschule RheinMain



In der Abbildung 25 ist ein Gliederwurm (Wenigborster, auch Oligochaeta genannt) abgebildet. Die genaue Zuordnung konnte aufgrund der großen Vielfalt nicht erfolgen. Weltweit sind über 3500 Arten bekannt, wobei über 3000 Arten an Land oder im Süßwasser leben. Der Körper besteht aus 6 bis 600 Segmenten und ist mit Borsten bedeckt<sup>126</sup>. Die Größe des gefundenen Gliederwurms konnte nicht genau bestimmt werden. Um die Größe und die inneren Aktivitäten des gefundenen Gliederwurms zu zeigen wurde ein Video aufgenommen. Die Aufnahme „Gliederwurm“ ist im Ordner „Video“ zu finden. Die Originalaufnahme „Gliederwurm 100x“ ist auf der CD in dem Ordner „Originalaufnahmen/Gewässer“ zu finden.

In der Abbildung 26 ist eine Steinfliegenlarve dargestellt. Die Steinfliegenlarven haben im Gegensatz zu Eintagsfliegenlarven nur zwei Schwanzborsten am Hinterleib. Je nach Art können die Steinfliegenlarven eine Größe von bis zu 30 mm erreichen. Die Kiemen seitlich am Hinterleib fehlen<sup>127</sup>. Die Originalaufnahme „Eintagsfliegenlarve 100x“ ist auf der CD in dem Ordner „Originalaufnahmen/Gewässer“ zu finden.



**Abbildung 26: Steinfliegenlarve, 100x (Kontrastverbessert)**

Quelle: Eigenaufnahme mit dem Digitalmikroskop der Hochschule RheinMain

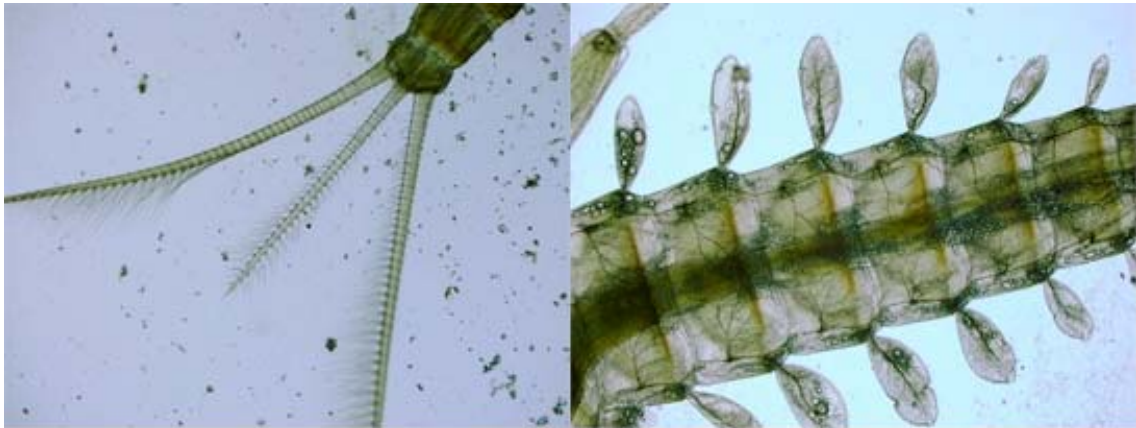
---

<sup>126</sup> Vgl. Langmaack J. (o.J.), [www.tauchen24.info](http://www.tauchen24.info), (26.12.2012 – Dokument 31 der CD)

<sup>127</sup> Vgl. Vereinigung Deutscher Gewässerschutz e.V. (o.J.), [www.vdg-online.de](http://www.vdg-online.de), (25.11.2012 – Dokument 53 der CD), S.62



Die Eintagsfliegenlarven haben in Vergleich zu Steinfliegenlarven meist drei lange Schwanzbolzen und Tracheenkiemen seitlich am Hinterleib. Sie können je nach Art eine Größe von bis zu 23 mm erreichen<sup>128</sup>. Da die gefundene Eintagsfliegenlarve ca. 8 mm groß war, könnte sie nicht vollständig abgebildet werden. In der Abbildung 27 sind links die drei Schwanzbolzen und rechts die Kiemen abgebildet. Die Originalaufnahmen „Schwanzbolzen 100x und Kiemen 100x“ sind auf der CD in dem Ordner „Originalaufnahmen/Gewässer“ zu finden.



**Abbildung 27: Schwanzbolzen (links) und Kiemen (rechts) von Eintagsfliegenlarve, 100x**

Quelle: Eigenaufnahme mit dem Digitalmikroskop der Hochschule RheinMain

In der Abbildung 28 ist ein Flussflohkrebs (*Gammarus roeseli*) dargestellt. Sie treten sehr häufig auf und leben zwischen dichten Wasserpflanzen in sandiger, steinigem und nicht zu sauren Fließgewässern. Die Flussflohkrebse ernähren sich von lebenden und abgestorbenen Pflanzen, sowie toten Insektenlarven<sup>129</sup>.

Die Abbildung 28 wurde aus zwei Bildern zusammengesetzt um die volle Größe des gefundenen Flussflohkrebses abzubilden. Die Originalaufnahmen „Flussflohkrebs 100x Flussflohkrebs 100x Bild 2“ sind auf der CD in dem Ordner „Originalaufnahmen/Gewässer“ zu finden.

Die Abbildung 29 zeigt eine Zuckmückenlarve. Die Größe je nach Art liegt zwischen 1 mm und 30 mm. Sie kommen äußerst häufig vor und es können mehrere tausende in Schlamm pro Quadratmeter gefunden werden. Ernähren sich von pflanzlichen und tierischen Abfällen. Die Verpuppung findet nach einem Jahr statt. Können aufgrund von Blutfarbstoff mehr Sauerstoff aufnehmen, was ein Vorteil zum Überleben am sauerstoffarmen Grund verschafft. Sie atmen hauptsächlich über die Haut<sup>130</sup>.

---

<sup>128</sup> Vgl. Vereinigung Deutscher Gewässerschutz e.V. (o.J.), [www.vdg-online.de](http://www.vdg-online.de), (25.11.2012 – Dokument 53 der CD), S.60

<sup>129</sup> Vgl. Natur- und Umweltschutz-Akademie des Landes NRW (o.J.), [www.flussnetzwerke.nrw.de](http://www.flussnetzwerke.nrw.de), (27.12.2012 – Dokument 38 der CD)

<sup>130</sup> Vgl. Goethe Universität Frankfurt am Main (o.J.), [www.web.uni-frankfurt.de](http://www.web.uni-frankfurt.de), (27.12.2012 – Dokument 16 der CD)



**Abbildung 28: Flussflohkrebs (*Gammarus roeseli*), 100x**

Quelle: Eigenaufnahme mit dem Digitalmikroskop der Hochschule RheinMain



**Abbildung 29: Zuckmückenlarve, 100x (Kontrastverbessert)**

Quelle: Eigenaufnahme mit dem Digitalmikroskop der Hochschule RheinMain



Die gefundenen Mückenlarven waren unterschiedlich groß. Die dazugehörige Bildaufnahmen sind auf der CD in dem Ordner „Originalaufnahmen /Gewässer/Mückenlarven“ zu finden. Zusätzlich zum Bildmaterial wurden zwei Videoaufnahmen erstellt. Die Videoaufnahmen zeigen die Aktivitäten im inneren der Mückenlarven und deren Bewegung (beschränkt durch den Objektträger). Die Aufnahmen „Mückenlarve\_01 und Mückenlarve\_02“ sind auf der CD im Ordner „Video“ zu finden.

Es wurden im Wellritzbach Grün- und Kieselalgen gefunden. In der Abbildung 30 sind fadenförmige Grünalgen und eine Kieselalge (orangener Stab) zu sehen. Die Originalaufnahme „Grünalgen und Kieselalge 400x“ ist auf der CD in dem Ordner „Originalaufnahmen/Gewässer“ zu finden.



**Abbildung 30: Grünalgen und Kieselalge (orangener Stab), 400x (Kontrastverbessert)**

Quelle: Eigenaufnahme mit dem Digitalmikroskop der Hochschule RheinMain

In der Abbildung 31 wird eine Grünalge (*Pediastrum boryanum*) dargestellt. Die Grünalge stammt aus dem Main (bei Offenbach). Aufgrund der besonderen Form wird die Grünalge als einzige Abbildung aus dem Main aufgezeigt. Das weitere Bildmaterial, welcher nicht aus dem Wellritzbach stammt ist auf der CD in dem Ordner „Originalaufnahmen/Gewässer/Main und Hainbach“ zu finden.



**Abbildung 31: Grünalge (*Pediastrum boryanum*), 1000x (Kontrastverbessert)**

Quelle: Eigenaufnahme mit dem Digitalmikroskop der Hochschule RheinMain

Es könnte bei den Proben aus dem Main und Hainbach, welche bei der Raumtemperatur gelagert wurden eine kompaktere Flockenbildung festgestellt werden. Auch ein Zuwachs von fadenförmigen Algen, sowie Vermehrung von Wimpertierchen und Kryptomonaden konnte beobachtet werden, was an dieser Stelle erwähnt, aber nicht weiter betrachtet werden soll.

### **8.2.1 Bewertungskriterien**

Für die Bewertung wird eine einfache Zuordnung der gefundenen Mikroorganismen in die jeweilige Gewässergüte verwendet. Es wird nur das mikroskopische Bild für die Bewertung herangezogen.

Die Anwendung des Saprobienindex findet nicht statt, da sonst die zeitliche Vorgabe mehrfach überschritten wird. Dieses hängt insbesondere mit dem Untersuchungsaufwand für Zählung und Bildauswertung zusammen.

Die Allgemeine Gewässergütebewertung mit Hilfe der Gewässerstruktur, dem Gewässerumfeld sowie chemischen und physikalischen Wasserparametern wird nicht durchgeführt.

## 8.2.2 Interpretation und Bedeutung der Ergebnisse

Die bei der mikroskopischer Untersuchung gefundenen Mikroorganismen wurde wie folgt zugeordnet<sup>131</sup>:

	Gewässergüte
Steinfliegenlarven:	<b>I bis II</b>
Eintagsfliegenlarven:	<b>II</b>
Flussflohkrebs:	<b>II</b>
Zuckmückenlarven:	<b>III bis IV</b>

Anhand der vorliegenden Ergebnisse kann der Wellritzbach in die Gewässergüte II (mäßig belastet) zugeordnet werden.

Die Zuckmückenlarven wurden dabei aus dem strömungsschwachem Bereich entnommen. Aus Abbildung 10 ist deutlich zu erkennen, dass an dieser Probeentnahmestelle (rechts) eine Schlammablagerung vorhanden ist. Daraus folgend kann in diesem Bereich mit erhöhter organischer Belastung gerechnet werden. Auch die Wanderung aus dem davor liegendem Bereich des Wellritzbaches ist nicht ausgeschlossen.

Die Lebensdauer von Steinfliegenlarven liegt ca. bei einem Jahr. Dies deutet auf eine über längere Zeit anhaltende, maximal „mäßige Belastung“ des Wassers in bestimmten Teilbereichen hin. Bei stärkerer Verschmutzung hätte die Steinfliegenlarve den einjährigen Lebenszyklus nicht überlebt.

## 9. Zusammenfassende Kurzanleitung zur digitalmikroskopischen Belebtschlamm- und Gewässeruntersuchung

Es wurde eine zusammenfassende Kurzanleitung zur digitalmikroskopischen Belebtschlamm- und Gewässeruntersuchung erstellt. Diese soll dem Mikroskop-Nutzer einen schnellen und einfach Einstieg ermöglichen.

Die Anleitung besteht aus zwei Seiten und ist aus dem Anhang E zu entnehmen. Eine digitale Version für den Ausdruck ist auf der CD gespeichert. Die Anleitung wurde anhand des „KEYENCE CORPORATION (2008), Digital-Mikroskop VHX-500FD Starthandbuch“ erstellt.

---

<sup>131</sup> Vgl. Regierung von Niederbayern (o.J.), [www.regierung.niederbayern.bayern.de](http://www.regierung.niederbayern.bayern.de) (25.12.2012 – Dokument 40 der CD), S.31-33

## 10. Schlussbetrachtung

Die Zielsetzung die im ersten Kapitel beschrieben wurde, ist erreicht worden. Trotz der Winterperiode könnten viele Mikroorganismen in Gewässern festgestellt werden. Auch im Belebtschlamm wurden zahlreiche Mikroorganismen gefunden. Zusammen mit Experteninterviews und Internetrecherche konnten die aktuellsten Informationen in der vorliegenden Bachelor-Thesis verarbeitet werden.

### 10.1 Fazit

Das Digitalmikroskop der Hochschule RheinMain eignet sich auf Grund der guten Vergrößerungsbereiche und verschiedener Einstellungsmöglichkeiten besonders gut für die Untersuchung von Belebtschlamm. Anhand der gelieferten Darstellungen und dem digitalen Bildmaterial ist es möglich die Bestimmung der Mikroorganismen außerhalb der Untersuchung durchzuführen.

- ⊕ Der Wechsel zwischen den Vergrößerungen ist eindeutig einfacher als bei handelsüblichen Lichtmikroskopen.
- ⊕ Das mikroskopische Bild hat ebenfalls eine bessere Qualität.
- ⊕ Weitere Vorteile sind der Verzicht auf die Betrachtung durch das Auge und schnelles Arbeiten an dem XY-Tisch, was die mikroskopische Untersuchung angenehmer macht.

Bei der Gewässeruntersuchung lag die Größe der gefundenen Mikroorganismen, insbesondere Larven, oft außerhalb des Vergrößerungsbereiches, so dass kein volles Bild der Organismen erzeugt werden konnte.

Die digitalmikroskopische Untersuchung von Belebtschlamm ist ein wichtiger Bestandteil des Kläranlagenbetriebes, da sie einen direkten Einblick in die Lebenswelt des Belebtschlammes ermöglicht. Dadurch ist es möglich Aussagen über die Aktivitäten der Lebensgemeinschaften in einem Belebtschlamm zu machen. Die fadenförmige Mikroorganismen können rechtzeitig erkannt und deren Wachstum durch das Einleiten von bestimmten Maßnahmen verhindert werden. Das digitale Bildmaterial ergänzt die Berichte der Eigenüberwachung.

Aus der Thesis geht hervor, dass die Digitalmikroskopie ein wichtiger Bestandteil der Belebtschlammuntersuchung im Rahmen des Kläranlagenbetriebes sowie der Gewässeruntersuchung im Rahmen von Monitoringprogrammen sein kann.

Mit Hilfe der Digitalmikroskopie können die kleinsten Leitorganismen identifiziert und festgehalten werden. Da viele Leitorganismen sehr ähnlich im Aussehen sind, ist ein Bildvergleich von großem Vorteil.

## **10.2 Handlungsempfehlungen für die Erweiterung der Digitalmikroskopie**

Da bei der Gewässeruntersuchung viele Mikroorganismen aufgrund ihrer Größe nicht vollständig vom Objektiv erfasst werden konnten, empfiehlt es sich ein Objektiv mit einem Vergrößerungsbereich von 25 bis 175x oder 20 bis 200x zu nehmen. Für eine einfachere Handhabung z.B. bei der Beschriftung von Bildmaterial ist es empfehlenswert zusätzlich zum Mikroskop-Equipment eine Tastatur anzuschließen.

Für die Feststellung von fadenförmigen Mikroorganismen z.B. durch Gramfärbung braucht man bestimmte Lösungen wie z.B. Carbolgentianaviolettlösung oder Safraninlösung. Deshalb wäre die Anschaffung solcher Lösungen sinnvoll, um das breite Spektrum der Belebtschlamm-Mikroskopie abzudecken.

## **10.3 Ausblick**

Die Digitalmikroskopie wird wahrscheinlich in Zukunft an Bedeutung zunehmen und die herkömmlichen analogen Mikroskope in vielen Bereichen der Anwendung ablösen. Insbesondere Kläranlagenbetriebe werden voraussichtlich auf die Digitalmikroskopie umsteigen. Nicht nur wegen den Vorteilen bei der Anwendung, sondern auch wegen den umfangreichen Nutzungs- und Erweiterungsmöglichkeiten des Digitalmikroskops wie z.B. Softwarelösungen für die Bilddarstellung.

Mit dem vorhandenen Digitalmikroskop können Studenten der Hochschule RheinMain gute praktische Erfahrungen sammeln und den theoretischen Lernstoff auch in der Praxis erkunden. Auch das Gewässermonitoring, insbesondere die biologische Gewässergüteüberwachung des Wellritzbachs, kann mit Hilfe des Digitalmikroskops zusätzlich zur chemischen und physikalischen Analyse unterstützt werden.

## Anhang

### Anhang A: Systemkomponente und Bestandteile des Digitalmikroskops

<b>Komponentenbezeichnung</b>	<b>Komponenten-N°</b>	<b>Bestandteile</b>
<b>Präzisionsstativ</b>	VH-S5	Stativ Drehplatte Schwarz-Weiß-Platte Z-Schutzklammer Schutzklammerschrauben Objektklammern Drehhalterung Transparente Platte XY-Schutzklammer Schutzabdeckung Bedienungsanleitung
<b>Universal-Zoomobjektiv</b>	VH-Z100UR	Zoomobjektiv Kamera-Adapter Polarisations-Set Analysator Lambda-Platte Platzhalter für Lambda-Platte Bedienungsanleitung
<b>Digitale Mikroskopsteuerung</b>	VHX-500FD	Regler Kamera Konsole StabilisierungsfüÙe Kommunikationssoftware Starthandbuch Bedienungsanleitung Objektivverpackung



<b>Beleuchtungsadapter</b>	OP-51649	Polarisationsadapter
<b>Beleuchtungsadapter</b>	OP-72405	Polarisationsadapter
<b>Wechselstromkabel</b>	OP-99031	Kabel
<b>Lichtleiterkabel Z100/450/500</b>	OP-51480	Kabel (incl. Ersatzkabel)
<b>Basiseinheit für Ringbeleuchtung</b>	OP-84430	Aufsatz
<b>Adapter für Standartbeleuchtung</b>	OP-72402	Adapter
<b>Montageadapter</b>	OP-84277	Adapter

---

## **Anhang B: Experteninterviews**

Experte: Christian Kwapik

Unternehmen: Magistrat der Stadt Dreieich - Kläranlage Hengstbachtal

Datum: 14. November 2012

**Hinweis:** Das Interview fand telefonisch statt. Alle Fragen und Antworten wurden sinngemäß angepasst.

---

Herr Kwapik ist ein Mitarbeiter auf Kläranlage Hengstbachtal und ist unter anderem für die Untersuchung des Belebtschlammes zuständig. Die Kläranlage ist auf die 85000 EGW ausgebaut.

### **Welche Untersuchungsmethoden nutzen Sie zur Belebtschlamm-Untersuchung und ist die Mikroskopische Untersuchung mit dabei?**

Mikroskopische Untersuchungen führen wir für den Belebtschlamm einmal die Woche durch. Zu den täglichen Untersuchungen gehören die Messung der Temperatur, des PH-Werts, die abgesetzten Stoffe, sowie das Absetzverhalten vom Schlamm.

#### **2. Welche Art von Mikroskopie nutzen Sie dabei?**

Wir benutzen ein handelsüblicher Mikroskop. Seit kurzem haben wir das Mikroskop an den PC angeschlossen. Eine Digitalkamera wurde beige kauft.

#### **3. Nutzen Sie auch die Möglichkeit die Bilder zu speichern?**

Nein, wir speichern keine Bilder. Es ist nur reine Arbeitserleichterung.

#### **4. Auf was achten sie bei der Mikroskopischer Untersuchung?**

Wir schauen insbesondere auf die Lebewesen die in dem Belebtschlamm schwimmen, auf die Flockengröße, Flockenstruktur und Flockendichte. Vor allem sind die Lebewesen für uns wichtig. Dadurch können wir Rückschlüsse ziehen wie unsere Kläranlage funktioniert, ob die Nitrifikation vollständig gelaufen ist oder nicht. Wir legen besonderen Wert auf die Glockentierchen, Pantoffeltierchen und ähnliche. Und die Zahl der Lebewesen pro cm<sup>2</sup> ist ausschlaggebend für die Auswertung.

#### **4. Welche Probenmenge wird für die Untersuchung entnommen?**

Wir nehmen ein Tropfen, welcher eine Fläche von 1cm<sup>2</sup> füllt. Die Probe wird danach unter das Mikroskop gelegt und die vorgefundene Lebewesen werden dabei gezählt. Es findet parallel dazu die Artunterscheidung. Die Anzahl der Bakterien wird ebenfalls gezählt. Aus der Literatur können wir entnehmen, ob die Anlage gut funktioniert, insbesondere die Nitrifikation. Hauptsächlich handelt es sich um die DWA-Tabellen. In der Regel - je mehr Tierchen, desto besser.

#### **6. Wie wichtig sind mikroskopische Untersuchungen für Ihre Kläranlagenbetrieb?**

Für unseren Betrieb sind sie nicht wichtig. Sie werden von der DWA überhaupt nicht verlangt. Früher war das Gang und Gäbe. Jetzt findet die Untersuchung nur aus Eigeninteresse und zur Betriebsoptimierung statt. Die Ergebnisse tauchen auch nicht in eigenen Kontrollberichten auf.

#### **7. Also Sie nutzen die mikroskopische Untersuchung nur für die eigene Kontrolle?**

Es gibt auch noch Eigenkontrollberichte von der DWA und da steht nichts mehr drin seit letztem Jahr, das wir ein mikroskopisches Bild erstellen sollen. Die meisten Kläranlagen machen das aus Gewohnheit, um zu schauen was in der Anlage passiert. Denn es kann durchaus wichtig sein, zu wissen, was sich da drin bewegt.

#### **8. Sind die chemische und physikalische Untersuchungen für die Berichte ausreichend?**

Ja sie reichen vollkommen aus. Für die Berichte werden die Trockenmasse und die Menge der absetzbaren Stoffe gemessen. Die Untersuchung findet täglich statt.

Experte: Frau Hammel

Unternehmen: Stadtwerke Heusenstamm, Stadtentwässerung, Kläranlage Heusenstamm

Datum: 14. November 2012

**Hinweis:** Das Interview fand telefonisch statt. Alle Fragen und Antworten wurden sinngemäß angepasst.

---

Frau Hammel ist eine Mitarbeiterin auf Kläranlage Heusenstamm und ist unter anderem für die Untersuchung des Belebtschlammes zuständig. Die Kläranlage ist auf die 40000 EGW ausgebaut.

**1. Welche Verfahren zur Abwasserreinigung werden auf der Kläranlage genutzt?**

Wir haben eine dreistufige Anlage mit mechanischer, chemischer und biologischer Reinigung.

**2. Welche Untersuchungsmethoden werden auf der Kläranlage für den Belebtschlamm verwendet?**

Wir machen ein Mikroskopisches Bild und messen das Schlammvolumen.

**3. Welcher Art der Mikroskopie nutzen sie dabei?**

Die Phasenkontrastmikroskopie. Vorteil ist dabei, dass die Konturen schärfer sind und die Färbung nicht notwendig ist.

**4. Wie sieht die Bewertung der Bilder aus?**

Wir bewerten einmal die Flocke, wie die Flocke aussieht, welche Form sie hat, ob sie abgerundet oder unregelmäßig ist, dann die Struktur, ob sie fest oder locker ist, die Größe und die Fädigkeit. Durch die übliche Untersuchung ist das leider nicht möglich.

**5. Ist das eine Routineuntersuchung?**

Ja

**6. Wie oft führen Sie die Untersuchungen durch?**

Einmal die Woche.

**7. Ist der Mikroskop analog oder digital?**

Wir haben ein digitales Mikroskop.

**8. Wie nutzen sie das Bildmaterial?**

Teilweise wird es gespeichert und in die Protokolle eingeführt. Es gibt auch Bundesländer wo es Pflicht ist. Wir machen das freiwillig.

**9. Seit wann nutzen Sie die Digitalmikroskopie?**

Seit ca. 5 Jahren

**10. Wie wichtig ist die mikroskopische Untersuchung für Ihren Kläranlagenbetrieb?**

Es ist hilfreich zu wissen, wie der Belebtschlamm funktioniert, ob genügend Mikroorganismen vorhanden sind? Hauptsächlich ist es für uns wichtig in der Winterzeit, wenn es kälter wird und die Schaumbildung beginnt. Dieser wird meist durch die Fadenbakterien verursacht.

**11. Bestimmen Sie dabei den Typ der fadenförmigen Bakterien oder machen Sie nur ein allgemeines Bild?**

Wir bestimmen die Fadenbakterien, meist sind das Thiothrix.

Experte: Andreas Haufschild  
Unternehmen: Abwasserverband Langen - Egelsbach – Erzhausen  
www.abwasserlee.de  
Datum: 14. November 2012

**Hinweis:** Das Interview fand telefonisch statt. Alle Fragen und Antworten wurden sinngemäß angepasst.

---

Herr Haufschild ist eine Mitarbeiterin auf Kläranlage Langen/Egelsbach/Erzhausen und ist unter anderem für die Untersuchung des Belebtschlammes zuständig. Die Kläranlage ist auf die 75000 EGW ausgebaut.

**1. Welche Verfahren zur Abwasserreinigung werden in der Kläranlage benutzt.**

Die Anlage verfügt über drei parallel geschaltete Belebungsbecken mit vorgeschalteter Denitrifikation und zwei nachgeschalteten Nachklärbecken.

**2. Welche Untersuchungsmethoden werden für den Belebtschlamm verwendet und wie wird der Belebtschlamm dabei bewertet.**

Üblicher Absetzvolumen, ISV und die Mikroskopie.

**3. Welche Bedeutung hat Mikroskopie für den Kläranlagenbetrieb?**

Die Mikroskopie spielt in unseren Kläranlagenbetrieb nur eine untergeordnete Rolle. Die chemische und physikalische Untersuchungen reichen vollkommen aus. Nachteil der Mikroskopie ist die starke Beeinflussung des Verfahrens. Man kann dadurch natürlich die Probleme des Klärbetriebs erkennen, jedoch ist das nicht unserer Schwerpunkt. Wir beobachten den Belebungschlamm, aber leiten aus der mikroskopischer Untersuchung keine Ergebnisse.

**4. Auf was achten Sie besonders, wenn Sie den Belebtschlamm mit Hilfe der Mikroskopie untersuchen?**

Die Flocke, die vorkommende Organismen und die Fädigkeit. Hauptsächlich greifen wir erst zum Mikroskop, wenn es zu Problemen kommt und wir detaillierte Ergebnisse brauchen.

---

Die qualitative Bewertung in unserem Falle erfolgt durch das Institut für die Umweltanalytik, da unser Fachwissen über die Mikroorganismen bei spezifischen Betriebsstörungen nicht ausreichend ist. Die Ergebnisse bekommen wir sehr schnell. Insbesondere die Beschaffenheit der Probe und die damit verbundene Probleme.

**5. Welche Art der Mikroskopie nutzen Sie?**

Hellfeldmikroskopie.

**6. Nutzen Sie dabei ein analoges oder digitalerweitertes Mikroskop?**

Wir haben ein normales analoges Mikroskop. Es wurde eine Kamera dazugekauft, allerdings ist die Auflösung der Bilder schlecht, so dass wir auf die Auge zugreifen müssen.















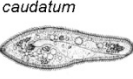


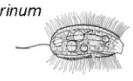










## Anhang C: Beispiele für die Dokumentation und Bewertung der mikroskopischen Belebtschlammuntersuchung

Formblatt 1: Dokumentation und Bewertung des mikroskopischen Bildes für alle Anlagen					
Festgestellte Organismen	H/F/V	Befund			Auffälligkeiten und Bemerkungen
		1	2	3	
<b>Bakterien</b>					
Typ. O2/N freie Bakterien	FV	1	0	1	nur am Rand der Flocke auch in der Flocke!
Zoogloea Spp.	FV	2	2	2	
	FV	1	1	0	
	FV				
<b>Festsitzende Einzeller</b>					
Opaeularia Spp.	H	1	1	1	große Exemplare!
Corticella campanula	H	0	1	1	
Zoothamnium Spp.	H	1	1	0	
Tetrahymena Spp.	H	1	1	0	
<b>Freischwimmende Einzeller</b>					
Aspidisca cicada	HV	1	1	1	Teilungsstadien gesehen sehr aktiv!
Aspidisca lynceus	HV	2	2	1	
Coleps Spp.	HV	2	2	0	
Cyclidium Spp.	HV	1	0	1	
Euplates Spp.	HV	1	1	0	
Trochila minuta farblose Augenflellaten	HV	2	2	1	
<b>Mehrzeller</b>					
Rotaria Spp. weisse Pädertiere	HF	1	1	0	event. Cephalodella
	HF	1	0	1	
	HF				
	HF				
<b>Algen</b>					
	HF				
	HF				
<b>Sonstige Feststellungen</b>					
<b>Geruch:</b> <input checked="" type="checkbox"/> frisch <input type="checkbox"/> muffig <input type="checkbox"/>	<b>Abwasserteiche:</b> <input type="checkbox"/> Grünfärbung (Algen) <input type="checkbox"/> Graufärbung (Schwefelbakterien) <input type="checkbox"/> Wasserlinsen (flächendeckend)	<b>Pflanzenkläranlagen:</b> <input type="checkbox"/> Pfützenbildung <input type="checkbox"/> Blattläuse o.ä. (Pflanzen) <input type="checkbox"/> Fremdkräuter <input type="checkbox"/>	<b>Belebungs-, SBR-Anlagen:</b> <input type="checkbox"/> Schwimmschlamm/Schaum <input type="checkbox"/> Schlammablagerungen im Becken <input checked="" type="checkbox"/> Schlamm setzt sich gut ab; <input type="checkbox"/>		
<b>Farbe:</b> <input checked="" type="checkbox"/> bräunlich <input type="checkbox"/> grau <input type="checkbox"/> schwarz	<b>Tropf-, Tauchkörperanlagen:</b> <input type="checkbox"/> Pfützenbildung (Tropfkörper) <input type="checkbox"/> "Tropfkörperfliegen"	<b>Biofiltrationsanlagen:</b> <input type="checkbox"/> Schaum <input type="checkbox"/> Fontänenbildung <input type="checkbox"/> Materialaustag <input type="checkbox"/>	<b>Sonstige Anlagen:</b> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
<b>Einschlüsse:</b> <input type="checkbox"/> Gasblasen <input type="checkbox"/> Partikel <input type="checkbox"/> Fasern	<input type="checkbox"/> Tauchkörper verstopft <input type="checkbox"/> Ablauf getrübt <input type="checkbox"/>				
<b>Bewertung für den Zustand an der Probenahmestelle gemäß Kapiteln 4 und 5:</b> <p style="text-align: center;">• Betrieb stabil, Tüchtigkeit unbedenklich, artenreiche Biozönose, hohes Schlammalter, gute Sauerstoffversorgung; Nitrifikation gut;</p> <p style="text-align: right;">Eintrag Betriebstagebuch: <input checked="" type="checkbox"/> stabil <input type="checkbox"/> nicht stabil <input type="checkbox"/> verbessert <input checked="" type="checkbox"/> gleichbleibend <input type="checkbox"/> verschlechtert</p>					
<b>Kläranlage:</b> MUSTERTAL		<b>Anlaß:</b> <input checked="" type="checkbox"/> Eigenüberwachung <input type="checkbox"/>			
<b>Probenahmestelle:</b> Nitrifikationsbecken <b>Probenahmedatum:</b> 04.06.98		<b>Datum/Unterschrift:</b> 4.6.98 / dt. H. H. H.			
Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft 06/98 (Wimpertiere, Amöben, Mehrzeller, Algen) (fadenförmige Bakterien, Pilzfäden) (freie Bakterien, Spinlien, Spirochäten, Zoogloen, Geißeltiere)					

Abbildung 32: Dokumentation und Bewertung des mikroskopischen Bildes für alle Anlagen

Quelle: Bayerisches Landesamt für die Wasserwirtschaft (1999), www.bestellen.bayern.de,

(19.11.2012 – Dokument 9 der CD)

Belebtschlamm – Dokumentation der mikroskopischen Untersuchung					
Kläranlage: AV Langen		Probenahmedatum: 12. Oktober 2010			
<b>Belebtschlammflocke:</b>					
1. Form:	abgerundet <input type="checkbox"/> unregelmäßig <input checked="" type="checkbox"/> Flockenzerfall <input type="checkbox"/>	2. Struktur:	kompakt <input checked="" type="checkbox"/> locker <input type="checkbox"/>	3. Größe:	
				groß (> 500 µm) <input checked="" type="checkbox"/> mittel <input type="checkbox"/> klein (< 150 µm) <input type="checkbox"/>	
4. Fädigkeit:	gering <input type="checkbox"/> mäßig <input type="checkbox"/> stark <input checked="" type="checkbox"/> sehr stark <input type="checkbox"/>				
		gering	mäßig	stark	sehr stark
<b>Besiedlung:</b>					
Häufigkeit (H): 1 = einzelne    2 = einige    3 = häufig    4 = massenhaft					
freie Bakterien H: <b>2</b>		<i>Aspidisca cicada</i> H:		<i>Litonotus lamella</i> H:	
Spirochaeten H:		<i>Aspidisca lynceus</i> H:		<i>Holophrya spec.</i> H:	
<i>Zoogloea spec.</i> H:		<i>Euplotes affinis</i> H:		<i>Paramecium caudatum</i> H:	
kleine Zooflagellaten H: <b>1</b>		<i>Chilodonella uncinata</i> H:		<i>Uronema marinum</i> H: <b>2</b>	
<i>Peranema spec.</i> H: <b>1</b>		<i>Coleps hirtus</i> H:		<i>Vorticella campanula</i> H:	
<i>Mayorella spec.</i> H:		<i>Dexiostoma campylum</i> H:		<i>Vorticella convallaria</i> H:	
<i>Euglypha spec.</i> H: <b>2-3</b>		<i>Glaucoma scintillans</i> H:		<i>Vorticella microstoma</i> H: <b>1</b>	
sonstige Taxa (Häufigkeit): Bärtierchen <b>1</b>					
<b>Beurteilung:</b> gut bis zufriedenstellend noch zufriedenstellend nicht zufriedenstellend					
[ ] [ ] [ ] [x] [ ]					
Datum / Unterschrift:		15.10.2010	/		Mayer (Diplom-Biologe)

**Abbildung 33: Dokumentation der mikroskopischen Untersuchung**

Quelle: Abwasserverband Langen - Egelsbach – Erzhausen, www.abwasserlee.de

AV Langen/Egelsbach/Erzhausen  
Prinzessin-Margaret-Allee 1  
Herr Haufschild

63225 Langen

Paderborn, 19.10.2010

**Belebtschlammanalyse AV Langen vom 12.10.2010**  
(Analysen-Nr. 292 10 10)

Sehr geehrter Herr Haufschild,

das mikroskopische Bild lässt sich mit „noch zufriedenstellend“ beurteilen.

Die Belebtschlammflocken zeigten sich noch unauffällig – ein deutlicher Flockenzerfall war nicht erkennbar. Die vorgefundenen Schalenamöben (*Euglypha spec.*), Rädertiere (Rotifera), Fadenwürmer und Bärtierchen lassen auf einen älteren Schlamm im Belebungsbecken schließen, was nicht als negativ zu werten ist. Sehr geringe Arten- und Individuenzahlen innerhalb der Wimpertiere deuten jedoch auf eine Störung im Nahrungsgefüge hin. Da die Probe (das Päckchen) jedoch erst am 15. Oktober 2010 hier an der Universität Paderborn angeliefert wurde, kann vorliegende Beurteilung nicht als abschließende Wertung angesehen werden. Die lange Transportzeit könnte zu einer Verfälschung der Ergebnisse geführt haben!

Im Auftrag










Michael Mayer  
(Diplom-Biologe)

**Abbildung 34: Belebtschlammanalyse (Bericht)**

Quelle: Abwasserverband Langen - Egelsbach – Erzhausen, [www.abwasserlee.de](http://www.abwasserlee.de)

## Anhang D: Gewässergütebewertung

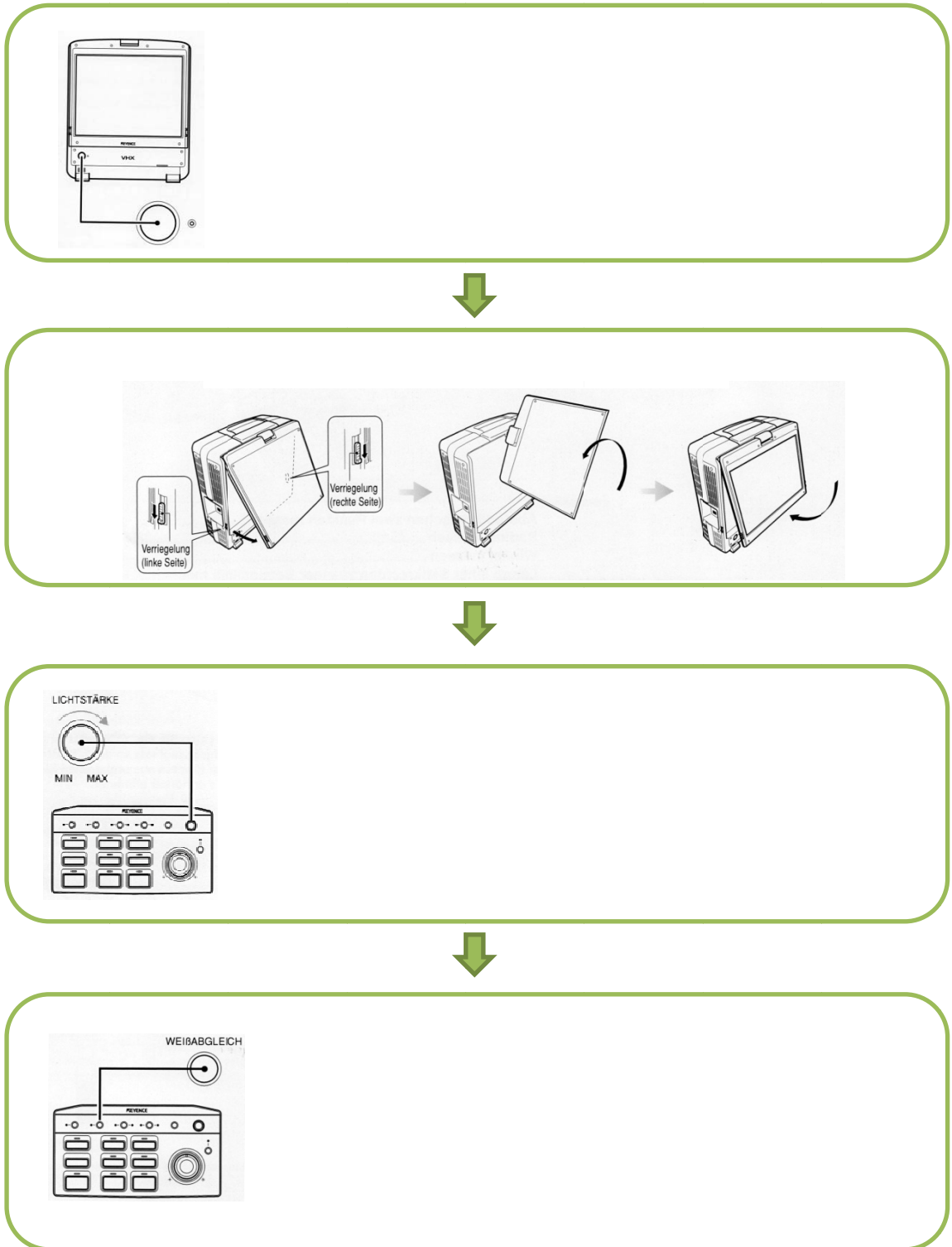
Güteklasse	Farbe	Saprobienindex	Beschreibung
I Unbelastet bis sehr gering belastet	Dunkelblau 	1,0-1,4	Reines, stets annähernd sauerstoffgesättigtes, nährstoffarmes Wasser Geringer Bakteriengehalt Mäßig dichte Besiedlung mit Algen, Moosen, Strudelwürmern, Insektenlarven Laichgewässer für Salmoniden
I-II Gering belastet	Hellblau 	1,5-1,7	Geringe anorganische Nährstoffzufuhr und organische Belastung, jedoch ohne nennenswerte Sauerstoffzehrung Dicht und meist in großer Artenvielfalt besiedelt Salmonidengewässer
II Mäßig belastet*	Dunkelgrün 	1,8-2,2	Mäßige Verunreinigung und gute Sauerstoffversorgung Sehr große Artenvielfalt und Individuendichte von Algen, Schnecken, Kleinkrebsen, Insektenlarven; Wasserpflanzenbestände können größere Flächen bedecken Artenreiche Fischgewässer
II-III Kritisch belastet	Hellgrün 	2,3-2,6	Belastung mit organischen, sauerstoffzehrenden Stoffen bewirkt einen kritischen Zustand Rückgang der Artenzahl bei Makroorganismen; einige Arten neigen zu Massenentwicklungen; fädige Algen können flächendeckende Bestände bilden Fischsterben infolge Sauerstoffmangel möglich
III Stark verschmutzt	Gelb 	2,7-3,1	Starke organische, sauerstoffzehrende Verschmutzung, meist niedriger Sauerstoffgehalt; örtlich Faulschlammablagerungen Kaum Algen und höhere Wasserpflanzen, jedoch Massenentwicklung von Schwämmen, Egel, Wasserasseln; Kolonien von Wimperntierchen und Abwasserbakterien Periodische Fischsterben sind möglich
III-IV Sehr stark verschmutzt	Orange 	3,2-3,4	Eingeschränkte Lebensbedingungen durch sehr starke Verschmutzung mit organischen, sauerstoffzehrenden Substanzen, oft durch toxische Einflüsse verstärkt; zeitweilig kein Sauerstoff, ausgedehnte Faulschlammablagerungen Besiedlung durch Mikroorganismen, Wimperntierchen, Schlammröhrenwürmer, Rote Zuckmückenlarven Fische nicht auf Dauer anzutreffen
IV Übermäßig verschmutzt	rot 	3,5-4,0	Übermäßige Verschmutzung durch organische, sauerstoffzehrende Abwässer; Sauerstoff über lange Zeit in niedrigen Konzentrationen vorhanden oder gänzlich fehlend; Fäulnisprozesse herrschen vor Besiedlung fast ausschließlich durch Mikroorganismen (Geißeltierchen, Wimperntierchen, Bakterien); bei starker toxischer Belastung biologische Verödung Fische fehlen

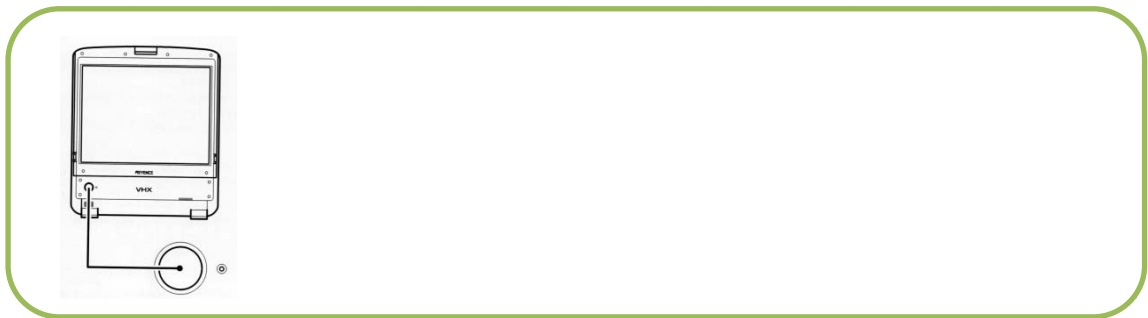
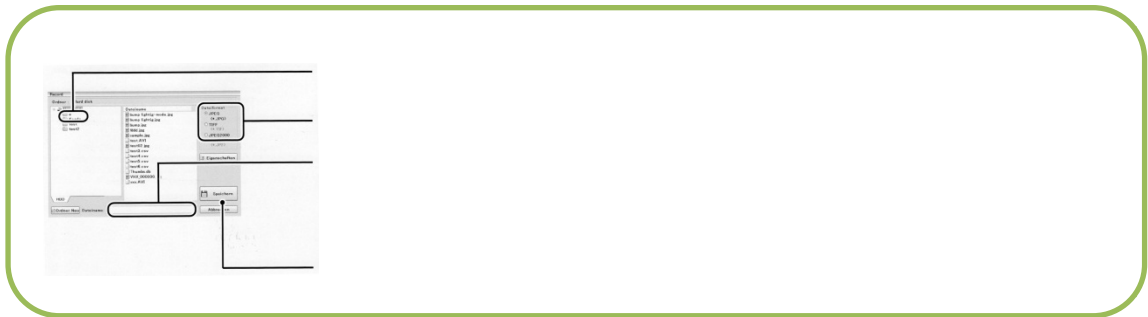
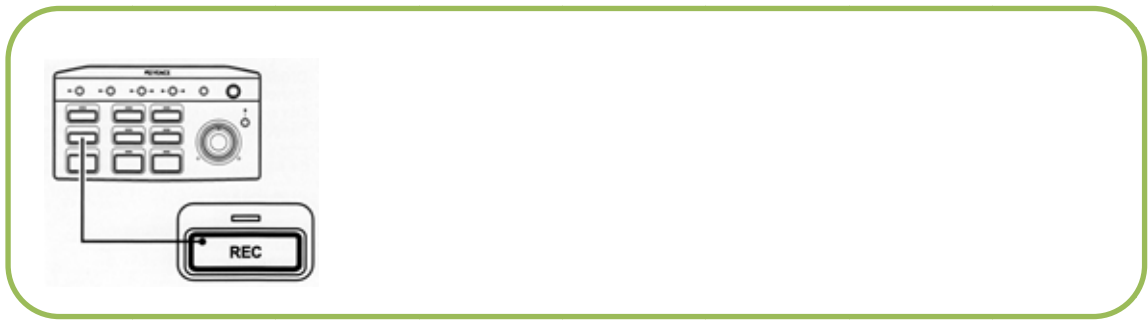
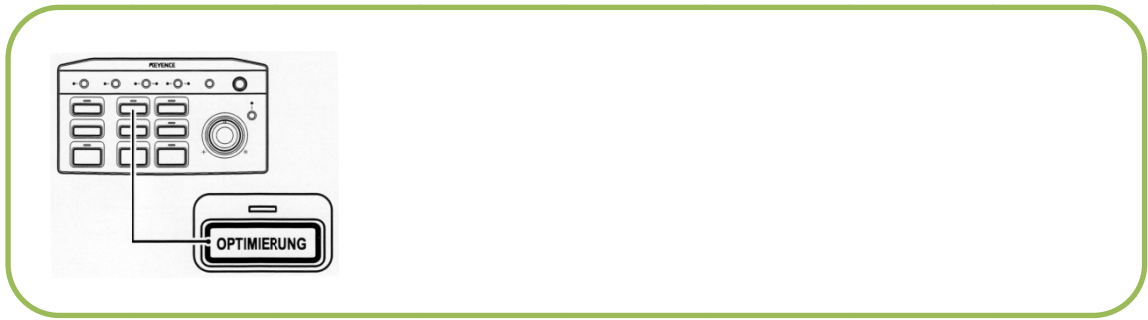
\*gesetzlich vorgeschriebenes Qualitätsziel

### Abbildung 35: Gewässergüteklassen in Abhängigkeit von Saprobienindex

Quelle: Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (o.J.), [www.hmuelv.hessen.de](http://www.hmuelv.hessen.de), (01.01.2013 Dokument 21 de CD)

## Anhang E: Kurzanleitung zur digitalmikroskopischen Belebtschlamm- und Gewässeruntersuchung





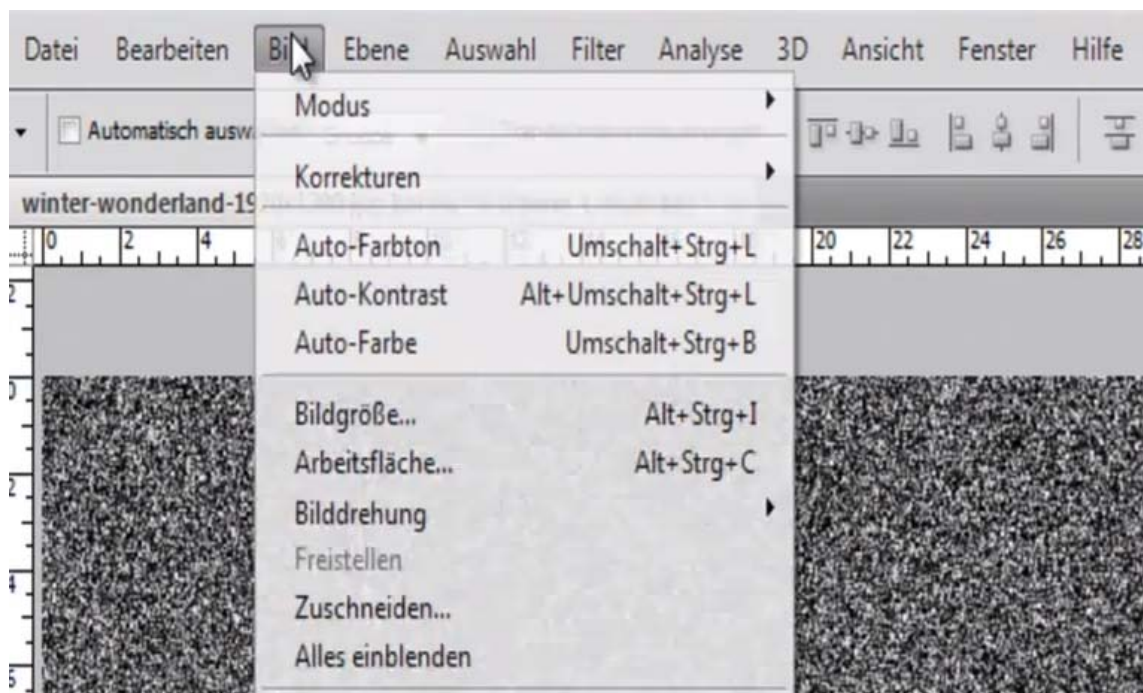


## Anhang F: Adobe Photoshop Tutorial für die digitale Bildbearbeitung

Das Digitalmikroskop der Hochschule RheinMain bietet drei verschiedene Bildformate (JPEG, JPEG 2000 und TIF) zur Speicherung an. Für die digitale Bildbearbeitung empfiehlt sich TIF-Format, da dieser in der Regel nicht Komprimiert sind. Bei der Komprimierung werden die Pixel selektiert und die Farbinformationen können dadurch verloren gehen. Je höher der Komprimierungsgrad, desto niedriger ist die Bildqualität<sup>132</sup>.

Für die Bildoptimierung (Helligkeits-, Farb- und Kontrastverbesserung) wurde in der Thesis Adobe Photoshop CS5 Extended verwendet. Um ein Bild zu verbessern, können folgende Schritte vorgenommen werden:

Klicken Sie auf [Bild] in der Menüleiste um das Pulldown-Menü (Abbildung 36) zu öffnen.



**Abbildung 36: Adobe Photoshop CS5 Extended-Bildverbesserung**

Quelle: Eigenaufnahme

Wählen sie eine der drei Auto-Funktion aus und vergleichen Sie das Ergebnis. Für eine einfache Bildoptimierung reicht die Autoverbesserung vollkommen aus. Für Manuelle Anpassung wählen Sie [Korrekturen]. Hier kann die Helligkeit, Kontrast, Tonwertkorrektur, Gradationskurven, Belichtung, Dynamik, Farbton, Sättigung, Farbbalance und viele weitere Funktionen manuell eingestellt werden.

<sup>132</sup> Vgl. Adobe Systems Incorporated, [www.help.adobe.com](http://www.help.adobe.com), (28.12.2012 – Dokument 30 der CD)

## Literaturverzeichnis

**Alberts B., Bray D., Hopkin K., u.a.** (2012), *Lehrbuch der Molekularen Zellbiologie*, 4. Auflage, WILEY-VCH Verlag

**Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft** (1992), *Das mikroskopische Bild bei der aeroben Abwasserreinigung*“, 2. Auflage, Heft 8/92, Verlag unbekannt

**Deutsches Institut für Normung e. V.** (2004), *DIN 38410-1: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Biologisch-ökologische Gewässeruntersuchung (Gruppe M) - Teil 1: Bestimmung des Saprobienindex in Fließgewässern (M 1)*, Beuth Verlag

**Eikelboom D.H., van Buijsen H.J.J.** (1992), *Handbuch für die mikroskopische Schlammuntersuchung*, 3. Auflage, F.Hirhammer Verlag

**Grombach P., Haberer K., Merkl G., Trüeb E. U.** (2000), *Handbuch der Wasserversorgungstechnik*, 3. Auflage, Oldenbourg Industrieverlag

**Groß U.** (2009), *Kurzlehrbuch – Medizinische Mikrobiologie und Infektiologie*, 2. Auflage, Georg-Thieme Verlag

**Guderian R., Gunkel G.** (2000), *Handbuch der Umweltveränderungen und Ökotoxikologie, Band 3B, Aquatische Systeme*, 1. Auflage, Springer-Verlag

**Gujer W.** (2007), *Siedlungswasserwirtschaft*, 3. bearb. Auflage, Springer-Verlag

**Jähne B.** (2005), *Digitale Bildverarbeitung*, 6. bearb. Auflage, Springer-Verlag

**Kanani N.** (2007), *Moderne Mess- und Prüfverfahren für metallische und andere anorganische Überzüge*, 1. Auflage, Expert-Verlag

**Karp G.** (2005), *Molekulare Zellbiologie*, 1. Auflage, Springer-Verlag

**KEYENCE CORPORATION** (2007), *Präzisionsstativ VH-S5 Benutzerhandbuch*

**KEYENCE CORPORATION** (2008), *Digital-Mikroskop VHX-500FD Bedienungsanleitung*

**KEYENCE CORPORATION** (2008), *Digital-Mikroskop VHX-500FD Starthandbuch*

**KEYENCE CORPORATION** (2009), *Universal-Zoomobjektiv VH-Z100UR Bedienungsanleitung*

- Klee O.** (1973), *Kleines Praktikum der Wasser- und Abwasseruntersuchung – Einfache biologische und chemische Verfahren*, 1. Auflage, Kosmos-Verlag
- Kunst S., Helmer C., Knoop S.** (2000), *Betriebsprobleme auf Kläranlagen durch Blähschlamm, Schwimmschlamm, Schaum – Handbuch zur Identifizierung und Bekämpfung fädiger Bakterien*, 1. Auflage, Springer-Verlag
- Kück U.** (2005): *Praktikum der Molekulargenetik*, 1. Auflage, Springer-Verlag
- Lemmer H., Griebe T., Flemming H.C.** (1996), *Ökologie der Abwasserorganismen*, 1. Auflage, Springer-Verlag
- Linß W., Fanghänel J.** (1998), *Histologie – Zytologie, allgemeine Histologie, mikroskopische Anatomie*, 1. Auflage, de Gruyter Verlag
- Manes-Wagner H.** (2004), *Aktuelle Unterrichtsvorbereitung für den Biologieunterricht*, 1. Auflage, Wagner Verlag
- Maniak U.** (2010): *Hydrologie und Wasserwirtschaft – Eine Einführung für Ingenieure*, 6. bearb. Auflage, Springer Verlag
- Michler G.H., Lebek W., Godehardt R., u.a.** (2004), *Ultramikrotomie in der Materialforschung*, 1. Auflage, Carl Hanser Verlag
- Nabors W.M.** (2007), *Botanik*, 1. Auflage, Pearson Studium
- Patt H., Jürging P., Kraus W.** (2010), *Naturnaher Wasserbau – Entwicklung und Gestaltung von Fließgewässern*, 4. Auflage, Springer Verlag
- Piersig W.** (2009), *Mikroskop und Mikroskopie – Ein wichtiger Helfer auf vielen Gebieten*, 1. Auflage, GRIN Verlag
- Schwartze G.C.** (2010), *Mikrobereichsanalytik an marinen Biomineralisationsprodukten*, 1. Auflage, GRIN Verlag
- Skoog A.D., Leary J.J., Brendel D., u.a.** (1996), *Instrumentelle Analytik – Grundlagen, Geräte, Anwendungen*, 1. Auflage, Springer-Verlag
- Streble H., Krauter S.** (2001), *Das Leben im Wassertropfen*, 9. Auflage, Kosmos (Franckh-Kosmos)
- Van den Berg F.** (2005), *Angewandte Physiologie 5 - Komplementäre Therapien verstehen und integrieren*, 1. Auflage, Georg-Thieme Verlag

**Wachtler F.** (2005), *Histologie – Lehrbuch der Zytologie, Histologie und mikroskopischen Anatomie des Menschen*, 7. verb. Auflage, facultas.wuv Verlag

**Wanner G.** (2004), *Mikroskopisch-botanisches Praktikum*, 1. Auflage, Georg-Thieme Verlag

**Wendel M.** (2009), *Methoden zur Gewässergütebestimmung*, 1. Auflage, GRIN Verlag

**Zabel H.** (2011), *Kurzlehrbuch Physik*, 1. Auflage, Georg-Thieme Verlag

## Internetquellen und elektronische Dokumente

**Adelmann H.** (27. Januar 2012), *Anwendungen der Fluoreszenz-Mikroskopie*,  
[www.mikroskopie-forum.de](http://www.mikroskopie-forum.de)  
(01.01.2013 – Dokument 1 der CD)

**Adobe Systems Incorporated** (o.J.), *Dateiformate*,  
[www.help.adobe.com](http://www.help.adobe.com)  
(28.12.2012 – Dokument 2 der CD)

**AquaPlus** (2008), Veröffentlichung, *Biologische Untersuchungen in Seitengewässern der Aare zwischen Thun und Bern*,  
[www.bve.be.ch](http://www.bve.be.ch)  
(24.11.2012 – Dokument 3 der CD)

**Aqua Service Schwerin** (o.J.), *mikrobi – Softwarebasiertes Analyseverfahren - Hintergrund*,  
[www.mikrobi.aqsn.de](http://www.mikrobi.aqsn.de)  
(13.11.2012 – Dokument 4 der CD)

**Aqua Service Schwerin** (o.J.), *mikrobi – Softwarebasiertes Analyseverfahren - Umsetzung*,  
[www.mikrobi.aqsn.de](http://www.mikrobi.aqsn.de)  
(18.11.2012 - Dokument 5 der CD)

**Axel Springer AG**, (15.11.2012), *EU mit Knappheit und Verseuchung von Wasser konfrontiert*,  
[www.welt.de](http://www.welt.de)  
(03.12.2012 – Dokument 6 der CD)

**Bayerisches Landesamt für Umwelt** (o.J.), *Mikroskopie-Techniken*,  
[www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de)  
(19.11.2012 – Dokument 7 der CD)

**Bayerisches Landesamt für Umwelt** (o.J.), *Untersuchungsprogramme*,  
[www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de)  
(24.11.2012 – Dokument 8 der CD)

**Bayerisches Landesamt für die Wasserwirtschaft** (1999), Veröffentlichung, *Das mikroskopische Bild bei biologischen Abwasserreinigung*, Heft 1/99, 4. Auflage,  
[www.bestellen.bayern.de](http://www.bestellen.bayern.de)  
(19.11.2012 – Dokument 9 der CD)

**BUND-Ortsverband Hockenheimer Rheinebene** (o.J.), *Biologische, chemische und physikalische Gewässeruntersuchungen*,  
[www.hockenheimer-rheinebene.bund.net](http://www.hockenheimer-rheinebene.bund.net)  
(23.11.2012 – Dokument 10 der CD)

**Bundesamt für Umwelt BAFU** (2007), Veröffentlichung, *Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer – Kieselalgen Stufe F (flächendeckend)*,  
[www.bafu.admin.ch](http://www.bafu.admin.ch)  
(25.11.2012 – Dokument 11 der CD)

**Der Ministerpräsident des Landes Schleswig-Holstein mit der Staatskanzlei** (o.J.),  
*Ländlicher Raum*,  
[www.schleswig-holstein.de](http://www.schleswig-holstein.de)  
(21.11.2012 - Dokument 12 der CD)

**Deutsche Mineralogische Gesellschaft** (2004), Veröffentlichung, *Mineralogie – Material- und Geowissenschaft*,  
[www.dmg-home.de](http://www.dmg-home.de)  
(03.12.2012 – Dokument 13 der CD)

**Fox F.** (26. Oktober 2012), *Glockentierchen*,  
[www.mikroskopie-forum.de](http://www.mikroskopie-forum.de)  
(01.01.2013 – Dokument 14 der CD)

**Gesellschaft Deutscher Chemiker e.V.** (2012), Veröffentlichung, *Umweltchemie und Ökotoxikologie*, 3. Ausgabe,  
[www.gdch.de](http://www.gdch.de)  
(03.12.2012 – Dokument 15 der CD)

**Goethe Universität Frankfurt am Main** (o.J.), *Zuckmückenlarve*,  
[www.web.uni-frankfurt.de](http://www.web.uni-frankfurt.de)  
(27.12.2012 – Dokument 16 der CD)

**Groll M.** (2011), Veröffentlichung, *Beziehungen zwischen der Gewässermorphologie und dem Makrozoobenthos an renaturierten Abschnitten der Lahn*,  
<http://archiv.ub.uni-marburg.de>  
(25.11.2012 – Dokument 17 der CD)

**Haus J.** (Oktober 2010), Veröffentlichung, *Die mikroskopische Untersuchung von Belebtschlamm in Abwasseranlagen*,  
[www.hund.de](http://www.hund.de)  
(13.11.2012 – Dokument 18 der CD)



**Heitzmann D.** (September 2009), *Wassergewinnung für die öffentliche Trinkwasserversorgung in Baden-Württemberg*,

[www.statistik.baden-wuerttemberg.de](http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de)

(03.12.2012 – Dokument 19 der CD)

**Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie** (o.J.), *Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) in Hessen*,

[www.atlas.umwelt.hessen.de](http://www.atlas.umwelt.hessen.de)

(24.11.2012 – Dokument 20 der CD)

**Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz** (o.J.), *Gewässergütebewertung*,

[www.hmuelv.hessen.de](http://www.hmuelv.hessen.de)

(01.01.2013 Dokument 21 de CD)

**Hochschule RheinMain** (o.J.), *UMSB (MASTER OF ENGINEERING)*,

[www.hs-rm.de](http://www.hs-rm.de)

(03.12.2012 – Dokument 22 der CD)

**Horn J., Hé M.** (o.J.), *Gewässergüte und Gewässerstrukturgüte*,

[www.uni-kassel.de](http://www.uni-kassel.de)

(25.11.2012 – Dokument 23 der CD)

**Institut für wissenschaftliche Fotografie** (o.J.), *Franckh-Kosmos-Verlag gestaltet Buchtitel mit KAGE*,

[www.kage-mikrofotografie.de](http://www.kage-mikrofotografie.de)

(03.12.2012 – Dokument 24 der CD)

**Jon B.** (18. Dezember 2011), *Jena Phv Phasenring Selbstbau?*,

[www.mikroskopie-forum.de](http://www.mikroskopie-forum.de)

(01.01.2013 – Dokument 25 der CD)

**KEYENCE CORPORATION** (2012), Veröffentlichung, Produktkatalog, *Digitales Mikroskop – hohe Tiefenschärfe, hohe Auflösung*,

[www.keyence.de](http://www.keyence.de)

(03.12.2012 – Dokument 26 der CD)

**Konradin Verlag R. Kohlhammer GmbH** (2010), Veröffentlichung, *QUALITY ENGINEERING*, 4. Ausgabe,

[www.qe-online.de](http://www.qe-online.de)

(03.12.2012 – Dokument 27 der CD)

**Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg** (1992), Veröffentlichung, *Biologisch-ökologische Gewässeruntersuchung*,  
[www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de)  
(24.11.2012 – Dokument 28 der CD)

**Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen** (2005), Veröffentlichung, *Gewässerüberwachung in Nordrhein-Westfalen: EU-Wasserrahmenrichtlinie fördert nachhaltige Wasserwirtschaft*,  
[www.landesumweltamt.nrw.de](http://www.landesumweltamt.nrw.de)  
(03.12.2012 – Dokument 29 der CD)

**Land Hessen** (2010), Veröffentlichung, *Gesetz- und Ordnungsblatt für das Land Hessen, Teil I, Abwassereigenkontrollverordnung (EKVO) vom 23. Juli 2010*,  
[www.rv.hessenrecht.hessen.de](http://www.rv.hessenrecht.hessen.de)  
(13.11.2012 – Dokument 30 der CD)

**Langmaack J.** (o.J.), *Wenigborster / Oligochaeta*,  
[www.tauchen24.info](http://www.tauchen24.info)  
(26.12.2012 – Dokument 31 der CD)

**Linkenheld C.** (o.J.), *Anwendungsbeispiel: Primärfluoreszenz des Chlorophylls*,  
[www.mikroskopie.de](http://www.mikroskopie.de)  
(25.11.2012 - Dokument 32 der CD)

**Linkenheld C.** (2010), Veröffentlichung, *C-Mount Kameras von The Imaging Source in der Mikroskopie*,  
[www.mikroskopie.de](http://www.mikroskopie.de)  
(19.11.2012 – Dokument 33 der CD)

**Lubini V., Vicentini H.** (2011), Veröffentlichung, *Periodische Bestandsaufnahmen an größeren Bächen 2001-2009*,  
[www.ag.ch](http://www.ag.ch)  
(24.11.2012 – Dokument 34 der CD)

**MariLim Company for Aquatic Research GmbH** (o.J.), *Gewässergütebestimmung*,  
[www.marilim.de](http://www.marilim.de)  
(24.11.2012 – Dokument 35 der CD)

**m-haditec GmbH & Co. KG** (o.J.), *Wasseranalyse*,  
[www.aquakulturtechnik.de](http://www.aquakulturtechnik.de)  
(03.12.2012 – Dokument 36 der CD)

**Miszalok V., Klingbeil U., Chudoba I.** (2001), Veröffentlichung, *Fluoreszenz In Situ Hybridisierung*,

[www.miszalok.de](http://www.miszalok.de)

(19.11.2012 – Dokument 37 der CD)

**Natur- und Umweltschutz-Akademie des Landes NRW** (o.J.), *Flohkrebse*,

[www.flussnetzwerke.nrw.de](http://www.flussnetzwerke.nrw.de)

(27.12.2012 – Dokument 38 der CD)

**Paris S.** (2004), Veröffentlichung, *Bekämpfung von Schwimmschlamm, verursacht durch Microthrix parvicella*,

<http://d-nb.info>

(19.11.2012 – Dokument 39 der CD)

**Regierung von Niederbayern** (o.J.), Veröffentlichung, *Wasserschule Niederbayern – Handreichung für das dritte und vierte Schuljahr*,

[www.regierung.niederbayern.bayern.de](http://www.regierung.niederbayern.bayern.de)

(25.12.2012 – Dokument 40 der CD)

**Rolauffs P., Hering D., Sommerhäuser M., u.a.** (2003), Veröffentlichung, *Entwicklung eines leitbildorientierten Saprobienindex für die biologische Fließgewässerentwicklung*,

[www.umweltdaten.de](http://www.umweltdaten.de)

(25.11.2012 – Dokument 41 der CD)

**Schützens T.** (2010), Veröffentlichung, *Beurteilung der Gewässergüte mit Zellkultursystemen*,

<http://d-nb.info>

(24.11.2012 – Dokument 42 der CD)

**Seilnacht T.** (o.J.), *Die Verschmutzung der Gewässer*,

[www.seilnacht.com](http://www.seilnacht.com)

(03.12.2012 – Dokument 43 der CD)

**Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz Berlin** (2007), Veröffentlichung, *Das Berliner Überwachungsprogramm für Oberflächengewässer und das Grundwasser*,

[www.stadtentwicklung.berlin.de](http://www.stadtentwicklung.berlin.de)

(24.11.2012 – Dokument 44 der CD)

**Sernetz H., Giese C., Hauptmann D., u.a.** (2000), Veröffentlichung, *Spezielle Methoden der Lichtmikroskopie*,

[www.uni-giessen.de](http://www.uni-giessen.de)

(03.12.2012 – Dokument 45 der CD)

**Simonis U.E.** (Juli 2011), *Wasser*,

[www.berlin-institut.org](http://www.berlin-institut.org)

(03.12.2012 – Dokument 46 der CD)

**Stallone S.** (2012), *Umweltingenieur: ein Beruf mit Zukunft*,

[www.nachhaltigleben.ch](http://www.nachhaltigleben.ch)

(03.12.2012 – Dokument 47 der CD)

**Stanjek G.H.** (o.J.), *Bauchhärlinge*,

[www.hydro-kosmos.de](http://www.hydro-kosmos.de)

(25.12.2012 – Dokument 48 der CD)

**Steffens S.** (2003), Veröffentlichung, *Prokaryoten und mikrobielle Eukaryoten aus marinen Schwämmen - Ökologische, mikromorphologische und molekularbiologische Untersuchungen*,

[www.hss.ulb.uni-bonn.de](http://www.hss.ulb.uni-bonn.de)

(03.12.2012 – Dokument 49 der CD)

**Sukdolak D.** (2012), Veröffentlichung, *Gewässerökologische Zielkontrolle von strukturverbessernden Renaturierungsmaßnahmen i.R.d. WRRL*,

[www.raumentwicklung.uni-oldenburg.de](http://www.raumentwicklung.uni-oldenburg.de)

(24.11.2012 – Dokument 50 der CD)

**Universität Bremen Institut für Umweltverfahrenstechnik** (o.J.), *abiotische Faktoren*,

[www.wasser-wissen.de](http://www.wasser-wissen.de)

(21.11.2012 - Dokument 51 der CD)

**Verbands-Gewässer-Gruppe Obere Eder** (o.J.), *Vergleich mit den Ergebnissen der physikalisch-chemischen Analysen*,

[www.vggoe.de](http://www.vggoe.de)

(24.11.2012 – Dokument 52 der CD)

**Vereinigung Deutscher Gewässerschutz e.V.** (o.J.), Veröffentlichung, *Anleitung zur ökologischen Gewässergütebewertung*, Kopiervorlage M4B, Band 64

[www.vdg-online.de](http://www.vdg-online.de)

(25.11.2012 – Dokument 53 der CD)

**Wiedemann B.** (o.J.), *Glockentierchen im Rasterelektronenmikroskop*,  
<http://www.bewie.de>  
(01.01.2013 – Dokument 54 der CD)

## Versicherung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Quellen entnommen sind oder auf Mitteilungen beruhen, sind als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen.

Wiesbaden, den.....

.....

Sergej Justus