Zeitschrift: Mitteilungen der aargauischen Naturforschenden Gesellschaft
Herausgeber: Aargauische Naturforschende Gesellschaft
Band: 22 (1945)

Artikel: Limnologische Untersuchungen im Hallwilersee
Autor: Keller, Rudolf
Kapitel: 8: Schlammuntersuchungen
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-172261

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 02.10.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Tabelle 40

Tiefe	Kieselsäure mg/l 1	5	10	15	20	25	30	35	40	45 m
11. 10. 41	2,4	—	1,6	5,0	4,8	—	—	7,0	—	—
10. 1. 42	—	0,5	—	—	0,4	—	0,6	—	—	1,2
20. 3. 42	2,2	—	2,2	—	—	2,4	—	—	—	12,0
24. 9. 42	0,2	—	0,5	—	—	0,8	—	—	—	1,4

Unsere Messungen zeigten ganz verschiedene Resultate. Es waren Übergänge von 0,2 auf 12,0 mg/l Kieselsäure vorhanden. Allgemein wurde festgestellt, daß zu Beginn der Sommerstagnation bis in die Tiefe von 25 m ausgeglichene Werte von 2,2 bis 2,4 mg pro Liter vorhanden waren, während die Tiefe 45 m 12 mg/l Kieselsäure enthielt.

Unseren Messungen vom 10. 1. 42 zufolge hätte um diese Zeit abermals eine Kieselalgenproduktion einsetzen müssen.

Am Ende der Sommerstagnation zeigten die gleichen Tiefen 0,2 bis 0,8 resp. 1,4 mg/l Kieselsäure.

Für den *Bodensee* (Obersee) werden zu Beginn der Sommerstagnation im Mittel zirka 1,5 mg/l Kieselsäure gemeldet. Die Abnahme während der Sommerstagnation betrug in den Tiefen 0 bis 5 m 1,2 mg/l, in 10 m Tiefe 0,5 mg/l und in 15 m Tiefe 0,2 mg/l.

L. Minder[40] stellte in seinen Messungen, die er innerhalb 30 Jahren ausführte, rund 2 bis 5 mg/l SiO_2 fest. Den niedrigsten Kieselsäurewert von 1,9 mg/l fand er vier Jahre nach der Invasion der Tabellaria fenestrata.

Im *Hallwilersee* ist der Gehalt an Silikat um zirka 50 % höher als im oben erwähnten Boden- und Zürichsee.

8. Schlammuntersuchungen

I. Allgemeines

Das Wasser ist der Lebensraum der Biozoenose. Neben dieses vom Leben beherrschte «Element» stellt sich das scheinbar durch wesenlosen Tod charakterisierte Sediment. Seitdem es *F. Nipkow*[17] durch Hebung seiner Schlammprofile gelungen

ist, den Zeitbegriff auch in die Schlammbeurteilung zu bringen, hat auch der Schlamm «Leben» bekommen und kann als Registrator der Lebensvorgänge im darüber liegenden Wasser aufgefaßt werden.

Die Ablagerungen sind teils anorganischer, teils organischer Zusammensetzung und der Entstehung nach entweder im See selbst durch Prozesse des Lebens oder durch physikalisch-chemische Vorgänge aus dem Wasser ausgefällt, autochthon, oder durch die Zuflüsse in den See eingeführt, allochthon.

Die Menge und Zusammensetzung der allochthonen Sedimente ist abhängig vom Einzugsgebiet des Sees in bezug auf Größe, morphologische und geologische Beschaffenheit, Klima und Pflanzendecke.

Für das Seegeschehen besonders aufschlußreich sind die autochthonen Ablagerungen, die als Fällungen durch chemisch-physikalische Reaktionen im Wasser stattfinden und meist durch Lebensvorgänge verursacht werden, oder durch die langsamere Sedimentierung der tierischen und pflanzlichen Leichen mit ihren organischen und anorganischen Inhaltssubstanzen.

Unter den biologisch bedingten Ausfällungen nimmt der Kalk den ersten Platz ein. Die ausgeschiedenen Kalkteilchen sinken direkt oder im Strömungsschatten ab und bilden die Seekreide von grauweißer Färbung.

Die Sedimentierung des Eisens erfolgt als Hydroxyd, welches beim Transport von Sauerstoff in sauerstofffreie Tiefen ausgefällt wird, oder als Eisensulfid bei Anwesenheit von H_2S in den schlammnahen Schichten, oder im Schlamm selbst.

Auch durch die Eisenbakterien und Algen, die die Fähigkeit besitzen, Eisenverbindungen in ihren Hüllen zu speichern, wird Eisen im Schlamm abgelagert.

Als geformtes Sediment erscheint die Kieselsäure aus dem Wasser als Kieselpanzer der oft zahlreich vorhandenen Diatomeen.

Für die Beurteilung des Sees ist der organische, noch zersetzungsfähige und mineralisierbare Anteil des Schlammes ausschlaggebend.

Phosphorsäure kann als Eisenphosphat, möglicherweise auch als Kalziumphosphat deponiert werden. Im oligotrophen

See wird es kaum zur Bildung von organischem Schlamm kommen, denn die geringen Mengen absinkender organischer Substanzen werden schon vorher oxydiert und mineralisiert werden. Wenn aber eine starke Biozoenose entwickelt ist, ist der Anfall an zerfallenden organischen Substanzen groß und der Bedarf an oxydierendem und mineralisierendem Sauerstoff wächst ständig an. Die Zersetzungsvorgänge sind nur solange in oxydativem Sinne möglich, als der vorhandene Sauerstoff ausreicht und eventuell bei Vollzirkulation in die Tiefe befördert wird. Werden die Sauerstoffverhältnisse ungünstig, so tritt die Mineralisierung in reduktivem Sinne als Fäulnis an die Stelle der Oxydation. Beim aeroben Abbau handelt es sich um relativ rasch ablaufende Vorgänge unter Beteiligung einer artenreichen Bakterienflora. Demgegenüber verläuft der anaerobe Vorgang, die Fäulnis, sehr langsam. Die Zersetzungsvorgänge sind abhängig von der Temperatur, weshalb in den Tiefen, wo meist nur 4 ° C herrscht, mit extrem langer Abbaufrist zu rechnen ist. Es besteht die Möglichkeit, daß der Faulschlamm vom Ende der Herbstvollzirkulation bis zum Beginn der Sommerstagnation nicht ausmineralisiert werden kann, sodaß das neu anfallende organische Sediment einfach angehäuft wird.

Es liegt nun nahe anzunehmen, daß die Fäulnisprodukte des Seegrundes an das darüber stehende Wasser abgegeben werden, sodaß die unmittelbar ob Grund liegenden Wasserschichten als Exponent der chemisch-biologischen Umsetzungsvorgänge im Schlamm aufgefaßt werden können.

Diese Austauschvorgänge sind von verschiedenen Forschern wie *Birge* und *Juday, Naumann* und *Alsterberg* studiert worden.

G. Alsterberg[1] hat den Begriff der Mikroschichtung geprägt und weist auf folgende Prozesse hin, die bei einer Auseinandersetzung über Gasaustausch zwischen Schlamm und Wasser in Betracht zu ziehen sind:

1. Die O_2-Absorption des Schlammes.
2. Die O_2-Diffusion.
3. Die Exhalation des Schlammes von oxydablen Substanzen.

4. Die Aufwärtsbewegung von Organismen vom Schlamm hinauf in die Wasserschichten mit sinkender O_2-Spannung.

Die Untersuchungen in verschieden gelegenen Seen ließen *G. Alsterberg* zum Schluß kommen, daß die Austauschvorgänge noch durch einen andern sehr wichtigen Faktor beeinflußt werden, nämlich durch die Strömungen, die durch die Winde erzeugt werden. Diese Wirkung der Winde in der Horizontalebene ist es ebenfalls, die der durch die Bodenkonfiguration bestimmten Mikroschichtung makroschichtenden Charakter erteilt. Die vertikal wirkenden Konvektionsströmungen sind für die Austauschvorgänge von primärer Wichtigkeit. Ohne sie müßten sich im unbelichteten Hypolimnion die Fäulnis- und Abbaustoffe in noch viel stärkerem Maße anreichern.

II. Resultate und Diskussion der physikalischen und chemischen Schlammuntersuchungen

(s. Tabelle 42)

Es war von besonderem Interesse, den pelagischen Schlamm im Hallwilersee auf seinen chemischen Charakter und besonders auf seinen Mineralisierungsgrad zu untersuchen. Bei der Hebung der Wasserproben für die Sauerstoffuntersuchungen kamen wir oft mit dem Schlamm in Kontakt, der besonders im Herbst und Winter stinkig war und grauschwarze Farbe aufwies. Die Schlammproben zur vorliegenden Untersuchung wurden an den drei üblichen Probenahmestellen am 27.5.43 entnommen.

Die Analysenbefunde sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt und anschließend beschrieben. Die zur Analyse benutzten Methoden sind teilweise in den Veröffentlichungen von *H. F. Kuisel* («Neue Methoden in der Wasseranalyse», I., II. und III. Mitteilung in der Helvetica Chimica Acta, Vol. XVIII fasc. I und II) beschrieben.

Daneben leisteten uns die Veröffentlichungen von *Jordan Manthey-Hom, Meinck, Sander* und *Schmidt* in den «Kleinen Mitteilungen der preußischen Landesanstalt für Wasser-, Boden- und Lufthygiene (Berlin 1941) wertvolle Dienste. Zur Beurtei-

lung des Schlammes zogen wir die Arbeit von *Benade* (Moore, Schlamme, Erden, Dresden 1938) zu Rate. Unsere Untersuchungsergebnisse wurden hauptsächlich mit denjenigen des Zürichsee-Tiefenschlammes, wie sie im Bericht über die «Wissenschaftliche Erforschung des Zürichsees in den Jahren 1929 bis 1933» dargelegt sind, verglichen.

In der Beschreibung wurde der Begriff «Feuchtschlamm» mit F.S. abgekürzt, was hauptsächlich die Tabellen übersichtlicher erscheinen ließ.

1. Allgemeiner Charakter des Schlammes

Der Schlamm ist zähflüssig, mehlig, grauschwarz, schwach faulig riechend. Die unter der grauschwarzen Schicht liegende Masse erscheint heller. Eine gewisse Schichtung ist unverkennbar. Leider war es uns nicht möglich, eigentliche Schlammprofile im Sinne Nipkows zu erheben.

2. Die Reaktion des Schlammes

Die drei untersuchten Schlammproben reagierten alle schwach alkalisch, entsprechend pH-Werten von pH 7,4 bis 7,8, was für die geruchlos verlaufende Methangärung erste Bedingung ist.

3. Wassergehalt und Trockenrückstand

Dem Wassergehalt des Schlammes von 61,5 bis 65,7 % entsprechen Trockenrückstände von 38,5 resp. 34,3 %. Diese Werte zeigen an und für sich keine Abnormität. Im Zürichsee wurden bei Tiefenschlamm Wassergehalte von 65 bis 70 % festgestellt.

4. Asche und Glühverlust

Der Aschengehalt unserer Schlammproben schwankte zwischen 30,8 und 35,2 % des Feuchtschlammes; der Glühverlust betrug 2,9 bis 3,5 % des Feuchtschlammes, wobei der maximale Wert von 3,5 % auf die Probe der tiefsten Stelle 2 fällt. Es wäre nicht angängig, diese relativ kleinen Differenzen als wichtige Unterschiede im Gehalt an organischen Stoffen zu interpretieren.

Der Glühverlust wird normalerweise als der Gehalt an or-

ganischen Stoffen gewertet. Diese Bezeichnung wäre im vorliegenden Fall jedoch nicht ganz richtig, weil sich auch mineralische Stoffe beim Glühen verflüchtigen, so besonders Eisenchlorid, Sulfide und Ammoniumsalze.

5. Das Salzsäureunlösliche

stellt neben Resten von mit Salzsäure nicht hydrolysierbaren organischen Stoffen hauptsächlich Sand und Ton d. h. Silikate dar und betrug in den untersuchten Schlammen 6,2 bis 8 % des Feuchtschlammes. Der Hauptanteil wird die aus dem Diatomeen-Detritus stammende Kieselsäure darstellen.

6. Die Reduktionsfähigkeit

zeigt an, welche Mengen an reduzierenden, d. h. bei der Fäulnis sauerstoffverbrauchenden Anteilen vorhanden sind. Am Hygiene-Institut der ETH wurde eine Bestimmungsmethode ausgearbeitet, welche darin besteht, daß dem Schlamm Nitroanthrachinon zugesetzt wird. Dieses wird durch den vorhandenen Wasserstoffdruck in stabiles rotgefärbtes Aminoanthrachinon übergeführt, welches kolorimetrisch gemessen wird.

Unsere Bestimmungen zeigten folgende Werte:

Die Werte für den chemischen Nitro-Effekt d. h. für den Verbrauch von Nitroanthrachinonsulfosäure während eines Tages, schwanken von 0,7 bis 1,75 mg/g Feuchtschlamm. Nach 7 Tagen wurden Werte von 2,8 bis 5,6 mg/g F.S. gemessen. Nach 20 Tagen waren hauptsächlich die Werte der Stellen 2 und 3 weiter angestiegen, während an Stelle 1 die Zunahme geringer war. Die Werte des totalen Nitro-Effektes nach 20 Tagen schwanken zwischen 4,2 bis 7,0 mg/g F.S. Schlamme mit einer Reduktionsfähigkeit von weniger als 1 mg/g Feuchtschlamm verlieren dieselbe beim Liegen an der Luft meist ziemlich rasch. Im Zürichsee wurden für den Tiefenschlamm wesentlich größere Werte gefunden, und zwar ein solcher von maximal 167 mg. Die Reduktionsfähigkeit unserer Schlammproben kann als gering bezeichnet werden.

7. Die Sulfide

sind im Schlamm als Eisensulfid vorhanden und bedingen dessen schwarze Farbe. Sulfide werden aber an der Luft ziemlich rasch

oxydiert, während andere oxydierbare Stoffe erst später oxydiert werden.

Unsere Schlammproben lieferten Werte für Sulfide von 0,24 bis 0,45 mg H_2S/g F.S. Der geringste Wert von 0,24 mg/g F.S. wurde an der Stelle 3, wo der See nur 32 m tief ist, gemessen. Hier fanden wir auch während des ganzen Jahres sauerstoffhaltiges Wasser am Grunde.

Im Zürichsee wurden im Tiefenschlamm H_2S-Werte von 1,6 ‰ oder 1,6 mg pro g Feuchtschlamm gefunden.

8. Der Gesamtstickstoff

Durch die Bestimmung des Gesamtstickstoffes nach der Methode von ***Kjeldahl*** werden sowohl Stickstoffkörper der höchsten Oxydations- als auch Reduktionsstufen organischer und anorganischer Natur erfaßt. Unsere Schlammproben zeigten Werte von 0,8 bis 1,1 mg/g Feuchtschlamm. Wiederum ist der Maximalwert 1,1 mg/g N an der tiefsten Stelle des Sees, wo auch der größte Wert für den Sulfidschwefel und den Glühverlust gefunden wurde.

Im Zürichsee-Tiefenschlamm wurde dagegen nur ein Wert von 0,75 mg pro g Feuchtschlamm ermittelt.

9. Der Gehalt an Kalzium

im Schlamm betrug 106,00 bis 113,50 mg pro g Feuchtschlamm. Demzufolge ist der Schlamm als kalkreich zu taxieren. Im Zürichsee wurden Kalziumwerte von 150 mg/g F.S. gefunden. Dieser Wert entspricht 375 mg $CaCO_3$ pro g Feuchtschlamm.

Wir rechneten das gefundene Kalzium und Magnesium in $CaCO_3$ um, da angenommen werden kann, daß der Hauptteil als Kreide vorliegt; wir verweisen auf die Zusammenstellung in Tabelle Nr. 43.

10. Die Magnesiumbestimmung

lieferte Werte von 3,66 bis 4,88 mg Magnesiumion pro g Feuchtschlamm. Diese Werte sind eher als gering zu bezeichnen, denn der Zürichsee-Tiefenschlamm wies Werte von 3,0 bis 18,0 mg/g Feuchtschlamm auf.

11. Das Aluminium

ist als Bestandteil des Schlammes mit 0,022 bis 0,03 mg/g Feuchtschlamm nur in geringen Mengen vorhanden. Über die Bewertung des Aluminiums im Schlamm liegen keine Literaturangaben vor.

12. Die Gasungsfähigkeit

Bestimmung: 500 g Feuchtschlamm wurden in einen Stehkolben eingefüllt, welcher mit einem Eudiometer gasdicht verbunden wird. Das Eudiometer enthält als Sperrflüssigkeit gesättigte Kochsalzlösung. Durch tägliches Ablesen wird die jeweilig produzierte Gasmenge, der bei 20 ° C aufbewahrten Probe notiert und die nach 60 (oder weniger) Tagen produzierte totale Gasmenge als Gasungsfähigkeit in cm^3 Gas/kg Feuchtschlamm angegeben.

Unsere Schlammproben wurden nach obiger Methode während 20 Tagen auf Gasungsfähigkeit geprüft, ohne daß eine Gasentwicklung festgestellt werden konnte.

13. Der Sauerstoffbedarf

Methode: Nach *Sierp* und *Fränsemeyer*.[51]

Das Verfahren besteht darin, daß in einem in Gemeinschaft mit *Fränsemeyer* hergestellten Apparat gasförmiger Sauerstoff auf das unverdünnte Wasser oder Schlamm zur Einwirkung gebracht wird. Der von der Flüssigkeit innerhalb einer bestimmten Zeit bei gleichbleibender Temperatur (20 ° C) aufgenommene Sauerstoff wird an der Volumabnahme im Eudiometer gemessen.

Die Werte für den Sauerstoffbedarf sind in nachstehender Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 41

	Schlammproben an den Stellen					
	1		2		3	
	ccm/g	mg/g	ccm/g	mg/g	ccm/g	mg/g
O_2-Bedarf nach 5 Tagen	1,1	1,53	0,95	1,32	1,1	1,53
O_2-Bedarf nach 20 Tagen	2,16	3,0	2,18	3,0	2,17	3,0

Die Werte sind als gering zu bezeichnen, wenn in Betracht gezogen wird, daß die Oxydation der gemessenen Sulfide zirka 3 bis 5 mg/g O_2 verbrauchen würden.

Im Tiefenschlamm des Zürichsees wurden bis 30 mg/g Feuchtschlamm Sauerstoff verbraucht, was ungefähr dem zehnfachen Wert unserer eigenen Messungen gleichkommt.

Resultate der Schlammanalysen

Die Schlammproben wurden am 27. 5. 43 an den drei Probenahmestellen in den Tiefen 40, 45 und 32 m genommen

Tabelle 42

	Stelle 1 40 m	Stelle 2 45 m	Stelle 3 32 m
Beschaffenheit		zähflüssig	
Farbe	grauschw.	grauschw.	grau
Geruch	schw. faul	schw. faul	faul n. H_2S
pH	7,8	7,6	7,4
Haftwasser n. 24 Std. % F.S.	12,6	12,0	9,4
Wassergehalt in % F.S.	61,5	65,7	62,6
Trockenrückstand % F.S.	38,5	34,3	37,4
Asche % F.S.	35,2	30,8	34,3
Asche % Trockensubstanz	91,0	90,0	93,0
Glühverlust % F.S.	3,3	3,5	2,9
Glühverlust % Tr.S.	9,0	10,0	7,0
HCl (unlösliches) % F.S.	8,0	6,15	6,2
HCl (unlösliches) % Asche	23,0	20,0	18,0
Sulfide in mg H_2S/g F.S.	0,42	0,45	0,241
Gesamt-N mg/g F.S.	0,8	1,1	1,0
Kalzium mg/g F.S.	113,5	96,5	106,0
mg $CaCO_3$/g F.S.	284,0	241,0	265,0
Magnesium mg/g F.S.	3,66	4,88	4,88
mg $MgCO_3$ mg F.S.	4,50	5,80	5,80
Aluminium mg/g F.S.	0,022	0,024	0,030
Eisen mg/g F.S.	10,5	11,1	9,5
mg FeS_2/g	22,4	23,7	20,3
Nitroeffekt mg/g F.S. oder Reduktionsfähigkeit			
mg/g F.S. nach 1 Tag	1,75	1,75	0,70
mg/g F.S. nach 7 Tagen	5,6	4,9	2,8
mg/g F.S. nach 20 Tagen	6,3	7,0	4,2
Gasungsfähigkeit cm^3/kg F.S.	0	0	0
Sauerstoffbedarf cm^3/g F.S.			
nach 5 Tagen	1,1	0,95	1,1
nach 20 Tagen	2,16	2,18	2,17

III. Generelle Beurteilung des Schlammes

1. Über die Zusammensetzung des Schlammes orientiert die folgende Zusammenstellung. In der Tabelle Nr. 43 sind die Angaben als %-Gehalt des Feuchtschlammes (F.S.) angegeben.

Zusammenstellung über Zusammensetzung des Schlammes in %

Tabelle 43

Probenahmestellen	1	2	3
Tiefe des Grundes	40 m	45 m	32 m
Wassergehalt des Schlammes	61,5	65,7	62,6
davon Haftwasser	(12,5)	(12,0)	(9,4)
Trockenrückstand	38,5	34,3	37,4
Zusammensetzung des Trockenrückstandes			
Kalziumkarbonat	27,4	24,1	27,5
Magnesiumkarbonat	0,9	1,7	1,7
HCl (unlösliches)	8,0	6,1	6,2
Eisensulfid	2,2	2,4	2,0
Trockenrückstand	38,5	34,3	37,4

Der Trockenrückstand besteht zu 70 % aus Kalzium- und Magnesiumkarbonat. In zweiter Linie fällt das HCl-Unlösliche, welches zum größten Teil Silikate sind, mit zirka 20 % ins Gewicht.

2. Der negative Verlauf der Prüfung auf Gasungsfähigkeit läßt auf geringe Mengen organischer Substanz schließen, was auch durch die geringe Sauerstoffaufnahme und den kleinen Nitro-Effekt bestätigt wurde.

3. Der Gehalt des Schlammes an reduzierenden anorganischen Verbindungen, wie Sulfiden, ist nicht außerordentlich. Die Sauerstoffaufnahme zeigte Werte, wie sie zur Oxydation der Sulfide (als H_2S) nötig waren.

4. Den erwähnten Eigenschaften nach zu schließen, ist der Hallwilerseeschlamm eher als Schlick, denn als Halbfaulschlamm zu taxieren.