wasser
in schule und bildung

Band 1 (2012)
S. 24–31

Der FWU-Film „Fließgewässer “ - ein Klassiker wieder zum Leben erweckt

Richard Müller [1]*

[1]Ökologische Station JH Sorpesee, Am Sorpesee 7, 59846 Sundern

1974 veröffentlichte das Institut für Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht einen viertelstündigen Film mit dem knappen Titel „Fließgewässer“ (FWU-Nr. 32 02843), der bald einen festen Platz im Biologieunterricht eroberte. Der Film zeigte anschaulich sowohl Anpassungen der Fließgewässerorganismen an Strömung und Sauerstoffhaushalt, als auch die Selbstreinigung eines verschmutzen Gewässers und die damit einhergehenden Veränderungen in der Zoozönose. Das Besondere an diesem Film ist auch die Mitwirkung von Prof. Dr. Jürgen Schwoerbel, der in mehreren Szenen auftritt. Jürgen Schwoerbel (1930-2002) war einer der wesentlichsten Limnologen Deutschlands. Seine Bücher gelten immer noch als Standardwerke. Er und seine Schüler waren die Urheber der im Film und in diesem Aufsatz dargestellten Erkenntnisse.

Da der Film in 16 mm gedreht wurde, verschwand er um die Jahrtausendwende aus dem Verleih der Medienzentren, da in den Schulen kaum noch die entsprechenden Projektoren benutzt wurden. Um die Verwendung des Films im Unterricht wieder zu ermöglichen, wurde 2012 durch die Ökologische Station in der JH Sorpesee eine DVD-Version hergestellt[1], die über die Adresse `http://www.phytoplankton.info/film` ausgeliehen werden kann.

DIE METTMA WAR EIN IDEALER BACH ZUM STUDIUM DER SELBSTREINIGUNG

Die Mettma ist ein etwa 19 km langer Gebirgsbach im Hochschwarzwald, der südöstlich von Freiburg bei Grafenhausen von Norden nach Süden fließt und in die Schlücht entwässert. Nach 4,8 km nimmt sie den Brünnlisbach auf. Dieser Bach ist Vorfluter der Badischen Staatsbrauerei Rothaus AG. Da bis Ende der 70er nur eine mechanische Kläranlage zur Abwasserbehandlung verwendet wurde, erreichten die stark zucker- und eiweißhaltigen Abwässer fast unverändert die Mettma. Der Zusammenfluss von der klaren Mettma und dem trüben Brünnlisbach ist in dem Film eindrucksvoll zu sehen. Da während der folgenden 8 km bis zum Mettmastausee der Bach keine weiteren Abwassereinleitungen besitzt, ließen sich die biologischen und chemischen Veränderungen gut verfolgen (Abb. 1a). Sein Verlauf führt fast nur durch bewaldetes Gelände, insofern sind auch so gut wie keine Störeinflüsse aus der Landwirtschaft vorhanden.

Dank dieser modellhaften Gegebenheiten wurden in den 70er Jahren mehrere wissenschaftliche Untersuchungen durchgeführt (Franke und Schwoerbel, 1972; Pieper, 1976; Ostendorp und Schmidt, 1977; Reichhardt und Simon, 1972; Schreiber, 1975; Heim, 1971), die verschiedene Aspekte beleuchten und teilweise dieser Arbeit zu Grunde liegen.

Ende der 70er Jahre wurde durch die Brauerei eine biologische Kompaktkläranlage errichtet, in die anfangs auch die weiterhin in einem Emscherbrunnen nur mechanisch gereinigten häuslichen Abwässer eingeleitet worden. Ab diesem Zeitpunkt waren die lehrbuchhaften Selbstreinigungsvorgänge in der Mettma nicht mehr zu beobachten. Die Auswirkungen auf die Wasserqualität machten sich schnell in den geänderten Güteeinstufungen bemerkbar (Abb. 1b). Da das häusliche Abwasser in der auf die spezifischen Bedingungen der Brauerei ausgelegten Kläranlage immer wieder zu Problemen führte, wurde dieses ab 1996 nach Grafenhausen gepumpt, dort gereinigt und in die Schlücht abgeleitet. Gleichzeitig wurde in der Brauerei eine neue Kläranlage in Betrieb genommen. Entsprechend stieg die Wasserqualität erneut an und lag im gesamten Bereich der Mettma in der Güteklasse I-II (Abb. 1c). Auch die neueste Gewässergütekarte von 2004 (Semmler-Elpers *et al.*, 2005) zeigt gute Werte an: II unterhalb des Brünnlisbachs mit einer Steigerung auf I ab Klausenmühle. 2008 nahm die Brauerei noch eine Membranfiltrationsanlage in Betrieb, die die Wasserqualität unterhalb des Brünnlisbachs noch erhöhen wird.

DIE IN FILM GEZEIGTE BIOZÖNOSE DER METTMA

Probestelle ① (-200 m)

Zu Beginn des Films sieht man, wie J. Schwoerbel etwa 200 m oberhalb der Verschmutzungsstelle Steine aus dem flachen, kiesigen Bachbett aufnimmt. In einem Kescher wird das Makrozoobenthos abgespült. In der Auswerteschale kann man neben Bachflohkrebsen eine Vielfalt von Köcher- und Eintagsfliegenlarven sehen. Alle hier gezeigten Tiere gehören der Reinwasserfauna an.

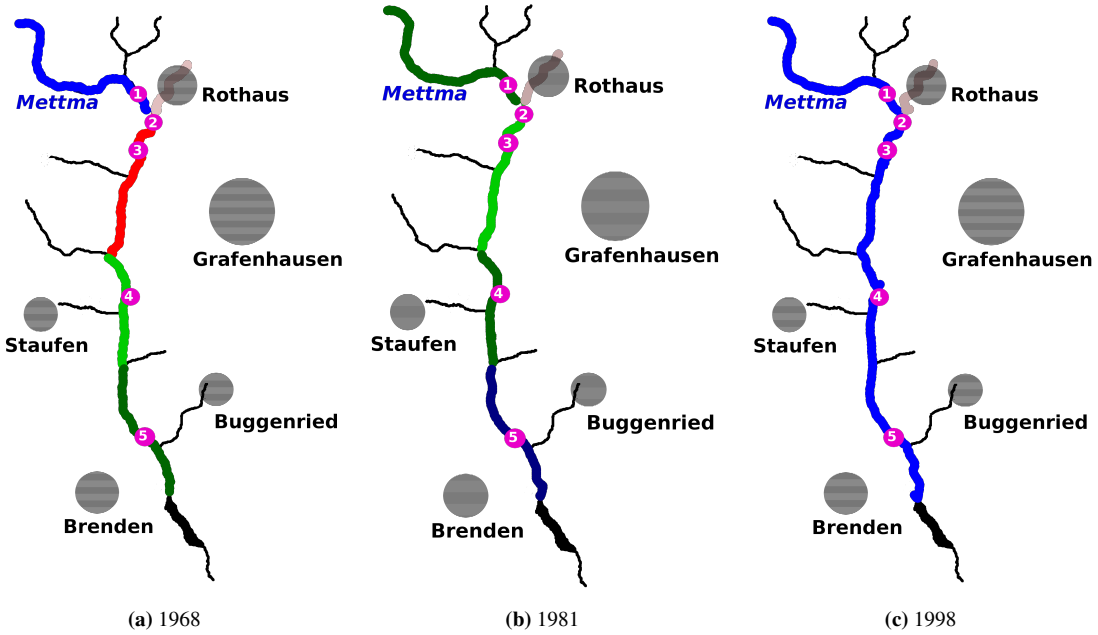
Probestelle ② (50 m)

50 m unterhalb der Einleitungsstelle der Brauereiabwässer sind sämtliche in den trüben Bach hineinhängenden Zweige von einem dicken *Sphaerotilus*-Polster überzogen. Die leicht abbaubaren Zucker und Eiweiße des Abwassers bilden eine ideale Nahrungsgrundlage für diese Bakteriengemeinschaft. An Tieren werden Rote

*r.mueller@oeko-sorpe.de

[1] Mit Dank an das Institut für Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht für die Genehmigung zur Produktion der DVD und an den Ruhrverband für die finanzielle Unterstützung zur Digitalisierung des Films

© bei den Autoren CC-BY-NC-ND 3.0 (2012)



(a) 1968 **(b)** 1981 **(c)** 1998

Abb. 1: Gewässergütekarte der Mettma im Untersuchungsgebiet (nach Daten aus SEMMLER-ELPERS *et al.* (2005))
Im Film dargestellte Untersuchungsstellen: ① Vergleichsstelle 200 m oberhalb des Brünnlisbachs, ② 50 m unterhalb, ③ 700 m unterhalb, ④ 3900 m unterhalb (Klausenmühle), ⑤ 7150 m unterhalb (Buggenrieder Mühle)
Farbenlegende: altrosa: Brünnlisbach mit Abwasser, dunkelblau: 1/I, dunkelgrün: 2/II, hellgrün: 3/II-III, rot: 5/IV (arabische Ziffern: biologische Werte des 5-stufigen BW-System (bis 1986), römisch: Güteklassen des 7-stufigen LAWA-Systems (ab 1991). Die gewässertypspezifische Bewertung nach der Wasserrahmenrichtlinie (EUROPÄISCHES PARLAMENT UND RAT, 2000) ist hier nicht berücksichtigt.

Zuckmückenlarven (*Chironumus thummi*) gezeigt, die dank des Besitzes von Hämoglobin den hier herrschenden niedrigen Sauerstoffkonzentrationen trotzen können, sowie die „Rattenschwanzlarve“ der Schwebfliege *Eristalis* (Mistbiene), die durch ihr telekopartiges Atemrohr atmosphärische Luft atmen kann und so nicht auf den im Wasser gelösten Sauerstoff angewiesen ist. Diese Art taucht nicht in den Artenlisten von SCHREIBER (1975) auf.

Probestelle ③ (700 m)

Diese Stelle wird durch das Vorkommen dichter Kolonien des Schlammröhrenwurms (*Tubifex tubifex*) charakterisiert. Auch dieses Tier besitzt Hämoglobin. Gut zu erkennen sind die Hin- und Herbewegungen des aus der Wohnröhre herausragenden Vorderkörpers. Die schlechte Sauerstoffversorgung zeigt auch die durch Eisensulfid hervorgerufene Dunkelfärbung des Substrats. Das Wasser ist immer noch stark getrübt. Abgerissene Flocken der *Sphaerotilus*-Kolonien treiben vorbei. In mikroskopischen Aufnahmen werden Protozoen gezeigt. Es sind Glockentierchen, Pantoffeltierchen und andere Ciliaten zu erkennen.

Probestelle ④ (3900 m)

Das Bachbett ist durch Fadenalgen besiedelt, die bei den beiden vorigen Probestellen fehlten. Es werden wieder Proben des Zoobenthos genommen. In der Schale sind jetzt Köcherfliegenlarven (*Rhyacophila* und *Hydropsyche*) zu sehen, außerdem Eintagsfliegenlarven (*Baetis*) und „graue“ Zuckmückenlarven. Auch eine Kriebelmückenlarve (*Eusimulium*) hat sich eingefunden.

Probestelle ⑤ (7150 m)

Von dieser Probestelle werden keine Organismen gezeigt. Es wird lediglich eine Wasserprobe entnommen und die Klarheit des Wassers demonstriert.

DIE IM FILM GEZEIGTEN CHEMISCHEN UNTERSUCHUNGEN

Parallel zur Untersuchung der Biozönose wird das Wasser im Labor untersucht. Es wird die Sauerstoffsättigung sowie der Phosphat- und Ammoniumgehalt bestimmt (Tab. 1).

DIE IM FILM DARGESTELLTEN ANPASSUNGSPHÄNOMENE

Der Anfang des Films geht auf die Anpassungen hinsichtlich des Sauerstoffgehalts und der Strömungsgeschwindigkeit ihres Lebensraums ein. Ein Stein wird dem Bach entnommen und umgedreht, und man sieht, wie die lichtscheuen Organismen geschwind die

Probestelle	Lage	Sauerstoffsättigung (%)	c(PO_4^{3-}) (µg/l)	c(NH_4^+) (µg/l)
①	- 200 m	100	40	15
②	50 m	40	650	625
③	700 m	45	430	100
④	3100 m	95	120	80
⑤	7150 m	100	90	10

Tab. 1. Im Film dargestellter Chemismus der Mettma

neue Unterseite aufsuchen. Auf der Oberseite wird die Strömung zur Gefahr für sie. Dass die Strömungsgeschwindigkeit einer der einflussreichsten abiotischen Faktoren bei Bachlebewesen ist, haben bereits AMBÜHL (1961) und PRANDTL (1904) betont. Am Beispiel von *Ecdyonurus* wird in einer schematischen Animation gezeigt, wie sich die Eintagsfliegenlarve in der strömungsarmen Grenzschicht aufhält und es so verhindert, von der Strömung mitgerissen zu werden. Diese Schicht wurde bereits 1904 von PRANDTL (1904) mathematisch beschrieben und anschaulich bei AMBÜHL (1959) dargestellt (der eben beschriebenen Animation liegt eine Abbildung aus diesem Werk zu Grunde). Es handelt sich um die dünne Wasserschicht, die direkt an der Unterlage die Geschwindigkeit 0 hat und nach wenigen Millimetern Dicke praktisch die mittlere Geschwindigkeit des gesamten Wasserkörpers erreicht. Es herrscht also nicht, wie oft angenommen, absolute Strömungsfreiheit in dieser Schicht, sondern die Geschwindigkeit ist gegenüber dem freien Wasser reduziert. Als weitere Beispiele von Formen, die die Grenzschicht nutzen, werden Bachflohkrebse und Planarien gezeigt.

Andere gezeigte Anpassungen bestehen in dem Bau eines schweren Köchers aus Steinchen (Köcherfliegenlarve *Silo*), in der strömungsgünstigen Form (Mützenschnecke *Ancylus*) oder den hakenbesetzten Haftscheiben am Hinterende von Kriebelmückenlarven (*Eusimulium*), die auch in einer mikroskopischen Aufnahme gezeigt werden. Bei einer auf einer Glasplatte haftenden Lidmückenlarve (*Liponeura*) sind die sieben Bauchsaugnäpfe zu sehen. Laut SCHREIBER (1975) wurde *Liponeura* nur an einer Probestelle gefunden, die im Film nicht auftaucht.

Im nächsten Abschnitt werden die Pflanzenpolster, in deren Inneren praktisch Totwasser-Verhältnisse herrschen, als Strömungsschutz demonstriert. Aus einem Büschel Brunnenmoos (*Fontinalis*) werden die hier verborgenen Organismen herausgespült. Der Aufenthalt im Strömungsschatten hinter Steinen u.ä., dem eigentlichen Totwasser-Bereich, wird im Film nicht dargestellt. Die Strömungsverhältnisse am Stein in einem Mittelgebirgsbach und die entsprechenden Anpassungen werden sehr schön für den Unterricht aufbereitet dargestellt bei FEY (1996, 147ff.).

Dass die Strömung des Wassers einen bedeutenden Einfluss auf den Sauerstoffhaushalt hat, hat ebenfalls bereits ebenfalls AMBÜHL (1959) betont. Das fließende Wasser transportiert Sauerstoff heran. Fehlt die Wasserbewegung, müssen die Tiere selbst für den Herantransport sorgen. Dies wird durch die Bewegung von Kiemenblättchen bei *Ecdyonurus* gezeigt.

DIE DVD-VERSION DES FILMS „FLIESSGEWÄSSER“

Da keine unbenutzte Kopie des Films mehr gefunden werden konnte, wurde mit Genehmigung des FWU ein bereits im Schulalltag verwendetes Exemplar professionell digitalisiert. Dabei wurde das Verfahren „Shake Out “ zur Bildstabilisierung eingesetzt, sodass dass die Projektion der DVD wesentlich ruhiger ist als die des Films in einem herkömmlichen Schulprojektor. Abgetastet wurde mit HD-Auflösung (Bildbreite 1920 Pixel), der DVD-Standard erlaubt jedoch nur eine Bildbreite von 720 Pixeln. Es musste also entweder auf die DVD-Auflösung zurückgerechnet werden oder eine BluRay hergestellt werden. Wegen der geringen Verbreitung von BluRay-Abspielgeräten in den Schulen wurde das DVD-Format gewählt.

Der Film wurde in Kapitel unterteilt, zwischen denen nach Wunsch hin- und hernavigiert werden kann (Abb. 2). Die Kapitel entsprechen den Szenen im Film (außer 1: Vorspann und 9: Nachspann). Die Gesamtlänge des Films beträgt 12:48.

Abb. 2: Das Kapitelmenü der DVD „Fließgewässer “

ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

Abwasser, Hydrographie und chemische Befunde

(Unter Berücksichtigung von FRANKE und SCHWOERBEL (1972) und SCHREIBER (1975)). Der Film basiert natürlich nur auf einem geringen Teil der tatsächlich an der Mettma durchgeführten Untersuchungen. Um im Rahmen der unterrichtlichen Besprechung von Gewässergüte und Selbstreinigung die Inhalte des Films als Fallbeispiel zu nutzen, wird ergänzendes Material benötigt. Wichtig ist es, zu betonen, dass das die Mettma verschmutzende Abwasser leicht abbaubar war. Es enthielt gelöste Zucker, löslich gemachte Eiweißstoffe und organische Salze aus der Brauerei und Mälzerei.

ISSN 2194-3052

Kapitel	Inhalt	Probestelle	Zeit
1	Titel	-	0:0
2	Einleitung: Probenahme, Lebensbedingungen im Bach, Anpassung an Strömung und Sauerstoffgehalt	-	0:24
3	Situation vor der Einleitung, Wasserprobe, Analyse	①	4:55
4	Zusammenfluss von Brünnlisbach und Mettma, Wassertrübung, Probennahme und Analyse nach 50 m, *Sphaerotilus*, Zuckmücken	②	5:53
5	Probenahme und Analyse nach 700 m, *Tubifex*, Ciliaten	③	8:07
6	Probenahme und Analyse nach 3900 m, anspruchsvollere Arten	④	9:33
7	Probename nach 7100 m, Analyse	⑤	10:29
8	Übersicht der Analyseergebnisse	-	10:51
9	Nachspann	-	12:13

Tab. 2. Die Kapitel des Films

Probestelle	Ammonium-N (µg/l)	Nitrat-N (µg/l)	organ. N (µg/l)
①	90	(500)	1400
②	2910	530	3300
③	2120	180	1950
④	1320	440	200
⑤	440	1230	40

Tab. 3. Stickstoff-Konzentrationen an den Probestellen des Films (11.8.1970). Die Werte wurden aus den Grafiken bei SCHREIBER (1975) zurückgerechnet. Der Nitrat-Wert bei Probestelle ①war nicht dargestellt, durch Vergleich mit anderen Messungen dürfte er aber um 500 µg/l betragen haben.

Probestelle	ortho-Phosphat-P (µg/l)
①	80
②	260
③	440
④	220
⑤	130

Tab. 4. ortho-Phosphat-Konzentrationen an den Probestellen des Films (11.8.1970). Die Werte wurden aus den Grafiken bei SCHREIBER (1975) zurückgerechnet.

Die Abwasserfracht entsprach dem Abwasser von ca. 4390 Einwohnern täglich (4390 EGW/d (Einwohnergleichwerte)). Um die Selbstreinigung detailliert zu verfolgen, lag das Probestellennetz für die biologische Untersuchung dichter als im Film dargestellt. Es wurden 12 Stellen unterhalb der Abwassereinleitung beprobt und damit 8 mehr als im Film gezeigt.

Im Film nicht angesprochen wird das Phänomen der Verdünnung, wodurch die Abwasserbelastung verringert wird. Während oberhalb der Einleitung zwischen 250 l/s (Hochwasser, Juni 1970) und 78 l/s (Niedrigwasser, Sept. 1970) durch die Mettma flossen, betrug der Wert in Höhe der letzten Probestelle zwischen 900 l/s (Hochwasser) bzw. knapp 300 l/s (Niedrigwasser). Durch die Nebenbäche sind also zwischen 650 und 220 l/s reines Wasser dazugekommen. Die Fließzeit von der Einleitung bis zur letzten Probestelle nach 7150 m und damit die für die Selbstreinigung zur Verfügung stehende Zeit beträgt 6,7 h.

In FRANKE und SCHWOERBEL (1972) werden Sauerstoffsättigungen und -konzentrationen, pH, Säurebindungsvermögen, freies und Gesamt-CO_2, Ammonium-, Nitrat- und Gesamt-Stickstoff, ortho-Phosphat und Gesamt-Phosphor dargestellt. Da in dem Film neben der Sauerstoffsättigung nur auf Phosphat und Ammonium eingegangen wird, sollen hier nur ein paar Bemerkungen zu Stickstoff und Phosphat folgen. Von den vielen Messungen sei die Stickstoffbestimmung vom 11.8.1970 exemplarisch herausgegriffen. Die Ammonium-Werte liegen, wie auch an den meisten anderen Tagen, wesentlich höher als bei der Darstellung im Film (Tab. 1).

Man erkennt gut die Oxidation des Ammoniums zu Nitrat, sobald an Probestelle ④ wieder Sauerstoff zur Verfügung steht bzw. den umgekehrten Vorgang in den schlecht mit Sauerstoff versorgten Bereichen bei ② und ③.

Durch die Abwassereinleitung wird der Mettma Phosphat zugeführt. Das Periphyton entzieht dem Wasser das ortho-Phosphat. Weiterhin flockt organisches Phosphat unlöslich aus und wird an das Sediment gebunden, wo es durch Hydrolasen teilweise abgebaut wird (REICHHARDT und SIMON, 1972). Es wurden die in Tab. 4 dargestellten Phosphatkonzentrationen gemessen.

Saprobie

SCHREIBER (1975) vergleicht in ihrer Arbeit verschiedene Methoden zur Bestimmung der Gewässergüte. Man muss bedenken, dass damals die verschiedenen Verfahren zur Bestimmung eines auf dem Saprobiensystem beruhenden Gütewertes sehr stark diskutiert wurden. Die wegweisende Arbeit von SLADEČEK (1973) ist erst zwei Jahre vorher erschienen.

Da nur 60 % der gefundenen Organismen von Sladeček ein Saprobiewert zugeordnet wurde, belegt Schreiber die übrigen „Taxa ohne Index“ mit einen Saprobiewert, den sie aus dem Vorkommen in den einzelnen Probestellen errechnet. Hierdurch verschieben sich die Saprobiegrade ein wenig. In Tab. 5 sind diese Zusammenhänge dargestellt.

Wie man im Vergleich mit Abb. 1 sieht, unterscheiden sich die Werte ein wenig von den offiziellen Werten, was sicherlich daran liegt, dass die amtlichen Untersuchungen nicht zeitgleich mit denen von I. Schreiber gemacht wurden.

Probestelle	nur nach Sladeček		incl. „Taxa ohne Index“	
①	1,1	oligosaprob	1,2	oligosaprob - β-mesosaprob
②	3,7	α-mesosaprob - polysaprob	3,55	α-mesosaprob - polysaprob
③	3,8	polysaprob	3,55	α-mesosaprob - polysaprob
④	1,45	oligosaprob - β-mesosaprob	1,6	oligosaprob - β-mesosaprob
⑤	1,14	oligosaprob	1,3	oligosaprob - β-mesosaprob

Tab. 5. Vergleich der nach Sladeček errechneten Saprobiewerte mit denen, bei denen noch weitere Arten berücksichtigt wurden

Probestelle	S	biol. Güteklasse	Farbdarstellung
①	1,77	gut	grün
②	3,09	unbefriedigend	orange
③	3,37	unbefriedigend	orange
④	2,15	mäßig	gelb
⑤	1,69	gut	grün

Tab. 6. Saprobiewerte gemäß dem Material von Arbeitsblatt 2

HINWEISE ZU DEN ARBEITSBLÄTTERN

Zu dem Film sind Arbeitsblätter entwickelt worden, die die Selbstreinigung am Beispiel dieses Gewässers zum Thema haben. Der Übersichtlichkeit wegen sind die Inhalte auf zwei Blätter verteilt worden.

Arbeitsblatt 1: Die Selbstreinigung der Mettma

In eine schematische Darstellung der Mettma sind die Abwassereinleitung, die aus dem Film bekannten Probestellen ① bis ⑤, die ermittelten Bakterientiter, ausgewählte Sauerstoff-Tagesgänge und die Fließzeit eingetragen. Die Abwasser-Konzentration wird in Einwohnergleichwerten (5650 EGW/d) dargestellt. Ebenfalls eingezeichnet ist der Emscherbrunnen. Aus dessen mit 25 % angegebenen Reinigungsleistung resultiert eine in den Bach eingeleitete Abwasserkonzentration von 4387 EGW/d (Aufgabe 1).

Da zu Probestelle ③ keine Sauerstoffdaten gegeben waren, werden statt dessen die Daten einer Probestelle angegeben, die etwa 300 m oberhalb der Probestelle ③ lag.

In Aufgabe 2 soll der Tagesgang der Sauerstoffsättigung erklärt werden. Tags ist eine leichte Übersättigung zu erkennen, während nachts ein geringes Sauerstoffdefizit auszumachen ist. Der Bach muss also eine gewisse pflanzliche Besiedlung aufweisen, die für die Übersättigung durch Fotosynthese verantwortlich ist, wohingegen der respirative Abbau einer geringen organischen Belastung den leichten nächtlichen Rückgang verursacht.

Die 3. Aufgabe hat die durch den bakteriellen Abbau und den atmosphärischen Wiedereintrag verursachten Sauerstoffsättigungen in der Fließstrecke zum Thema. Die Sauerstoff-Tagesdurchschnitte entsprechen nicht den im Film (Abb. 2) gezeigten Werten. Auch wurde der Bakterientiter nicht an Stelle ③ bestimmt, jedoch an zusätzlichen Stellen 3 km und 3,9 km unterhalb der Einmündung des Brünnlisbaches. Durch die Einleitung von 4387,5 EGW/d, bestehend aus Zuckern und anderen leicht abbaubaren organischen Verbindungen, herrschen für Bakterien positive Bedingungen. Sie vermehren sich also intensiv (was im Film auch gut zu sehen ist)[2]. Sie bauen dabei die organischen Stoffe ab, wobei viel Sauerstoff verbraucht wird. So sinkt die Sauerstoffsättigung schnell (nach etwa 500 m) auf etwa nur noch 50 %. Im weiteren Verlauf sind die organischen Bestandteile bald aufgebraucht, so dass kein Bakterienwachstum mehr stattfinden kann. Ab km 3 ist der Bakteriengehalt wieder auf die Werte vor der Einleitung gesunken. Da nun kein Bakterienwachstum mehr stattfindet, entfällt diese bedeutsame Sauerstoff-Senke. So kann die Sauerstoffsättigung wieder ursprüngliche Werte annehmen. In geringen Maße wird dabei die Fotosynthese, im Wesentlichen wird aber der atmosphärische Austausch eine Rolle spielen. Nach 4 km kann sich so bereits eine Sättigung von 70 % einstellen. Am letzten Messpunkt herrschen wieder Verhältnisse wie vor der Abwassereinleitung.

Arbeitsblatt 2: Die Gewässergüte der Mettma

In diesem Arbeitsblatt beschränken sich die angegebenen Arten auf Indikatorarten, die in den gängigen in der Schule verwendeten Tabellen zu finden und möglicherweise auch durch Schüler zu bestimmen sind (GAUL, 2006). Weggelassen wurden Arten ohne Indikatorwert. Hierdurch kommt man zu leicht anderen Werten, als wenn man die Tabellen aus SCHREIBER (1975) auswerten würde. Weiterhin wurden die dort nach Substrat getrennten Häufigkeiten gepoolt und ungefähre ganzzahlige Durchschnittshäufigkeiten ermittelt. Berechnet werden die Saprobiewerte nach der bekannten Formel (GAUL, 2006)

$$S = \frac{\sum_{i=1}^{n} s_i \cdot h_i \cdot G_i}{\sum_{i=1}^{n} h_i \cdot G_i}.$$

Zu berücksichtigen ist, dass mit der 2000 erfolgten Einführung der Wasserrahmenrichtlinie (EUROPÄISCHES PARLAMENT UND

[2] REICHHARDT und SIMON (1972) beschreiben variierende Ergebnisse. Die in Arbeitsblatt 1 verwendeten Werte beruhen auf direkten mikroskopischen Auszählungen am 24.7.1970. Durch Bestimmung der Koloniedichte auf Agar wurden abweichende Werte erhalten, so stieg demnach der Titer von $4{,}4 \times 10^3$ an Stelle ① auf durchschnittlich 377×10^3 an Stelle ②, also um den Faktor 84, allerdings bei einer kleineren absoluten Zahl, um schließlich wieder bei Probestelle ⑤ mit 9×10^3 fast wieder den ursprünglichen Wert zu erreichen.

ISSN 2194-3052

RAT, 2000) die Bewertung typspezifisch erfolgt. Es ist sinnvoll, diese zur Zeit gültigen Methoden auch hier anzuwenden. Bei der Mettma handelt es sich um ein Gewässer vom Typ 9 (silikatischer fein- bis grobmaterialreicher Mittelgebirgszufluss), dessen Grundzustand mit S = 1,45 angesetzt wird. Demzufolge ergeben sich die in Tab. 6 dargestellten Ergebnisse.

Das Vorkommen der als Indikatoren genutzten Tierarten wird neben der Strömungsgeschwindigkeit vor allem vom Sauerstoffgehalt bestimmt. Da der Sauerstoffgehalt, wie auf Arbeitsblatt 1/Aufgabe 3 dargestellt, von der Abbautätigkeit der Bakterien und damit von der Konzentration organischer Materie abhängt, hängt das Vorhandensein der Indikatororganismen indirekt von der organischen Belastung ab. Kann der Sauerstoffgehalt bei geringerem Abbau wieder steigen, können auch die anspruchsvolleren Arten, also die mit einem niedrigeren Saprobienindex, wieder vorkommen (Aufgabe 1).

Die Sauerstoffversorgung ist in einem Fließgewässer im Wesentlichen vom atmosphärischen Eintrag abhängig. In einem Mittelgebirgsfluss mit größerem Gefälle, mehr Störstellen und einer in Bezug auf die Wasserführung größeren Austauschfläche mit der Luft erfolgt der Sauerstoffeintrag schneller als bei einem Strom. Der Mittelgebirgsbach wird also, auf die Wasserführung bezogen, bei gleicher natürlicher Grundbelastung eine bessere Sauerstoffversorgung besitzen. Aus diesem Grund finden sich in diesem Bach anspruchsvollere Arten als in einem Strom. Auch bei Fehlen anthropogener Belastung kann aus diesem Grund der Strom nicht die gleichen niedrigen Saprobiewerte erreichen wie der Mittelgebirgsbach (Aufgabe 3).

LITERATUR

AMBÜHL, H. Die Bedeutung der Strömung als ökologischer Faktor. *Schweiz. Z. Hydrol.* (1959): **21**: 133–264

AMBÜHL, H. Die Strömung als physiologischer und ökologischer Faktor. Experimentelle Untersuchungen an Bachtieren. *Verh. Int. Ver. Limnol.* (1961): **14**: 390–395

EUROPÄISCHES PARLAMENT UND RAT. Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (Wasserrahmenrichtlinie). Bericht L 327/1 (2000)

FEY, J. *Biologie am Bach. Praktische Limnologie für Schule und Naturschutz.* Nummer 48 in Biologische Arbeitsbücher. Wiesbaden: Quelle und Meyer, 1996

FRANKE, U.; SCHWOERBEL, J. Hydrographie, Chemie und Nährstofffracht eines mit organischen Abwässern verunreinigten Gebirgsbaches. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* (1972): **42**(1): 95–124

GAUL, J. Saprobienindex - Indikatororganismen (2006) `http://www.jgaul.de/indikatororganismen.htm`

HEIM, B. *Beobachtungen zur freilebenden Trichopterengattung Rhyacophila an einem verunreinigten Fließgewässer (Mettma).* Staatsexamensarbeit, Freiburg, Freiburg (1971)

OSTENDORP, W.; SCHMIDT, E. Untersuchungen zur Biomassenverteilung submerser Bryophyten in der Selbstreinigungsstrecke eines Brauereiabwasservorfluters (Mettma, Hochschwarzwald). *Gewässer und Abwässer* (1977): **62/63**: 85–96

PIEPER, H. Die tierische Besiedlung des hyporheischen Interstitials eines Urgebirgsbachs unter dem Einfluß von allochthoner Nährstoffzufuhr. *Int. J. Speleol.* (1976): **8**: 53–68

PRANDTL, L. Über Flüssigkeitsbewegung bei sehr kleiner Reibung. In *Verhandlungen des III. Internationaler Mathematiker-Kongresses*. Heidelberg, 1904 484–494

REICHHARDT, W.; SIMON, M. Die Mettma - ein Gebirgsbach als Brauereivorfluter. Mikrobiologische Untersuchungen entlang eines Abwasser-Substratgradienten. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* (1972): **42**: 125–138

SCHREIBER, I. Biologische Gewässergütebeurteilung der Mettma anhand des Makrobenthos: Methodenvergleich. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* (1975): **47**: 432–457

SEMMLER-ELPERS, R.; VOBIS, H.; HERTEL, R. Gewässergütekarte Baden-Württemberg 2004 (Erläuterungen). Bericht, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe (2005)

SLADEČEK, V. System of water quality from the biological point of view. *Arch. Hydrobiol. Beih.* (1973): **7**: 1–218

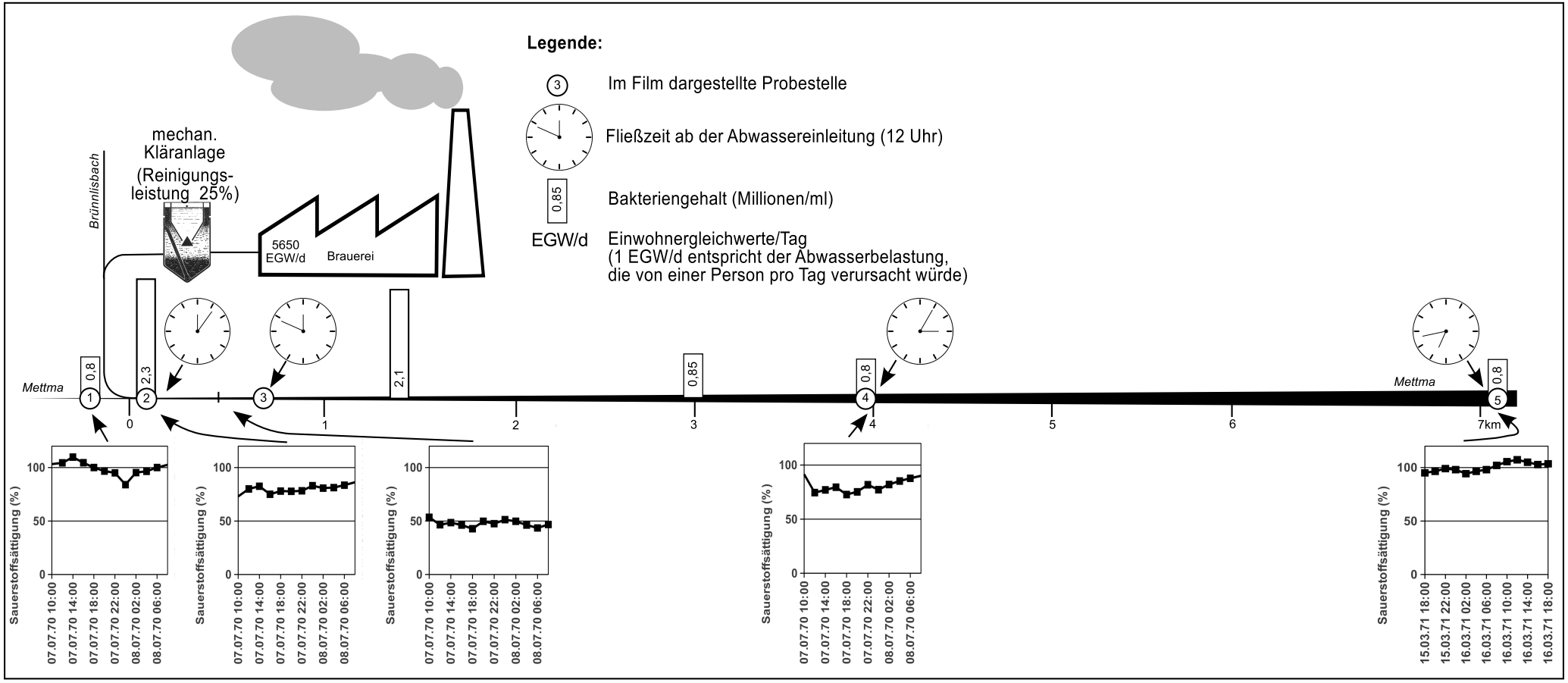


Abb. 1: Übersicht über die Untersuchungsstrecke mit einigen Messergebnissen

Abb. 1 gibt den Einfluss von Brauereiabwässern auf den Fluss "Mettma" in den 70er Jahren wieder. Damals wurde das Abwasser der Brauerei nur durch eine mechanische Kläranlage gereinigt, die im Wesentlichen ungelöste Stoffe zurückhielt. Das Abwasser bestand jedoch zum größten Teil aus gelösten Stoffen wie z.B. Zuckern, Eiweißen und organischen Salzen.

Aufgaben:

1. Berechne die Abwasserbelastung, die in die Mettma eingeleitet wird, in EGW/d!
2. Erkläre den Verlauf der Sauerstoffsättigung im Tagesgang an der Probestelle 1!
3. Erkläre die verschiedenen Sauerstoffsättigungen an den unterschiedlichen Probestellen und berücksichtige dabei den Einfluss der Bakterien (beachte, dass die verschiedenen Untersuchungspunkte und die Probestellen im Film nicht alle identisch sind)!

Quellen:

U. Franke/J. Schwoerbel: Hydrographie, Chemie und Nährstofffracht eines mit organischen Abwässern verunreinigten Gebirgsbaches. Arch. Hydrobiol. Suppl. **42**, 95-124 (1972)
W. Reichhardt/M. Simon: Die Mettma - ein Gebirgsbach als Brauereivorfluter. Mikrobiologische Untersuchungen. Arch. Hydrobiol. Suppl. **42**, 125-138 (1972)

Arbeitsblatt 2 zum Film "Fließgewässer": Die Gewässergüte der Mettma

In der Mettma wurde 1972 an den im Film gezeigten Probestellen die tierische Besiedlung untersucht. Dabei wurden u.a. die folgenden Tiere gefunden:

Organismus	**s**	**G**	1	2	3	4	5
Ancylus fluviatilis (Mützenschnecke)	2	4	1			1	1
Chironomus thummi (Rote Zuckmückenlarve)	3,3	4	1	2	3		
Ch. plumosus (Rote Zuckmückenlarve)	3,4	4		3	2		
Tubifex tubifex (Schlammröhrenwurm)	3,5	4	2	4	4	4	3
Lumbriculus variegatus (Glanzwurm)	3	4			1	2	
Gammarus fossarum (Flohkrebs)	1,6	8	5	1			1
Baetis rhodani (Eintagsfliegenlarve)	2,3	8	5			3	3
Epeorus sylvicola (Eintagsfliegenlarve)	1,4	8	1				
Ephemerella ignita (Eintagsfliegenlarve)	1,9	4	3			1	1
Chloroperla sp. (Steinfliegenlarve)	1,3	8	1			2	2
Isoperla grammatica (Steinfliegenlarve)	1,7	4	1				
Leuctra sp. (Steinfliegenlarve)	1,4	4	3			2	4
Perlodes microcephala (Steinfliegenlarve)	1,3	8					2
Hydropsyche sp. (Köcherfliegenlarve)	1,8	8				1	4
Philopotamus sp. (Köcherfliegenlarve)	1,3	8					1
Plectrocnemia sp.(Köcherfliegenlarve)	1,5	4	1				
Rhyacophila sp. (Köcherfliegenlarve)	2	8	1			2	1
Sericostomatinae (Köcherfliegenlarve)	1,5	8	2				1
Silo piceus (Köcherfliegenlarve)	1,1	16	2				2
Elmis sp. (Hakenkäfer)	1,5	8				1	2

s: Saprobienindex, **G**: Indikationsgewicht auf einer 16-teiligen Skala,
Zahlen unter den Nummern der Probestellen: Häufigkeiten auf einer 5-teiligen Skala

Seit Einführung der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) im Jahr 2000 findet die Bewertung der Gewässer nicht mehr nach einem für alle Fließgewässer einheitlichen System statt, sondern es werden mehrere Gewässertypen unterschieden.
Man geht davon aus, dass ein Fluss wie die Mettma bei völligem Fehler von Verunreinigungen einen Saprobiewert von 1,45 ("Grundzustand") haben müsste, während dieser Wert bei einem großen Strom 1,8 betragen würde.

Die Grenzen für die Güteklassen bei der Mettma sind wie folgt definiert:
sehr gut (1, blau): ≤ 1,6; gut (2, grün): > 1,6 - 2,1; mäßig (3, gelb): >2,1 - 2,75; unbefriedigend (4, orange): >2,75 - 3,35; schlecht (5, rot): >3,35)

Aufgaben:

1. Berechne die Gewässergütewerte und begründe sie an Hand der im Wasser ablaufenden Vorgänge!
2. Zeichne die Gewässergütekarte der Mettma!
3. Erkläre, warum für die Mettma und einen großen Strom unterschiedliche Grundzustände angenommen werden!

Quelle:
I. Schreiber: Biologische Gewässergütebeurteilung der Mettma anhand des Makrobenthos
Arch. Hydrobiol. Suppl. **47**, 432-457 (1975)