

JAHRESBERICHT

der Limnologischen Flußstation Freudenthal

Außenstelle der Hydrobiologischen Anstalt

der Max-Planck-Gesellschaft

1949

7-14

V o r w o r t.

=====

Mit dem vorliegenden Jahresbericht gibt die Limnologische Flussstation Freudenthal die erste Übersicht über ihre bisher geleistete wissenschaftliche Arbeit und sonstige Tätigkeit heraus.

Diese Veröffentlichung soll der Beginn einer Folge von jährlich erscheinenden Berichten sein, die wir allen an unserer Arbeit interessierten Stellen zusenden wollen. Sie trägt die Bezeichnung "Jahresbericht" nicht ganz zu Recht, da hier die Arbeit dargestellt wird, die seit Gründung unserer Station, also während mehrerer Jahre (1947-49) geleistet worden ist.

Wir wollen diesem Vorhaben keine grossen Worte voransetzen, sondern die Darstellungen selbst sprechen lassen.

Hingegen möchten wir an dieser Stelle allen denen, die uns diese Arbeit ermöglicht haben, ganz besonders Seiner Erlaucht, dem Grafen von Schlitz gen.von Görtz und dem Grafen Hubertus von Berlepsch, unseren grosszügigen Gönnern bei der Gründung der Station, den allerherzlichsten Dank sagen.

Wir werden uns stets bemühen, dass in uns gesetzte Vertrauen nicht zu enttäuschen und den an uns gestellten Anforderungen gerecht zu werden.

Plön, den 15.1.1950
Hydrobiologische Anstalt
der Max-Planck-Gesellschaft

Martin Scheele
Organisatorischer Leiter
der Flußstation.

Der Wasserchemismus der Fulda

unter besonderer Berücksichtigung des biologischen Einflusses.

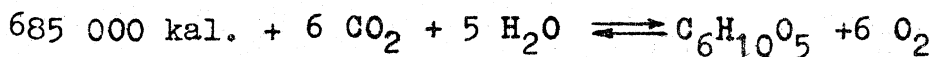
von Wolfgang Schmitz.

A. Allgemeines.

Die vorliegenden beiden Arbeiten über den Chemismus des Fuldawassers fassen die Ergebnisse von über 1 100 analytischen Bestimmungen zusammen. Die Entnahme der Wasserproben erfolgte auf insgesamt 6 Untersuchungsfahrten an 44 Stellen entlang des ganzen Fuldalaufes. Zeitpunkt und Methode der Analysen sind bei den jeweiligen Kurven mit angegeben. Die ortsbedingten Unterschiede im Chemismus treten besonders deutlich bei den Herbstuntersuchungen hervor (längere Schönwetterperiode, Niedrigwasser, im Oktober 1949 extrem niedriger Wasserstand). Aus den in Kurvenform dargestellten Analysen-Ergebnissen (S. 33-35) lassen sich eine ganz Reihe allgemeiner Gesetzmässigkeiten herauslesen. Diese stehen teils in besonders enger Beziehung zu biologischen, teils vornehmlich zu geologisch-hydrologischen Verhältnissen, so dass es nützlich erscheint, die Diskussion der Kurven getrennt nach diesen Gesichtspunkten vorzunehmen. Zum annähernd vollständigen Verständnis des Chemismus des Fuldawassers und seiner Ursachen, sind ständige weitere Analysen notwendig, was jedoch in Zukunft durch den Ausbau der festen Institute Freudenthal und Schlitz wesentlich erleichtert werden wird.

B. Der Sauerstoff-und Kohlensäurehaushalt.

Die Bilanz des Sauerstoff- Kohlensäurehaushalts im Wasser wird weitgehend durch die biologischen Prozesse bedingt, die man durch die biochemische Grundgleichung:



charakterisieren kann. Danach ergibt sich schon, dass O_2 und CO_2 sich antagonistisch verhalten müssen. Produktion und Abbau müssen sich erwartungsgemäss im CO_2 -Gehalt des Wasser widerspiegeln, desgleichen auch im O_2 -Gehalt, wobei allerdings der Gasaustausch mit der Luft im turbulent strömenden Flusswasser ausgleichend wirken kann. Die Längstprofilkurven der Fulda zeigen nun im einzelnen folgendes Verhalten:

1. Sauerstoff: Man erkennt deutlich mehrere Minima der O_2 -Kurve: im Abwassergebiet von Fulda, Hersfeld, Melsungen, Kassel und im Stau von Rotenburg, offenbar alles Zonen vermehrter bakterieller

Tätigkeit. Andererseits wird der Sättigungswert für O_2 bei Baumbach, Niederellenbach, Guxhagen und Gunterhausen erreicht, wo die Trümmer gesprengter Brücken im Wasser liegen und, ähnliche Verhältnisse wie im Bergbach schaffend, für einen regen Gasaustausch sorgen. Auch in der Bergbachzone wird, wie zahlreiche Untersuchungen zeigten, stets genau der Sättigungswert (unter Berücksichtigung des verminderten Luftdruckes) erreicht. Eine Ausnahme macht lediglich die junge Fulda nach ihrem Wiederaustreten aus einer Versickerung im Muschelkalk bei Obernhausen. Hier fand sich das Wasser stets untersättigt an O_2 .

2. Die Sauerstoffzehrung darf als Maßstab für die im freien Wasser vor sich gehenden O_2 verbrauchenden Prozesse, im wesentlichen bakterielle Abbauvorgänge angesehen werden. Neben minimaler O_2 -Zehrung im Quellgebiet und zwei Gebieten starker O_2 -Zehrung unterhalb Fulda und Hersfeld ergibt sich an den übrigen Strecken ein ziemlich gleichmässiges Zehrungsband. Das Ausmass der Zehrung im Fuldaer und Hersfelder Abwassergebiet ist etwa gleich. Der absolute O_2 -Gehalt ist bei Fulda wesentlich niedriger, so dass hier zeitweise die Besiedlung durch Fische bis 15 km unterhalb der Stadt unmöglich sein dürfte. Geht man von der Annahme aus, dass die bakterielle Tätigkeit in der Bodenschlammschicht des Flusses sowie im Aufwuchs stärker ist als im freien Wasser - hierfür sprechen die schwarze Färbung des schlammigen Flussbodens bei Gläserzell sowie die alles überziehenden Massen von *Sphaerotilus natans* (Abwasserbakterien), - so würde das O_2 -Defizit umso grösser werden, je geringer die Wasserführung ist. Auch ohne daß Unterschiede in den Konzentrationen der im Wasser vorhandenen organischen Stoffe, die abgebaut werden, bestehen, könnte so eine ganz verschiedene Herabsetzung des O_2 -Gehaltes des Wassers resultieren. Da das Ausmass der O_2 -Zehrung andererseits aber auch durch die Konzentration der fäulnisfähigen Stoffe im Wasser bedingt sein kann, wäre es wünschenswert, Kenntnisse über diese Verhältnisse zu erlangen. Aus technischen Gründen war die Bestimmung des biochemischen Sauerstoffbedarfes, der hier weitgehend Aufschluss gibt, nicht möglich. Eine Schätzung der im Wasser gelösten organischen Stoffe erfolgte in unserem Fall durch Kaliumpermanganat-Verbrauch.

3. Kaliumpermanganat-Verbrauch. Die Kurve zeigt auch bei Fulda ein ausgesprochenes Maximum, ist in ihrem weiteren Verlauf aber durchaus uncharakteristisch. Das dürfte weitgehend dem grundsätzlichen Mangel der Methode zuzuschreiben sein, der darin liegt, dass $KMnO_4$ auf verschiedene organische Stoffe im unterschiedlichen

Masse oxydierend wirkt.

4. Die freie Kohlensäure (H_2CO_3 und CO_2 , im Folgenden als H_2CO_3 bezeichnet). Die Kurve verhält sich, wie nach der biochemischen Grundgleichung zu erwarten war, umgekehrt wie die Sauerstoffkurve. Auch in diesem Fall ist der Extremwert bei Fulda wiederum ausgeprägter als bei Hersfeld. Zu dem ist u.U. die Erhöhung des HCO_3^- -Gehaltes bei Fulda noch additiv in Rechnung zu setzen. (Vgl. Abschnitt D) Die H_2CO_3 -Kurve vom September 1948 liegt erheblich unter der Oktoberkurve 1949. Es ist naheliegend, diese Abweichungen auf Unterschiede in der $CO_2: O_2$ -Bilanz zurückzuführen. (Temperatur während beider Untersuchungsfahrten annähernd gleich.) Das Verhältnis würde nach dieser Hypothese in der schon weiter fortgeschrittenen Jahreszeit zu Ungunsten der Assimilation verschoben worden sein. Dem geringen CO_2 -Verbrauch stünde andererseits eine vermehrte CO_2 -Produktion durch die absterbende makrophytische Wasservegetation gegenüber. Daß derartige Vorgänge von Bedeutung sein können, geht aus folgenden mehrfach gewonnenen Befunden hervor: U.a. wurde am 22.9.48 spät nachmittags bei Blankenheim auf einer Strecke, die bei einer durchschnittlichen Tiefe von 1m mehrere hundertmeter weit bis zu 60 cm über dem Boden mit einer dichten Ranunculus-fluitans-Vegetation verkrautet war, festgestellt, dass der CO_2 -Gehalt in der verkrauteten Schicht ein mehrfaches von dem des darüber fließenden freien Wassers betrug. Die Wasserproben wurden mit einem 10 cm hohen Horizontal-Wasserschöpfer entnommen. Zunächst nicht erklärbar ist der nur geringfügige Unterschied im O_2 -Gehalt.

22.9.48 Blankenheim	Station (Im Abstand von ca. 100 m flussabwärts)		
	1	2	3
Oberflächenwasser			
CO_2 mg/l	11,0	17,6	13,4
O_2 mg/l	9,8	9,4	-
verkrautete Tiefenschicht			
CO_2 mg/L	17,6	35,2	44,0
O_2 mg/l	9,5	8,85	-

5. Der HCO_3^- -Gehalt. Die Alkalinität gibt bei den im allgemeinen in der Fulda vorliegenden pH-Werten von 7 -7,5 den HCO_3^- -Gehalt wieder. Die HCO_3^- -Ionen entstehen zunächst im geringen Masse durch die Dissoziation $H_2CO_3 \rightleftharpoons HCO_3^- + H^+$ (Dissoziations-Konstante $(15^\circ) 3,0 \cdot 10^{-7}$). Im noch viel geringeren Masse zerfällt $HCO_3^- \rightarrow CO_3^{2-} + H^+$ (Dissoziations-Konstante $(15^\circ) 3,2 \cdot 10^{-11}$). $[H^+]$ -Erhöhung resultiert bei Gegenwart von weiteren CO_3^{2-} -Ionen in einer $[HCO_3^-]$ -Erhöhung.

Das ist der Fall, wenn CaCO_3 als Bodenkörper vorliegt, mithin also eine gesättigte CaCO_3 Lösung vorhanden ist. Das sehr geringe Löslichkeitsprodukt $L = [\text{Ca}^{++}][\text{CO}_3^{--}] = 5,0 \cdot 10^{-9}$ wird, solange die H-Konzentration steigt, ständig unterschritten und Ca Ionen gehen in Lösung. Auf diese Weise wirkt die Kohlensäure kalkauflösend und alkalinitätserhöhend. Wie der Verlauf der Kurven H_2CO_3 , HCO_3^- und $\text{Ca}^{++}(\text{Mg})$ zeigt, besteht im allgemeinen in der Fulda keine Abhängigkeit des Kalkgehaltes von den Veränderungen des H_2CO_3 -Gehaltes. CaCO_3 liegt offenbar als Bodenkörper nicht vor. Bei der Stadt Fulda besteht jedoch eine auffallende Parallele zwischen den Kurven, die im Abschnitt D näher besprochen werden sollen. Der durch das H_2CO_3 : HCO_3^- -Verhältnis bedingte pH-Wert im Fuldawasser schwankt meist zwischen 7 und 7,5. Die Haune weicht mit pH 8 das ganze Jahr hindurch davon ab.

C. Der Stickstoffhaushalt.

Die Stickstoffverbindungen treten in der Fulda hauptsächlich als Nitrate (S. 35) auf. Dabei wurden bisher im Frühjahr die höchsten Werte ermittelt. Im Herbst war eine starke Abnahme zu verzeichnen, die 1949 streckenweise bis zu völligem NO_3^- -Schwund führte. NO_3^- kann demgemäss durchaus zum Minimumfaktor für die Pflanzenernährung werden. In den Abwasserzonen mit starken bakteriologischen Abbau unterhalb Fulda, Hersfeld und Kassel gelangen grosse Stickstoffmengen in Form von NH_4^+ in das Wasser, die nun allmählich zu NO_3^- oxydiert werden. Die Anstiege der NO_3^- -Kurve liegen denen der NH_4^+ -Kurve gegenüber etwas versetzt. Zwischen beiden liegen Gipfel der NO_2^- -Kurven, das aber als Zwischenprodukt, welches gleich weiter bakteriell verarbeitet wird, in wesentlich geringerer Menge vorliegt. Die gebildeten Nitrat-Mengen nehmen alsbald ausserordentlich rasch ab. Das kann allein durch die Verdünnung durch Grundwasser oder Nebenflüsse nicht erklärt werden, sondern es tritt sicherlich eine pflanzenbedingte NO_3^- -Zehrung ein. Auf diese Ursachen ist wohl auch die im Laufe des Jahres eintretende Abnahme von NO_3^- zurückzuführen.

D. Die Verhältnisse im Abwassergebiet der Stadt Fulda.

Da ständige Klagen über die Beeinträchtigung des Fischbestandes durch die Abwässer der Stadt Fulda vorliegen, erscheint eine eingehendere Betrachtung der chemischen Verhältnisse in diesem Bereich aus praktischen Gründen angebracht. Im allgemeinen bietet sich hier das typische Bild eines Flusses im Zustand der Verschmutzung durch

organische Abwässer mit anschliessender biologischer Selbstreinigung. Die Höchstmenge an organischen Stoffen lässt sich nach dem Untersuchungsergebnis vom 6.10.49 unmittelbar hinter der Einleitung der Abwässer bei Horas nachweisen. (Maximum der KMnO_4 -Kurve). Von hier an sinkt der Sauerstoffgehalt des Wasser ständig, um bei Lüdermünd ein Minimum zu erreichen. Dieser Sauerstoff wird zum Abbau der organischen Stoffe verwendet. (Fallen der KMnO_4 -Kurve). Entsprechend nehmen die O_2 -Zehrungswerte von ihrem Höchstwert bei Horas bis Lüdermünd ständig ab. Mit dem Sauerstoffverbrauch geht eine CO_2 -Produktion Hand in Hand. Der in den organischen Stoffen enthaltene Stickstoff wird in dem reduzierenden Milieu als NH_4^+ frei, dessen Maximum ebenfalls bei Lüdermünd liegt. Hier ist offensichtlich die Zone des ausschliesslichen Abbaus beendet (13 km unterhalb der Abwassereinleitung). Zwischen Lüdermünd und Hemmen (3 km) setzt bereits die Oxydation in beträchtlichem Masse ein. Diese wird noch beschleunigt durch die Einmündung der Lüder, die eine Zufuhr von sehr sauerstoffreichen Wasser mit sich bringt, und durch die O_2 -Produktion von Wasserpflanzen, die von hier ab wieder auftreten. Die NH_4^+ -Kurve fällt steil ab, NO_2^- erreicht seinen Maximalwert, der aber, wie es bei diesem Zwischenprodukt der Oxydation, das bald weiter verarbeitet wird, zu erwarten ist, in seinem absoluten Betrag trotzdem sehr niedrig bleibt. Von hier ab steigt auch die NO_3^- -Kurve ständig an und erreicht ihren Gipfel bei Hutzdorf (9,5 km unterhalb Hemmen). Ganz entsprechend verbessern sich auf dieser Strecke die Sauerstoffverhältnisse des Flusswassers ständig, so dass auch wieder mit einer Besiedlung durch Fische zu rechnen ist. Auf der nun folgenden Strecke bis Niederaula (18 km hinter Hutzdorf) verschwinden die NO_3^- -Ionen fast vollständig wieder. Offenbar werden sie durch Wasserpflanzen aufgenommen. Die Beziehungen des Stickstoffhaushaltes lassen sich hier ziemlich quantitativ verfolgen. (Die zwischen der Probenentnahme an den einzelnen Stationen liegende Zeitspanne entsprach annähernd der Zeit, die das Wasser zum Durchströmen dieser Strecken benötigte). Vergleicht man die Gesamtmenge an N ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$) der einzelnen Stationen, so kann man deutlich zwei Zonen unterscheiden: Zwischen Bronzell-Lüdermünd findet ein ständiges Anwachsen der N-Mengen statt. Von Hemmen bis Niederaula fällt die Kurve gleichmässig infolge ständiger NO_3^- -Zehrung durch Pflanzen. Der steile Abfall zwischen Lüdermünd und Hemmen ist weitgehend durch die Einmündung der Lüder bedingt. N-Verlust kann auch ausserdem durch denitrifizierende Bakterien erfolgen.

Zugleich mit der H_2CO_3 -Kurve steigen auch die HCO_3^- und Ca^{++} -Kurven an. Möglicherweise hat also die biologische Bildung von H_2CO_3 eine Auflösung von $CaCO_3$, das bei Fulda geologisch vorliegt zur Folge. Um zu entscheiden, ob nicht der ursprünglich bei Bronzell vorhandene H_2CO_3 -Gehalt schon genügen würde, den Ca -Gehalt um den in Erscheinung tretenden Betrag zu erhöhen, ~~sind~~^{ist} im Folgenden (nach Tillmanns empirisch bestimmten Werten) die maximal mögliche Ca^{++} -Aufnahme (aus $CaCO_3$) für die H_2CO_3 Beträge der einzelnen Stationen zu den tatsächlich beobachteten Ca -Konzentrationsveränderungen in Vergleich gesetzt.

	Station						
	35,0	41,6	44,6	53,4	56,5	65,8	87,0 km
Maxim.mögl.Ca Anstieg mg/l	7,5	10	19	20	20	24	
Tatsächliche Ca Konz.Veränderung mg/l	12	+0	+2	-1	-1	-3	

Der Alkalinitäts- und Ca -Anstieg zwischen Bronzell und Horas erforderte also zusätzliche H_2CO_3 -Mengen. Dieser Bedarf könnte durch die biologische CO_2 -Produktion gedeckt werden. Es ist jedoch genau so denkbar, dass ein versteckter Zufluss H_2CO_3 -, Ca^{++} - und HCO_3^- -reichen Grundwassers eintritt.

Für die Praxis ergeben sich aus den Analysen-Daten wichtige Folgerungen. Durch die Abwässer der Stadt Fulda wird die Fulda in unzulässigem Ausmass belastet, so dass noch bis auf eine Entfernung von etwa 15 km mindestens zeitweise durch den niedrigen Sauerstoffgehalt eine Besiedlung durch Fische unmöglich wird, - gelegentlich noch weiter unterhalb bei Pfordt (20 km und mehr unterhalb der Abwasser-einleitung) beobachtetes Fischsterben dürfte auch noch auf diese Verschmutzung zurückzuführen sein. Neben dem starken O_2 -Schwund sprechen die hohen Werte von gebildetem NH_4^+ für die übermässige Abwasserbelastung. Wie weit die Fuldaer Industrie oder die städtischen Abwässer Schuld an dem Verschmutzungsgrad sind, muss erst noch näher untersucht werden. Auf jeden Fall handelte es sich im Oktober 1949 um organische Abfallstoffe, so dass es naheliegt, die Verunreinigung den städtischen häuslichen Abwässern zuzuschreiben.

Alle beobachteten Erscheinungen lassen erkennen, dass im Fluss genauso wie im See Kreislaufprozesse im Stoffhaushalt vor sich gehen, die allerdings in diesem Fall, bedingt durch die morphologische Eigenart und damit durch den alles beherrschenden Strömungsfaktor, hier einen perizyklischen Verlauf nehmen. Die Folge ist im Gegensatz zu dem Übereinander der Biozönosen im stehenden Gewässer ein Hintereinander in den fliessenden, und an die Stelle der wechselseitigen Beeinflussung der Lebensgemeinschaften im See (Stoffkreislauf) tritt hier eine einseitig im Sinne des Abflusses gerichtete.