

Zeitschrift: Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 30 (1938)
Heft: 2-3

Artikel: Über eigenartige Erscheinungen im Grundwasser von Wettingen
Autor: Harder, W.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-922157>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.05.2025

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

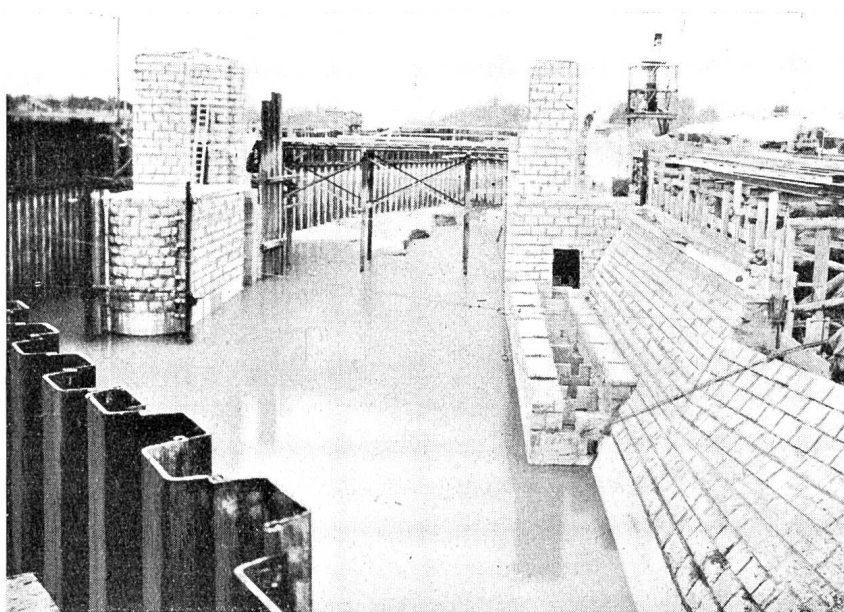


Abb. 5 Vom Bau des Stauwehres Nidau
Baugrube 2 mit Fischpass nach der Unterwassersezung.

Professor K. E. Hilgard 80jährig

In voller geistiger Frische, wenn auch körperlich leidend, feierte am 21. Februar 1938 Herr Professor K. Emil Hilgard seinen achtzigsten Geburtstag. Namentlich wir Wasserwirtschaftler kennen ihn, den immer regsamen Geist, den Lehrer der Wasserbaukunst am Eidg. Polytechnikum, Verfasser vieler Abhandlungen aus dem Gebiete der Wasserwirtschaft im allgemeinen und des Talsperrenbaues im speziellen.

Unserer Zeitschrift «Wasser- und Energiewirtschaft», früher «Schweizerische Wasserwirtschaft», stand der Jubilar besonders nahe, gehörte er doch zu ihren Herausgebern. Im Oktober 1908 unterschrieb er zusammen mit Dr. Oscar Wettstein und Ingenieur Rudolf Gelpke die Einführung zur Gründung der Zeitschrift. Ein Teil seines reichen techni-

schen Wissens hat Herr Hilgard in vielen interessanten Aufsätzen der Zeitschrift niedergelegt. Herr Hilgard war einer der Gründer des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes und gehört dem Ausschuss seit der Gründung im Jahre 1910 an. Er war ein eifriger Besucher aller Veranstaltungen des Verbandes, wo man ihn seit einiger Zeit leider vermissen musste.

Wir danken Herrn Professor K. E. Hilgard für seine im Interesse der Allgemeinheit geleistete Arbeit; Leserschaft und Redaktion unserer Zeitschrift hoffen und wünschen von Herzen, dass er noch recht viele Jahre unter uns weilen dürfe.

Redaktion und Verlag der
«Wasser- und Energiewirtschaft».

Über eigenartige Erscheinungen im Grundwasser von Wettingen

Von Dr. W. Harder

Der Wassermangel vergangener Jahre hat an verschiedenen Orten, besonders im Kt. Aargau, zu neuen Grundwasserfassungen Anlass gegeben, die dank den günstigen Verhältnissen meist reichliches und gutes Trinkwasser ergaben. Trotz früher vielfach gehegten Bedenken gegen das Grundwasser dringt nunmehr doch die Erkenntnis der zunehmenden Bedeutung von Grundwasserpumpwerken als Wasserspendern vieler Versorgungen durch.

Wenn auch das Grundwasser im Laufe gewisser Perioden bestimmte Schwankungen aufweist, so zeigt es doch in der Zusammensetzung grössere Konstanz als Quellwasser. Dass aber, wenn auch sehr selten, Einflüsse primärer oder sekundärer Natur plötzliche Störungen in bisher einwandfreien

Grundwässern verursachen können, ist längst bekannt.

Ueber eine derartige Störung im Wasserwerksbetrieb der Gemeinde Wettingen soll nachfolgend ein Ueberblick gegeben werden.

Bekanntlich war die Gemeinde durch die Erstellung des Limmatkraftwerkes und den dadurch bedingten Aufstau des Flusses gezwungen, im Tägerhard ein neues Grundwasserpumpwerk zu erstellen, da die alte Anlage an der Limmat, die bisher als Hauptlieferant der ausgedehnten Wasserversorgung gedient hatte, unter den Seespiegel zu liegen kam. Über diese Neuanlage wurde bereits früher berichtet.¹

¹ Schweiz. Wasser- und Energiewirtschaft, Nr. 1, 4, 5 (1933); 11 (1935).

Es wurde damals darauf hingewiesen, dass auf Grund periodisch durchgeführter chemisch-bakteriologischer Untersuchungen das geförderte Grundwasser als in jeder Beziehung rein beurteilt werden konnte. Im Frühjahr 1934 hatten sich die veränderten Verhältnisse bereits weitgehend stabilisiert, ohne dass sich irgendwelche Anomalien oder gewisse Verdachtsmomente gezeigt hätten.

Im Laufe des Hochsommers 1934 wurden jedoch Klagen über starke Verschlechterung des Trinkwassers laut, die zum Aufsehen mahnten. An verschiedenen Stellen des Leitungsnetzes traten an den Hähnen zeitweise braunrote Flocken aus; da und dort machte sich dazu ein unangenehmer Geruch nach Kanalgasen bemerkbar, dessen Ursprung vorläufig unabgeklärt blieb. In vielen Fällen zeigte das anfänglich klar und farblos ausfliessende Wasser nach mehrstündigem Stehenlassen, schneller beim Erwärmen beginnende Opaleszenz mit späterer Bildung eines gelbbraunlichen Bodensatzes. Meist wurden periphere Stellungen des Netzes hievon betroffen, während im alten Dorfteil Wettingen, dessen Netzteil ausser Grundwasser noch einen bedeutenden Zuschuss von Quellwasser (Lägerquellen) erhält, keine derartigen Mißstände beobachtet werden konnten, auch dann noch nicht, als in mehreren grösseren Quartieren das Auftreten der «Rostklumpen» längst bekannt war. Es muss daraus geschlossen werden, dass die Ursache der Kalamität nicht in den Quellen — die übrigens seit vielen Jahren der Versorgung dienen — sondern im Grundwasser zu suchen ist.

Eingehende Ueberprüfung des Wasserleitungsnetzes in Verbindung mit Untersuchungen des Leitungswassers und der Ausflockungen ergab einwandfrei die Anwesenheit von Eisensalzen. Die ersten Resultate sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1

Datum 1934	Entnahme- Stelle	Alkalität frz. H°	Chlor mg/L.	Organ. Stoffe mg/L.	Eisen (Fe) mg/L.	Sauer- stoff cm ³ /L.
3. 6.	Pumpwerk (I)	19,0	9,8	13,90	0,17	0,0
	Station II	19,0	9,7	21,65	10,40	0,0
	Station III	19,25	9,8	14,10	3,94	0,0
	Station IV	19,0	9,5	14,10	0,81	0,0
	Station V	19,25	9,8	14,70	0,30	0,0
	Station VI	19,50	9,9	18,60	3,87	0,24
13. 8.	Pumpwerk	18,5	9,6	17,45	0,13	0,0
	Station II	18,55	9,7	18,20	1,08	0,0
	Station III	18,50	9,6	17,90	0,24	0,0
	Station IV	19,0	9,6	18,20	0,20	0,0
	Station V	19,5	—	17,45	0,17	1,0
	Station VI	19,5	—	19,00	0,27	0,0
	Station VII	19,5	—	18,20	0,92	0,0

Zusammenfassend kann hierüber folgendes gesagt werden:

Auffallend ist in erster Linie der grosse Unterschied im Gehalt an organischen Stoffen, der zwischen 13,9 mg und 21,65 mg/L. schwankt. Analoges Verhalten zeigt der Eisengehalt, obwohl eine Uebereinstimmung zwischen diesem und dem der oxydierbaren Substanzen im Verlaufe der Untersuchung nicht konstatiert werden konnte. Wenn auch der absolute Wert derselben die zulässige Grenze (30 mg/L.) nicht erreicht, so müssen doch die grossen Differenzen der einzelnen Proben als anormal bezeichnet werden, da sie sich auf dasselbe Wasser beziehen.

Der Eisengehalt beim Pumpwerk ist etwas höher, als normalerweise bei solchen Grundwässern konstatiert wird, er kann aber noch als mässig gelten. Dagegen genügt eine Menge von ca. 3 mg/L., um ein solches Wasser abzuschätzen; ist der Anteil noch höher, so muss es als absolut ungeeignet erklärt werden (unangenehmer Geschmack, Rostflecken auf Geweben etc.). Die Ausscheidung brauner Schlamm-massen ist dabei eine selbstverständliche Erscheinung.

Mehrfache mikroskopische Untersuchungen isolierter gallertartiger Flocken ergaben, dass diese durch Eisenbakterien der Gattungen *Chlamydothrix* oder *Leptothrix ochracea* gebildet werden (Vgl. Abb. 6).

Da diese Kleinlebewesen für Wasserversorgungen von grösserem Interesse sind, sei im folgenden kurz auf ihre wichtigsten Vertreter hingewiesen:

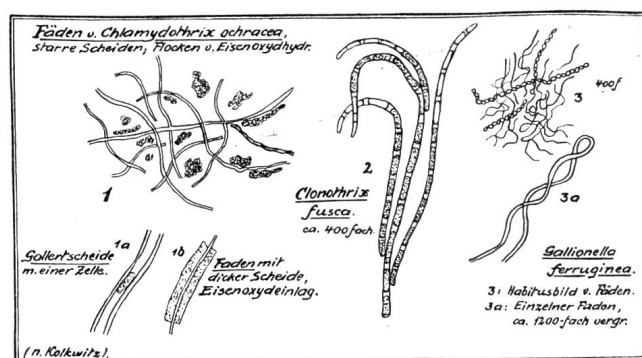


Abb. 6

Leptothrix (Chlamydothrix) ochracea: Sehr dünne, 0,001—0,002 mm dicke Fäden, diese mit zarter Hülle, innerhalb welcher die einzelnen Glieder liegen. Glatte, doppelt konturierte Scheiden ohne Inhalt, oft zerbrochen, rudimentär. Aeltere Scheiden gelblich bis bräunlich, vielfach gequollen

(Einlagerung von Eisenverbindungen). Zwischen den einzelnen Fäden Klümpchen von Eisenrost.

Clonothrix fusca (Fadenbakterie): Scheiden mit einzelnen Zellen, unteres Ende dick, oberes meist spitzig. Oft gewisse Astbildung. Eisen vorwiegend in der Scheide abgelagert.

Gallionella ferruginea: Meist in gewundener Form, seltener als ziemlich breites, flaches, um die eigene Achse gedrehtes Band. Ausgesprochene Eisenbakterie mit rötlicher Farbe.¹

Nach Kolkwitz² bedingt ein gewisser Gehalt der Grundwasser an organischen Verbindungen, häufig von Spuren von Eisensalzen begleitet, die Entwicklung von Eisenbakterien, falls eine gewisse Menge Sauerstoff vorhanden ist.

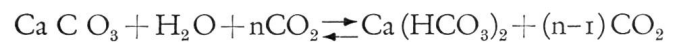
Versuche von Molisch haben aber ergeben, dass einzelne Bakterien auch ohne Eisen wachsen. In bezug auf die Aufnahme des in Wasser gelösten Eisens nimmt der gleiche Autor an, dass nicht die Vitalität des Bakteriums, sondern die grosse Affinität zwischen Scheidensubstanz und Eisensalz die Hauptrolle spiele, wodurch eine rein mechanische Fixation erklärt wäre. Er schliesst dies daraus, dass gekochte Hülsen in gleicher Weise die Farbe aufnahmen und sich veränderten, wie lebende Organismen (Umwandlung in Oxyd durch vorhandenen Sauerstoff).

Aus den festgestellten Tatsachen scheint hervorzugehen, dass ein minimaler Gehalt des Grundwassers an Eisensalzen bereits für Leben und Fortpflanzung der erwähnten Bakterien genügen dürfte.

Dass die voluminösen typischen Rostklumpen, in denen jene massenhaft beobachtet werden konnten, insbesondere in der Nähe bestehender Sackleitungen auftraten, ist auf die in diesen erhöhte Temperatur des stagnierenden Leitungswassers und der dadurch bedingten günstigeren Entwicklungsmöglichkeit zurückzuführen. Damit steht auch der an den genannten Zapfstellen konstatierte höhere Eisengehalt im Zusammenhang. Ein Vergleich mit Ergebnissen ursprünglicher Grundwasseruntersuchungen führt zum Schluss, dass dieses eisenlösende Eigenschaften angenommen hat. Eine einwandfreie Erklärung war hiefür bis heute nicht möglich.

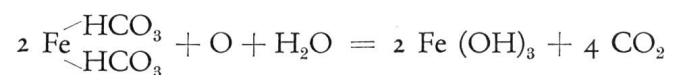
Zu Beginn der Kalamität angestellte Untersuchungen des Verfassers ergaben das Vorhandensein geringer Mengen aggressiver Kohlensäure. Die in den meisten Grund- und Quellwässern vorkom-

mende freie Kohlensäure löst den einfach kohlensauren Kalk zu Bikarbonat, $\text{CaH}_2(\text{CO}_3)_2$, für dessen dauernden Lösungszustand eine gewisse Menge freier Kohlensäure notwendig ist, was bereits 1872 durch Schlösing¹ festgestellt worden ist. Zwischen freier Kohlensäure und Calciumcarbonat einerseits und Calciumbicarbonat und freier Kohlensäure andererseits herrscht ein Gleichgewicht, das wie folgt ausgedrückt werden kann:



Die rechts der Gleichung stehende Kohlensäure ist mengenmässig fixiert und kommt für den Angriff und die Umwandlung weiteren CaCO_3 nicht in Betracht. Hingegen kann ein allfälliger Ueberschuss an solcher sich durch die Aggressivität auf Rohrleitungen, Reservoirwandungen usw. unangenehm bemerkbar machen.

Eine weitere Möglichkeit für die Bildung des in den Wasserleitungsröhren abgelagerten lockeren Schlammes besteht darin, dass infolge der hydrolytischen Spaltung des Wassers vorhandene elektromagnetisch geladene Hydroxylionen (OH^-) sich mit positiven Ferroionen (Fe) zu Eisenhydroxydul verbinden. Unter Umständen können, wenn z. B. wenig Sauerstoff oder gewisse Huminsubstanzen im Wasser vorhanden sind, die Eisenverbindungen längere Zeit als Kolloide in Lösung bleiben; sie erteilen dann jenem einen bestimmten metallischen Geschmack. Im Wasser gelöste freie Kohlensäure begünstigt die elektrolytische Dissoziation wesentlich, sie trägt auch bei zur Bildung von Ferrobicarbonat, bei dessen Oxydation wiederum CO_2 entsteht:



Der Ersteller der Anlage Wettingen führt hingegen auf Grund eingehender Untersuchungen die Erscheinungen des Rostens, bzw. die eisenlösenden Eigenschaften des Grundwassers auf das Fehlen von absorbiertem Sauerstoff zurück. Er empfahl deshalb, im Pumpenhaus das Wasser ausgiebig zu belüften. Am 20. August 1934 konnte damit begonnen werden. Die genau dosierte Menge Luft betrug $8,57 \text{ cm}^3$ entsprechend $1,71 \text{ cm}^3$ Sauerstoff pro Liter Wasser, sie wurde versuchsweise mehrere Tage auf dieser Höhe belassen. Im gleichen Zeitraum wurden an verschiedenen Stellen des Leitungsnetzes Proben gefasst und analysiert; die erhaltenen Resultate sind auszugsweise in folgender Tabelle zusammengestellt.

¹ Gärtner, Hygiene des Wassers (Vieweg 1915).

Molisch, Die Eisenbakterien (Jena 1910).

² Biologie d. Trinkw. (Leipzig 1911).

¹ Gärtner l. c.

Tabelle 2

Datum 1934	Entnahmestelle	Alkalität frz. H°	Freie Kohlen-säure mg/L.	Eisen (Fe) mg/L.	Sauer-stoff cm ³ /L.	Tempe-ratur ° C.
20. 8.	Pumpwerk Täg'hd.	17,75	6,75	0,09	1,40	9,3
	Station II Netz	17,75	6,65	0,11	0,30	13,1
	Station III "	17,50	7,25	0,11	0,07	10,8
	Station IV "	17,50	7,50	0,20	0,12	11,1
	Station V "	17,75	6,65	0,08	0,48	10,1
	Station VI "	17,75	7,00	0,13	0,75	14,3
24. 8.	Pumpwerk T.	17,50	8,0	0,02	2,10*	10,2
	Station II Netz	18,50	8,75	0,55	0,0	17,0
	Station IV "	18,0	9,0	0,13	0,09	18,0
	Station V "	18,0	7,5	0,05	1,05	13,1
	Station VI "	17,75	8,5	0,45	0,0	12,9

* Neue Einstellung auf 14,3 cm³ Luft = 2,86 cm³ O₂/L.
Analysen des städtischen Laboratoriums Zürich

Aus den erwähnten Analysenwerten geht hervor, dass der vom Grundwasser aufgenommene Sauerstoff im Netz, speziell in der Nähe von Sackleitungen (Stationen II und VI) teilweise oder ganz aufgebraucht wird. Das Eisenlösungsvermögen und gewisse Reduktionserscheinungen sind an diesen Stellen noch nicht vollkommen verschwunden. Man erhöhte deshalb die Luftmenge, um eine raschere oxydative Zerstörung reduzierender Substanzen zu erreichen. Andererseits konnte das Verschwinden des eigenartigen Geschmacks und ein Rückgang des Eisengehaltes im Leitungswasser festgestellt werden. Tatsächlich schien nach geraumer Zeit die Kalamität behoben, die Eisenauflösung und Rostbildung unterbunden zu sein. Trotzdem blieb die Belüftung bis heute zeitweise in Anwendung, doch gestattete ein langsam sich einstellender, wenn auch geringer natürlicher Sauerstoffgehalt die Drosselung künstlicher Luftzufuhr bis zu einem gewissen Grade.

Indessen tauchten im Herbst desselben Jahres neue Klagen auf, die sich auf das gelegentliche Aus-treten gelbroter, vorwiegend schleimiger Massen und auf muffigen Geruch des Wassers bezogen. Auch hier wurden Endstränge mit schwacher Zirkulation und entsprechend stärkerer Erwärmung, vereinzelt jedoch ebenfalls durchgehende Leitungen sowie Quartiere, die bis dahin von der Kalamität gar nicht berührt worden waren, betroffen. In diesem Zusammenhang traten auch im Reservoir Scharten (Gegenreservoir) bis jetzt nie festgestellte Wucherungen auf. Die mikroskopische Untersuchung bot denn auch ein wesentlich anderes Bild, als die zu Beginn des Rostprozesses konstatierten Rostklumpen. Die Tatsache, dass ferner im Leitungsnetz ganz ähnliche Wucherungen auf der Innenseite der Röhren, die vorher einen derartigen Belag nicht aufwiesen, nachgewiesen werden konnten, sowie der Umstand, dass die ganze Erscheinung

erst *nach* der Belüftung des Grundwassers eintrat, legt die Vermutung nahe, dass es sich im vorliegenden Falle um eine ganz anders geartete, neue Entwicklungsphase handelt. —

Sofort einsetzende mikroskopische Untersuchungen der schleimigen, Eisenhydroxyd ähnlichen Ausscheidungen identifizieren diese als enorme Anhäufungen von Zellen eines schleimigen Bakteriums. Es handelte sich um eine in der Wasserbiologie bisher unbekannte eisenimprägnierte Zooglöawucherung, die als braunroter Belag die Innenfläche des Leitungsnetzes sowie die Reservoirekammern befallen hatte. In diesen konnte im Sommer 1935 eine ganz gewaltige Ansammlung dieser Wucherungen beobachtet werden; die Wasseroberfläche war bedeckt mit braunen Flocken, auf dem Grunde erschienen diese infolge Zersetzung schwarz. Nach ihrer Entfernung und intensiver Reinigung des Reservoirs trat die Zooglöa nach relativ kurzer Zeit wieder auf, sie wurde also aus dem Netz angeschwemmt.

Mikroskopisch betrachtet, zeigt das in schleimige Massen eingebettete, oft in mannigfachen Teilungsstadien auftretende Bakterium kugelförmige Gestalt. Die Grösse dieses Mikroorganismus, über dessen pflanzliche oder tierische Zugehörigkeit noch keine Klarheit herrscht, erreicht zwei bis drei Tausendstelmmillimeter. Die erzeugte Zooglöa kommt dadurch zustande, dass die äussern Partien der Zellen, die Membranen, verschleimen und dann infolge beträchtlicher Wasseraufnahme ausserordentlich stark quellen. Sie bilden jene voluminösen Flocken, die stellenweise an den Zapfhähnen austraten, oder, in Form grosser Watten abgetrieben, eine gewisse Verseuchung der Sammelbehälter im Reservoir zur Folge hatten. In die Vorratskammern versuchsweise eingehängte Schnüre wiesen im Verlaufe einiger Wochen einen schleimigen Besatz auf; bei dessen Untersuchung stellte es sich heraus, dass darin vorwiegend Kugelbakterien vorhanden waren, während in den eingeschwemmten Flocken jene als eigentliche Schädlinge zumeist reduziert oder sogar schon zerfallen waren. Indessen entdeckte man in diesen ein Gemisch verschiedener Mikroorganismen, wie Rhizopoden, Oligochäten, Wurzelfüssler u. a. m., die eine eigentliche Biozönose zu bilden schienen.

Die lästigen Erscheinungen hatten wesentlich vermehrte periodische Untersuchungen im Gefolge, die sich nicht nur auf die Grundwasserfassung, sondern auch über das gesamte Leitungsnetz mit seinen Nebenanlagen, wie auch den Stausee erstreckten. Man hoffte dadurch eventuelle Eigenheiten und die Ursache der Wucherungen erfassen zu können. Inten-

sive Forschungsarbeit des städtischen Laboratoriums Zürich unter zeitweiliger Mitwirkung des Institutes für spezielle Botanik, sowie der preussischen Landesanstalt für Wasser-, Boden- und Lufthygiene in Berlin-Dahlem haben zur einwandfreien Feststellung geführt, dass es sich bei der Kalamität hauptsächlich um eine Infektion durch *Azotobacter chroococcum* handelt. Da bis heute ähnliche Erscheinungen in Wasserversorgungen nirgends bekannt geworden sind, soll in diesem Zusammenhang etwas näher auf das erwähnte Bakterium eingegangen werden.

Azotobacter findet sich zu tausenden in der gewöhnlichen Ackererde. Es ist ein verhältnismässig grosser Organismus, der erstmals von Beyerinck gezüchtet und studiert worden ist. Roberg¹, der neben andern sich eingehend mit der Morphologie und Biologie des *Azotobacter* beschäftigte, teilt darüber folgendes mit:

Auf einer Nährlösung, die 0,02 g Kaliumphosphat (sek.), 2,0 g Mannit und 2 g Erde pro 100 cm³ Wasser enthielt, entwickelte sich eine zusammenhängende Decke von grauer, später nach braunschwarz umschlagender Farbe. Gasbildung und Geruch zeigten deutliche Buttersäuregärung an. Im mikroskopischen Bild war neben gewissen Begleitbakterien *Azotobacter chrooc.* zu erkennen. Morphologisch betrachtet, zeigt der aus Erdboden als Einzell-Kultur isolierte Stamm des Bakteriums nach Burri² auf agarhaltigem Nährboden gutes Wachstum. Die erhabenen Kolonien waren von kleisterartiger Konsistenz; sie zeigten mattes Aussehen. Mit zunehmendem Alter änderte sich deren Farbe bis dunkelbraun; Schleimbildung war, wenn auch nicht sehr beträchtlich, vorhanden. Unter dem Mikroskop konnte vielfach, besonders bei ältern Kulturen, ein grosser Formenreichtum beobachtet werden: Sarcinaformen, ovale bis längliche Stäbchen, Zellen mit wenig oder vielen, oft endständigen oder am Rande liegenden Körnchen.

Im Zusammenhang mit den Erscheinungen des Trinkwassers dürfte besonders das biologische Moment interessieren. Es ist nachgewiesen, dass *Azotobacter chroococcum* zu seiner Entwicklung ein sauerstoffhaltiges Medium benötigt, es ist also ganz typisch aerob. Notwendig für den Lebensprozess sind kohlenstoffhaltige Materialien (Kohlehydrate, Zellulose, Humus), ferner Kalk- und Phosphorverbindungen. Als Nährsubstanz im Wasser kommen die organischen Stoffe in Betracht. Das Bakterium gehört zu den nitrifizierenden Formen seiner Klasse,

d. h. es ist imstande, freien Stickstoff zu assimilieren.

Einen Hinweis auf die Möglichkeit symbiotischer Lebensweise des Bakteriums können wir in den Untersuchungen von Lippman, Teakle¹ und Schröder² erblicken. Sie zeigten, dass die den Chlorophyceae zugehörige Alge *Chlorella*, die sehr verbreitet ist, und deren grüne Zellen häufig im Plasma niederer Tiere (Infusorien, Hydra usw.) leben, zusammen mit *Azotobacter chroococcum* in einer kohlenstoffstickstofffreien Lösung wachsen, in welchem Substrat sonst jeder einzelne Organismus nicht gedeihen könnte. Das Bakterium verarbeitet die von der autotrophen Alge abgegebenen Kohlenstoffverbindungen, und *Chlorella* lebt auf Kosten des von *Azotobacter* fixierten Stickstoffs.

Ueber die Herkunft des Bakteriums und die Umstände, die eine derartige Wucherung im Wasserversorgungsnetz begünstigten, konnte bis heute eine einwandfreie Erklärung nicht gegeben werden. Man ist lediglich auf Vermutungen angewiesen. Auch chemisch liess sich eine primäre Ursache für die massenhafte Entwicklung nicht erfassen; es war lediglich festzustellen, dass im Wasser Stoffe, die zu irgendwelchen Befürchtungen Anlass geben könnten, nicht vorhanden sind.

Anfänglich glaubte man, dass dieses Kleinlebewesen dem Stausee entstamme, es konnte aber im Verlaufe gründlicher, vielseitiger Arbeiten, die sich sowohl auf das freie Wasser, als auch auf den Schlammbesatz des Seebeckens bezogen, in keinem Falle nachgewiesen werden. Zudem ergab die bakteriologische Untersuchung des Grundwassers, dass dieses praktisch keimfrei in die Fassung eintritt (vgl. Tabelle Nr. 3).

Tabelle 3

Datum	Entnahmestelle	Kolonien in 1 cm ³ W. nach 5 Tagen	Fäkalbakterien Titer	Temperatur in ° C.
3. 8. 34.	Pumpwerk T'hard	2	über 10	11,1
3. 8. 34.	Schartenbrunnen	8	über 10	13,9
5. 3. 35.	Pumpwerk T'hard	0	über 10	10,2
9. 7. 35.	Pumpwerk T'hard	1	über 10	12,4
9. 7. 35.	Schartenbrunnen	4	über 10	14,2
23. 8. 35.	Pumpwerk T'hard	5	über 10	12,2
12. 8. 36.	Pumpwerk T'hard	5	über 10	12,3

Aus diesen Zahlen geht hervor, dass die zwischen Stausee und Grundwasserfassung liegenden Schottermassen vollkommen keimdicht sind, so dass der Durchtritt eines so grossen Organismus wie *Azotobacter chrooc.* gar nicht denkbar ist.

¹ Roberg, Jahrbuch für wiss. Bot. 82, Heft 1 (1935).

² Burri, Das Tuscheverfahren (Jena 1909).

¹ Journ. of Gen. Physiol. 7, 509 (1925).

² Zentralbl. f. Bakteriologie. II. Abt. 85, 177 (1932).

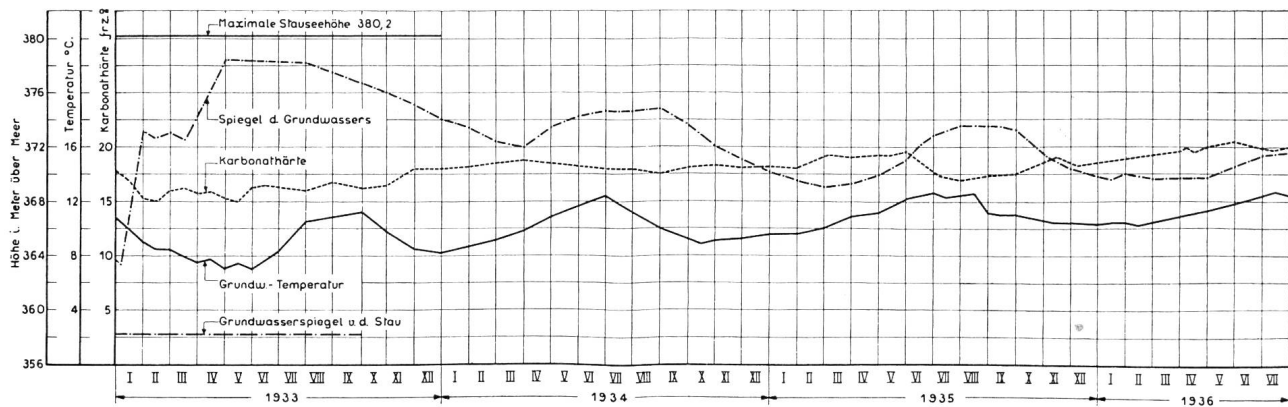


Abb. 7 Grundwasser-Pumpwerk Wettingen: Grundwasserspiegel, Temperatur und Karbonathärte.

Im weitem wurde die Möglichkeit des Eindringens des fraglichen Bakteriums durch den Zufluss der Wettingerquellen im Lägergebiet in Erwägung gezogen, da diese gewisse Mengen niederer Organismen führen. Eine derartige Beeinflussung durch Quellwasser ist aber nach meiner Ansicht praktisch ausgeschlossen, da sich solche Mißstände sicher schon bei früheren Kontrollen und Wasseranalysen hätten zeigen müssen. Ausschlaggebend dürfte vor allem noch sein, dass im alten Dorfteil jegliche Ausscheidung von Zoogloäfflocken und Wucherungen unterblieben sind, wie auch der Nachweis von Kugelbakterien in den Quellzuflüssen nicht gelungen ist.

So kann nur noch eine Einschleppung des Azotobacter im Pumpwerk selbst in Frage kommen. Bei lokalen Untersuchungen stellte es sich heraus, dass der Grundwasserpumpschacht bereits von dieser Bakterienflora befallen war. Diese fand sich an eingetauchten Schnüren in Form eines weisslichen Schleimes. Offenbar erfolgte von hier aus die Infektion des Leitungsnetzes, wobei seine teilweise etwas ungünstigen Verhältnisse die massenhafte Vermehrung und Ausbreitung der Kugelbakterie ganz wesentlich begünstigten. Sehr wahrscheinlich ist das Bacterium durch die Atmosphäre eingedrungen, sei es mit Spuren verschleppter Ackererde, wahrscheinlich aber mit der durch den Kompressor ins Grundwasser eingeführten Luft. In Berücksichtigung und Erwägung wissenschaftlich festgelegter Tatsachen und gemachter Beobachtungen kommt man zur Auffassung, dass durch die infolge Belüftung des Grundwassers in diesem bewirkte Sauerstoffkonzentration und Stickstoffanreicherung eine rege Entwicklung des Nitrobakteriums geradezu befördert worden ist. Das zeitliche Auftreten der Kalamität im Zusammenhang mit dem Einpressen von Luft scheint ein deutlicher Hinweis darauf zu sein.

Ueber die nähern Umstände, die eine derartige Entwicklung des sonst in Wasser nicht lebensfähigen Azotobacter, sowie die Zusammensetzung und Herkunft gewisser Stoffe, die in biologischer Hinsicht eine wesentliche Rolle spielen dürften, ist man völlig im unklaren. Ob man überhaupt im Laufe der Zeit zur einwandfreien Erklärung über die primären Ursachen der Wucherungserscheinungen kommen wird, scheint in Anbetracht der Kompliziertheit des Problems sehr fraglich. Offenbar spielen in Wettingen gewisse Faktoren zusammen, deren spezifische Wirkung möglicherweise zur typischen Kalamität führte. Es ist dies daraus zu schliessen, weil im Pumpwerk Baden-Aue, dessen Grundwasser die gleiche Zusammensetzung besitzt, solch ungünstige Auswirkungen bisher nicht in Erscheinung getreten sind.

Ein Vergleich zwischen den im Tägerhard-Wettingen und Baden-Aue durch periodische Untersuchungen des Grundwassers ermittelten Daten lässt sich wie folgt zusammenfassen:

1. Die Karbonathärte des an den genannten Stellen geförderten Grundwassers zeigt nur geringfügige Abweichungen, sie entspricht der eines mittelharten Trinkwassers.
2. Der Chloridgehalt zeigt bei beiden Wässern praktische Uebereinstimmung, er muss als normal bezeichnet werden.
3. Die Werte des Gehaltes an organischen Substanzen gehen nur wenig auseinander, sie bewegen sich innerhalb normaler Grenzen und entsprechen denen eines guten Grund- oder Quellwassers.
4. Trotz des beträchtlichen Sauerstoffgehaltes der Limmat ist bei beiden Grundwässern der natürliche Gehalt an gelöstem Sauerstoff äusserst gering, zeitweise konnte solcher überhaupt nicht nachgewiesen werden (vgl. Tabelle Nr. 4).

Sauerstoffarmut ist bekanntlich vielen, tiefgefassten, sog. gedeckten Grundwasserströmen eigen, was als durchaus normal angesehen werden kann.

Tabelle 4

Datum	Entnahmestelle	Alkalität frz. H°	Sauer- stoff cm ³ /L.	Sätti- gung in ‰	Tempe- ratur ° C.
5. 3. 36.	Pwk. Aue-Baden, Grdw.	16,45	0,0	0	13,4
5. 3. 36.	Limmatwasser Aue	—	6,26	68,0	5,2
1. 5. 36.	Pumpwerk Aue, Grdw.	16,30	0,08	1,09	12,7
1. 5. 36.	Limmatwasser Aue	—	7,86	93,88	7,5
12. 8. 36.	Pwk. Tägerhard-Wett.	20,0	1,00	13,3	12,3
12. 8. 36.	Pumpwerk Aue	16,6	0,0	0	10,3
12. 8. 36.	Limmatwasser Aue	—	5,81	87,05	17,5
30. 10. 36.	Pumpwerk Aue	16,50	0,20	2,79	10,4
30. 10. 36.	Limmatwasser Aue	—	6,88	83,3	7,9
27. 11. 36.	Pumpwerk Aue	17,55	0,60	8,8	10,6
27. 11. 36.	Limmatwasser Aue	—	6,72	78,3	6,5

Von grosser Bedeutung sind die Abwehrmassnahmen, auf die im folgenden noch kurz eingetreten werden soll.

Ohne erst die Resultate angestellter Versuche zur Vernichtung des *Azotobacter chroococcum* abzuwarten, schritt der Ersteller der Anlage zeitig zu praktischen Abwehrmassnahmen. Diese bestanden darin, dass das Grundwasser im Fassungs-schacht, sowie in der Einlaufkammer mittels des Chloraminverfahrens behandelt wurde. Um irgendwelchen Reklamationen der Abonnenten von vornherein zu begegnen, wurde die Dosierung des Chlors zusammen mit Ammoniak äusserst gering gewählt; dies bedingte aber eine entsprechende längere Behandlung der Wasserversorgungsanlagen. Auf diese Weise erreichte man eine Sterilisation des Wassers und langsame Vernichtung der Wucherungen. Unbestritten hat das Verfahren inzwischen seine günstigen Wirkungen nicht verfehlt; die lästigen Erscheinungen sind, wenn auch langsam, doch stetig zurückgegangen. Der Austritt der schleimigen Zoogloawatten hat seit geraumer Zeit aufgehört, lediglich macht sich an einzelnen Stellen des Netzes der muffige Geruch des Wassers noch geltend, was offenbar auf den Einfluss der zufolge Chloreinwirkung verwesenden organischen Substanzen zurückzuführen ist.

Von entscheidendem Einfluss für die Besserung der bestehenden Verhältnisse dürfte ferner die zunehmende Verschlammung der Stauseeufer sein, da hiedurch der Infiltrationsgrad wesentlich geändert

wird. In einer frühern Abhandlung¹ wurde darauf verwiesen, dass Ende August 1934 der Infiltrationsgrad von Fluss-(See-)Wasser in Grundwasser 80 % betrug, entsprechend einer Karbonathärte des letztern von 18 frz. Graden, und einem Glührückstand von 190 mg/L. Der Grundwasserstand bewegte sich in diesem Zeitpunkt auf einer Höhenkote von 375 m ü. M.

Bezüglich der durch den Aufstau der Limmat bedingten Schwankungen des Grundwasserspiegels sei auf die beiliegende graphische Darstellung verwiesen, in der auch die Temperaturverhältnisse, sowie die Alkalität (= vorübergehende Härte in frz. °) des Grundwassers berücksichtigt sind.

Aus den Kurven geht hervor, dass der Grundwasserspiegel gewissen wellenförmigen Schwankungen unterworfen ist; diese sind gekennzeichnet durch einen Hochstand im Sommer und einen Tiefstand gegen Ende des Winters. Indessen sind die Höchststände des Grundwasserspiegels seit 1933 stets etwas zurückgegangen. Während zu dieser Zeit das Grundwasser sich auf Kote 378,4 bewegte, senkte sich dessen Spiegel im Sommer 1934 auf 374,8, um schliesslich im Laufe des Monats Juli 1935 einen Stand von 373,4 m ü. M. zu erreichen. Anfangs September 1936 wurde die Höhenlage des Wasserspiegels bei Kote 371,70 festgestellt. Es zeigt sich somit die auffallende Tatsache, dass trotz der ziemlich konstanten Stauhöhe des Sees (380,4 m ü. M.) der Grundwasserspiegel im September vorigen Jahres um volle 5,65 m tiefer steht, als im gleichen Zeitraum des Jahres 1933, bzw. 6,70 m unter seinem maximalen Hochstand im Mai desselben Jahres.

Die Vermutung, dass diese Verhältnisse durch geringere Infiltration vom Stausee her bedingt werden, findet ihre Bestätigung im Härtegrad des Grundwassers. Während dieser im Jahre 1933 bis auf 15,5° (27. 2. 33) gesunken war, stieg er im Verlaufe von zwei Jahren, wenn auch mit kleineren Schwankungen, auf ca. 18,5 frz. °.

Diese Tatsachen lassen erkennen, dass das Grundwasser sich langsam wieder den ursprünglichen Verhältnissen nähert, wie sie vor dem Aufstau der Limmat bestanden haben. Die Annahme scheint berechtigt, dass nach kürzerer oder längerer Frist sich ein Normalzustand des Wassers einstellen wird, der die eigenartige, in ihrem Wesen vollkommen neue Kalamität vollends zum Verschwinden bringen wird.

¹ Wasser- und Energiewirtschaft, 27. Jahrg. Nr. 11 (1935).