

## Der Einfluß von Kraftwerkbauten auf die Eigenschaften des Grundwassers<sup>1</sup>

VON HERMANN MOHLER

Chemisches Laboratorium der Stadt Zürich

### Der Kreislauf des Wassers

Das auf der Erde vorhandene Wasser ist einem ständigen Kreislauf unterworfen. Aus den Meeren, Flüssen, Seen, Bächen und dem feuchten Erdboden verdunstet es unter dem Einfluß der Sonnenwärme fortgesetzt, steigt als Wasserdampf in die Atmosphäre, bildet Wolken, die durch die Winde in das Land hinein oder über dieses hinweg getrieben werden. Die verdunstete Wassermenge ist abhängig vom Feuchtigkeitsgrad der Luft, von der Temperatur und der Luftbewegung. So werden in nördlichen Gegenden jährliche Verdunstungshöhen<sup>2</sup> von etwa 300 mm, in Wüsten von über 2000 mm und in mittleren Breitengraden von rund 1000 mm gemessen.

Die Kondensation des verdunsteten Wassers erfolgt, wenn feuchte Luft unter ihren Taupunkt abgekühlt wird, und je nach dem Grad der Abkühlung kommt das Wasser als Rauheif, Eisregen, Hagel, Schnee oder Regen auf die Erdoberfläche zurück. Hier findet eine Dreiteilung statt: Ein Teil verdunstet sofort wieder, ein Teil fließt ab und bildet in Form der Bäche, Flüsse und Seen das Oberflächenwasser, das schließlich wieder zum Meere fließt und damit den Kreislauf beendet, um ihn bald wieder von neuem zu beginnen. Ein dritter Teil dringt in die Erdoberfläche ein, sinkt tiefer, bis auf eine undurchlässige Schicht, und liefert das Grund- und das Quellwasser. Wenn Regen auf normaldurchlässigen Boden niedergeht, beträgt das Verhältnis von verdunstetem zu abgeflossenem zu versickertem Wasser ganz angenähert 1:1:1, d. h. rund  $\frac{1}{3}$  verdunstet,  $\frac{1}{3}$  fließt ab und  $\frac{1}{3}$  versickert. Im allgemeinen beträgt jedoch die verdunstete Wassermenge, mit Einschluß der Verdunstung aus den Oberflächengewässern auf dem Wege vom Festland zum Meere, rund 50 %.

Die am Kreislauf beteiligten Wassermengen lassen sich zahlenmäßig nicht genau erfassen. Legen wir den vom Ozeanographen WÜST berechneten Jahresbetrag von 379 000 km<sup>3</sup> zugrunde<sup>3</sup>, so würde diese

Wassermenge, gleichmäßig über die ganze Erdoberfläche verteilt, eine Schicht von 75 cm ergeben, und eine Schicht von gleicher Höhe wie als Regen, Hagel und Schnee auf die Erde nieder. Dem Betrage der im Kreislauf des Wassers umgesetzten Wassermenge steht das Volumen der Meere von 1370 Millionen km<sup>3</sup> gegenüber, was einer über dem ganzen Erdball verteilten Wasserschicht von 2700 m entspricht, während das Wasser der Binnengewässer (Seen, Flüsse, Bäche u. a.) nur  $\frac{1}{5000}$  des Meeresvolumens beträgt. Die Eismassen der Erde werden 23 Millionen km<sup>3</sup> Wasser gleichgesetzt, und das in der Atmosphäre enthaltene Wasser schätzt man auf 13 000 km<sup>3</sup>.

Auch das Mengenverhältnis zwischen versickerndem und oberflächlich abfließendem Wasser ist nicht genau festzustellen. Für das Vorkriegsdeutschland (ohne Österreich) betrug die jährliche Gesamtniederschlagsmenge 325 Milliarden m<sup>3</sup> (mittlere Niederschlagshöhe 690 mm = 690 000 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/Jahr; Gesamtfläche 470 000 km<sup>2</sup>). Die Verdunstung aus den offenen Gewässern betrug 50 %, und von der Vegetation wurden 8 % verbraucht. Der Rest von rund 135 Milliarden m<sup>3</sup> versickerte und bildete das Grund- und das Quellwasser oder floß als Oberflächenwasser wieder dem Meere zu. Die Nutzbarmachung für die gesamte Wasserversorgung (in Leitungen) wurde auf 2,5 Milliarden m<sup>3</sup> geschätzt und beträgt demnach 0,8 % der gesamten Niederschlagsmenge. Davon entfallen nach SIERP<sup>2</sup> auf

Quellwasser	ca. 9 % = 225 Millionen m <sup>3</sup>
Grundwasser	ca. 77 % = 1925 Millionen m <sup>3</sup>
Oberflächenwasser	ca. 14 % = 350 Millionen m <sup>3</sup>

In der Schweiz werden nach der Statistik des Schweizerischen Vereins von Gas- und Wasserfachmännern von allen darin aufgeführten Wasserversorgungen, die etwa zwei Drittel der Bevölkerung beliefern, ca. 200 Millionen m<sup>3</sup> Wasser in ihr Versorgungsnetz abgegeben.

Für das Ergolzthal, dem kein Fremdwasser zufließt und wo das Grundwasser nur durch Regenwasser gebildet wird, hat W. SCHMASSMANN<sup>4</sup> folgende ungefähre Bilanz der verfügbaren Wassermengen aufgestellt (Tab. 1).

<sup>4</sup> Die Ziele und Wege wasserwirtschaftlicher Planung in Basel-Land, Schweiz. Techn. Z. 44, Nr. 22/23 (1947).

<sup>1</sup> Nach einem Vortrag, gehalten im Rahmen der «Akademischen Vorträge der Universität Basel» am 8. Februar 1949.

<sup>2</sup> Die auf einer Fläche verdunstete Wassermenge; vgl. F. SIERP, Trink- und Brauchwasser, Handb. Lebensmittelchem. VIII, 1. Teil, S. 1, Berlin 1939.

<sup>3</sup> Vgl. O. LÜRSCHG, Der Kreislauf des Wassers, Ciba-Z. 9, 3898 (1947).

T a b. 1

	Millionen m <sup>3</sup> (runde Werte)
Mittlere jährliche Niederschlagsmenge (Einzugsgebiet 270 km <sup>2</sup> ) . . . . .	296
Abfluß (Oberflächenwasser, Quellwasser und Grundwasseraufstöße) . . . . .	130
Differenz (= Betrag für Gebietsverdunstung und unterirdischer Abfluß) . . . . .	166
Gebietsverdunstung (etwa 45 % der Niederschlagsmenge) . . . . .	133
Differenz := mittlerer jährlicher unterirdischer Abfluß (22 km <sup>2</sup> Fläche) . . . . .	33
Jahreserguß sämtlicher Quellen des Ergolztales (inkl. Pratteln) . . . . .	6
Gepumptes Grundwasser . . . . .	2,5

Die gesamten Quell- und Grundwassermengen des Ergolztales entsprechen somit etwa 11 % der mittleren Niederschlagsmenge, und davon werden etwa 25 % für die Wasserversorgung genutzt, wobei das Grundwasser schon ohne Nutzung in regenlosen Perioden ein tägliches Absinken des Spiegels von 2–3 cm erfährt und deshalb nicht in seiner ganzen Menge zur Verfügung steht.

Das als Quell- oder Grundwasser durch den Menschen dem Kreislauf entzogene Wasser gelangt, soweit es nicht verdunstet, als Abwasser in die Vorfluter (Seen, Flüsse, Bäche) und mit diesen in die Meere und schließt damit den Kreislauf ab.

### Grundwasser

Insbesondere interessieren wir uns für das Grundwasser, welches als Begriff noch keine allgemein anerkannte Definition besitzt. Von J. HUG<sup>5</sup> wird als Grundwasser «alles unter der Erdoberfläche vorhandene Wasser» definiert, während mit Quelle die Stelle bezeichnet wird, «wo das Grundwasser an die Oberfläche kommt» bzw. «der Grundwasserspiegel die Terrainoberfläche» schneidet. Nach der anderen Auffassung ist Grundwasser «unterirdisches Wasser, das durch Schachtung oder Bohrung erschlossen und durch menschliche, tierische oder motorische Kraft dem Gebrauch zugeführt wird»<sup>6</sup>. Im Kanton Basel-Land z. B. wird im Gegensatz zu Grundwasser in der volkstümlichen Sprache natürlicherweise, also mit Eigengefälle zutage tretendes Wasser der diluvialen Schotter oder der zerklüfteten Gesteine der Talsohlen (Grundwasseraufstöße) und der hochgelegenen eiszeitlichen Schotter als «Quelle» bezeichnet<sup>6</sup>. W. SCHMASSMANN<sup>6</sup> schlägt daher folgende Definition des Grundwassers vor: «Unter Grundwasser ist alles

<sup>5</sup> Die wichtigsten Typen der ausnützaren Grundwassergebiete der Schweiz, Monats-Bull. Gas- u. Wasserf. 18, Nrn. 2–8 (1928).

<sup>6</sup> Der Schutz des Grundwassers, Straße u. Verkehr 30, Nr. 4 (1944).

im Untergrund der Talsohlen und das in den hochgelegenen Schottern vorkommende Wasser zu verstehen.» Nach dem Schweizerischen Lebensmittelbuch<sup>7</sup> fallen unter «Grundwasser nur diejenigen Wasser, welche in den diluvialen und alluvialen Ablagerungen früherer oder zurzeit bestehender Flußtäler unterirdisch vorhanden sind und zum Zwecke der Nutzbarmachung zur Wasserversorgung meistens mechanisch gefördert werden müssen». Die Diskussionen über den Begriff des Grundwassers sind rein rechtlicher Natur, denn substantiell besteht zwischen «Grundwasser» und «Quelle» kein Unterschied; in beiden Fällen handelt es sich um Durchgangsformen des Niederschlagswassers, das durch Wechselwirkung mit dem Boden verändert wurde und sich im Kreislauf vom Meer zum Festland und wieder zurück zum Meer befindet.

Ohne uns für die eine oder andere Auffassung festzulegen, bezeichnen wir mit Grundwasser Wasser, das sich in einem Träger aus porösem Material von solcher Durchlässigkeit ansammelt, daß das Wasser darin unterirdisch fließen kann. Diese Bedingung ist in der Schweiz im besonderen bei den fluvioglazialen Schottern erfüllt, die meist auch Sand führen, der für Filtration des Wassers sorgt. In solchen Schottern versickern die Niederschläge oder das seitlich aus Bächen und Flüssen einströmende Wasser, durchfließen die etwa einen Viertel des Raumes ausmachenden Poren langsam und werden auf diesem Wege filtriert. Ein solches Wasser ist praktisch keimfrei.

Die Grundwasserströme der Schweiz sind bis zu einigen Kilometern breit und die wasserführende Schicht der Grundwasserträger erreicht vierzig und mehr Meter Mächtigkeit. Über das Grundwasserstromnetz der Schweiz gibt die Karte von J. HUG<sup>8</sup> Auskunft, während die Grundwasservorkommen im Kanton Basel-Land in der Karte von W. SCHMASSMANN<sup>6</sup> dargestellt sind.

### Zusammensetzung des Grundwassers

Die Niederschläge entziehen der Luft Stickstoff, Sauerstoff und Kohlensäure sowie anorganische und organische Verunreinigungen, insbesondere Ammoniak, nitrose Gase, schweflige Säure, Schwefelsäure, Staub und Organismen, so daß auf die Erde gelangendes Wasser bereits nicht mehr die Eigenschaften von destilliertem, d. h. verdunstetem Wasser aufweist. Im Vordergrund steht die Gasabsorption, die dem Gesetz von HENRY-DALTON folgt, wonach die in einer Flüssigkeit gelöste Gasmenge dem Partialdruck des Gases proportional ist. Schließlich wird ein Gleichgewichtszustand erreicht, der nach

<sup>7</sup> Vierte Auflage (1937).

<sup>8</sup> Die Grundwasservorkommnisse der Schweiz, Bd. III, Annalen der Schweizerischen Landeshydrographie, Bern 1918.

BLEIBEN durch den Absorptionskoeffizienten ( $\alpha$ ) definiert wird, worunter man das Volumen (in  $\text{cm}^3$ ) versteht, das die bei  $t^\circ$  in 1  $\text{cm}^3$  Flüssigkeit gelöste Gasmenge (reduziert auf Normalbedingungen:  $0^\circ$  und 760 mm Hg) einnimmt, wenn der Partialdruck des Gases 760 mm beträgt<sup>10</sup>.

Für die drei wichtigsten Luftbestandteile sind die Absorptionskoeffizienten für Wasser bei  $0^\circ$  ( $\alpha_0^\circ$ ) in Tab. 2 zusammengestellt.

Tab. 2

$\text{O}_2$	0,0480
$\text{N}_2$	0,0235
$\text{CO}_2$	1,7130

Die Verschiedenartigkeit der Absorptionskoeffizienten der wichtigsten Luftbestandteile hat zur Folge, daß in Wasser gelöste Luft anders zusammengesetzt ist als die atmosphärische Luft, im besonderen weist sie etwa 50mal mehr Kohlensäure auf und ist auch an Sauerstoff stark angereichert (Tab. 3, runde Werte).

Tab. 3

Volumenwert	Atmosphärische Luft	In Wasser gelöste Luft
$\text{O}_2$	21	35
$\text{N}_2$	78	63
$\text{CO}_2$	0,03	1,7

Das an Kohlensäure und Sauerstoff angereicherte Wasser dringt nun in die Erdoberfläche ein und steht hier in Wechselbeziehung mit der Luft im Humus, die infolge der in der Erde vor sich gehenden biologischen Vorgänge bedeutend mehr Kohlensäure aufweist als die atmosphärische Luft, und entsprechend ist der Partialdruck erhöht, so daß in die Erde eindringendes Wasser eine weitere Anreicherung an Kohlensäure erfährt. Diese Tatsache ist von grundlegender Bedeutung.

Die Einwirkung des Wassers auf den Boden ist zweifacher Art: 1. physikalisch (Temperaturschwankungen und Oberflächenvergrößerung des gefrorenen Bodens), 2. chemisch durch Lösungsvorgänge und Wechselwirkungen. Vor allem vertiefen wir die chemische Seite. Durch direkte Lösung gelangen besonders Chloride der Alkalien und des Magnesiums sowie Nitrate, Nitrate, Phosphate, Sulfate, Iodide u. a. ins Wasser. Auf den Gashaushalt des Wassers werden wir noch besonders zu sprechen kommen, und wir wenden uns zunächst kurz der bakteriologischen Frage zu.

Es ist durchaus verständlich, daß durch das Eindringen von Oberflächenwasser in den Grundwas-

serträger, welchen Vorgang wir als «Infiltration» bezeichnen, pathogene und nichtpathogene Bakterien in das Wasser eingeschleppt werden können, die bei der Förderung des Wassers für Trinkzwecke die Gesundheit des Menschen gefährden würden<sup>11</sup>. Im allgemeinen ist diese Gefahr wegen der in unserer Gegend sehr guten Filterwirkung des Grundwasserträgers, die meist schon nach einigen Metern Durchfluß bakteriologisch einwandfreies Wasser liefert, nicht sehr groß. So wurden bei der Erschließung des Grundwasserfeldes Hardhof für die Wasserversorgung der Stadt Zürich durch Zuleiten von Wasser aus dem Abwasserkanal auf den Rasen und in ausgehobene Gruben in 10 m Abstand um die Grundwasserhöhung Infektionsversuche in großem Maßstab vorgenommen. Ein Einfluß zeigte sich nur von der einen Seite her durch erhöhte Keimzahl und geringes Sinken des Colititers an, während von der anderen Seite überhaupt keine bakterielle Veränderung festgestellt werden konnte<sup>12</sup>. In einem andern Fall wurde jedoch bei einem Pumpversuch in einer Tiefe von etwa 20 m und einer Überdeckung mit 15 m feinem Sand noch vereinzelte Darmbakterien festgestellt, die aus 100–200 m entfernten undichten Jauchegruben stammten<sup>13</sup>. Die Versickerung von Abwasser in Grundwassergebieten ist jedenfalls gefährlich und sollte grundsätzlich untersagt werden<sup>14</sup>. Immerhin läßt sich das Gefahrenmoment weitgehend überblicken, so daß die Erzielung bakteriologisch einwandfreien Grundwassers, auch im Falle der Infiltration, heute technisch kein unlösbares Problem mehr darstellt<sup>15</sup>.

Wichtiger und schwerwiegender ist die Frage nach der Veränderung im Gashaushalt von Grundwasser, das durch starke Infiltration beeinflusst wird, und hier stehen Kohlensäure und Sauerstoff, deren Besprechung wir uns nun zuwenden, im Vordergrund.

Kohlensäure. Ein in den Boden eindringendes Wasser wird, wie gezeigt wurde, beim Durchgang durch den Humus infolge der daran sich abspielenden biologischen Vorgänge an Kohlensäure angereichert, und das Wasser wird aggressiv, d. h. es zeigt Neigung zum Angriff auf anorganische feste Stoffe. Wir berücksichtigen zuerst die Erdalkalicarbonate. Auf diese wirkt es bis zur Errei-

<sup>10</sup> Vgl. H. MOHLER, Chemische und bakteriologische Trinkwasseruntersuchung, Monats-Bull. Gas- u. Wasserf. 16, 209 (1936).

<sup>11</sup> O. LOSCHER, Bericht vom 30. Juli 1933 über die Beschaffung weiteren Grundwassers für die Stadt Zürich.

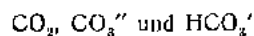
<sup>12</sup> M. STAB, Jahresbericht des kantonalen Laboratoriums Zürich über das Jahr 1946.

<sup>13</sup> Beispielsweise zeigte sich im Birseck eine qualitative Beeinträchtigung des Grundwassers durch Abwasserversickerung in den Untergrund; vgl. H. SCHMASMANN, Schweiz. Techn. Z. 44, Nr. 22/23 (1947).

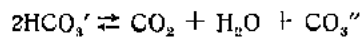
<sup>14</sup> H. MOHLER, Hygienische und chemische Fragen der Wasserversorgung bei einem Luftangriff, Monats-Bull. Gas- u. Wasserf. 25, 86 (1945).

<sup>1</sup> In gleicher Weise ist der Löslichkeitskoeffizient definiert, mit dem Unterschied, daß er sich nicht auf trockenes Gas, wie der Absorptionskoeffizient, sondern auf feuchtes Gas bezieht.

chung eines Gleichgewichtes, des «Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes», ein und verliert dabei die aggressiven Eigenschaften. In einer solchen wäßrigen  $\text{CO}_2$ -Lösung treten auf:

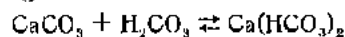


die sich in folgendem Gleichgewicht befinden:



Diese Gleichung läßt erkennen, daß in einer Lösung von  $\text{HCO}_3'$  eine bestimmte Menge  $\text{CO}_2$  zur Aufrechterhaltung des Gleichgewichtes notwendig ist, so daß man sie vollständiger durch die Gleichung

$\text{CaCO}_3 + n\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Ca}^{++} + 2\text{HCO}_3' + f(n)\text{CO}_2$  ausdrückt. In dieser Gleichung bedeutet  $f(n)\text{CO}_2$  die im Gleichgewicht notwendige Menge Kohlensäure. Sie ist eine Funktion der anfänglich vorhandenen Kohlensäure ( $n\text{CO}_2$ ) und wird nach TILLMANS als «zugehörige» Kohlensäure bezeichnet<sup>15</sup>, während eine allfällig darüber hinaus vorhandene Menge die «aggressive» Kohlensäure darstellt. Der Sinn obiger Gleichungen ist folgender: Reines  $\text{CO}_2$ -freies Wasser löst bei 10° etwa 20 mg  $\text{CaCO}_3$  im Liter. Kommen Kalk und Kohlensäure im Wasser zusammen, so steigt die Löslichkeit stark an. Unter dem Partialdruck der atmosphärischen Kohlensäure und bei 10° löst Wasser etwa 1,2 mg/l  $\text{CO}_2$  auf. Dies ist nach der Gleichung



unverständlich, denn es besteht die Beziehung

$$100 : 62 = x : 1,2,$$

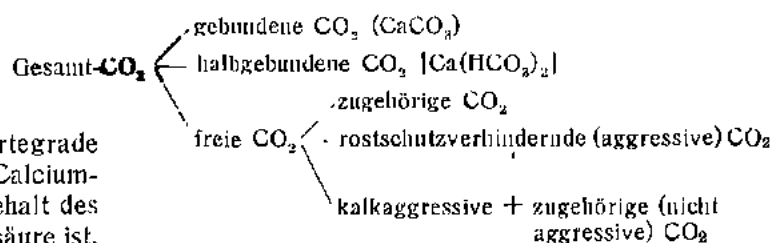
d. h. es sollten nur rund 2 mg/l  $\text{CaCO}_3$  in Lösung gehen. Die richtigen Verhältnisse erhält man, wenn berücksichtigt wird, daß auch eine kalkhaltige Lösung noch soviel freie Kohlensäure enthält, als dem Partialdruck der atmosphärischen Kohlensäure entspricht. Daher ist der Betrag von 1,2 mg/l auf der rechten Seite der Gleichung für  $f(n)\text{CO}_2$  einzusetzen, und es ergibt sich, daß diese Menge 73 mg/l  $\text{CaCO}_3$  in Lösung hält.

Durch die Auflösung von Carbonaten wird das Wasser hart, und je mehr Carbonate darin gelöst sind, um so härter ist das Wasser. In der Schweiz drückt man die Härte durch französische Härtegrade (fr.°) aus, wobei 1 Härtegrad 10 Milligramm Calciumcarbonat im Liter entspricht. Da der Kalkgehalt des Wassers eine Funktion der gelösten Kohlensäure ist, die wiederum vom Partialdruck der Kohlensäure der das Wasser umgebenden Luft abhängt, zeigt das Oberflächenwasser der ganzen Schweiz ungefähr die gleiche Härte. Sie sollte ca. 7 fr.° betragen; daß sie 10—15 fr.° beträgt, hängt mit nachfolgenden Über-

legungen zusammen. Ein Wasser von 10—15 fr.° wird als «weiches» Wasser bezeichnet.

Infolge des erhöhten Partialdruckes der Kohlensäure in der Bodenluft nimmt das Wasser mehr von diesem Gas auf und hält eine größere Menge gelösten Kalkes im Gleichgewicht als ein Wasser, das mit der Kohlensäure der Atmosphäre im Gleichgewicht steht. Kann nicht genügend Kalk (oder Magnesiumcarbonat) gelöst werden, so weist das Wasser überschüssige Kohlensäure auf, die gegen Baumaterialien, Rohrleitungen und schon gegen den Grundwasserträger aggressiv sein kann. Bei der Aggressivität sind nun zwei Fälle zu unterscheiden: Die Angriffslust gegen Kalk (oder Baumaterialien im allgemeinen) und die Angriffslust gegen Metalle, insbesondere Eisen und Mangan.

Beim Angriff kohlensäurehaltigen Wassers auf den Kalk von Baumaterialien steigt der Gehalt an gelöstem  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ , und damit das neu gelöste Bicarbonat in Lösung bleibt, sind weitere Mengen freier Kohlensäure für das Gleichgewicht nötig, so daß nur ein Teil der überschüssigen Kohlensäure als «aggressive» Kohlensäure in Rechnung gestellt werden darf. Ein im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht befindliches Wasser bildet (bei Anwesenheit von Sauerstoff) allmählich eine Schutzschicht aus Calciumcarbonat und Eisenverbindungen aus, die deshalb als «Kalk-Rostschutz-Schicht» bezeichnet wird. Die Bildung dieser Schicht unterbleibt, wenn das Wasser außer der zugehörigen noch überschüssige freie Kohlensäure enthält. Die überschüssige Kohlensäure verhindert die Entstehung der Kalk-Rostschutz-Schicht. Unter «rostschutzverhindernder» Kohlensäure versteht man daher den gesamten Überschuß an freier Kohlensäure über die zugehörige freie Kohlensäure hinaus. Die Kohlensäure eines Wassers mit Einschluß der in Form von Kalk gebundenen oder in Form von Bicarbonat halbgebundenen Kohlensäure läßt sich daher folgendermaßen untergliedern:



Die Aggressivität eines Wassers ist in erster Linie abhängig von der Wasserstoffionenkonzentration und sie ist in zweiter Linie eine Funktion des Bicarbonatgehaltes, denn der Gehalt an freier Kohlensäure muß, damit ein Angriff entsteht, um so größer sein, je mehr Bicarbonat vorhanden ist. Nach STROHECKER läßt sich der pH-Wert berechnen, welchen das Wasser im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht aufweisen

<sup>15</sup> TILLMANS verwendet statt « $f(n)\text{CO}_2$ » den Ausdruck « $(n-1)\text{CO}_2$ »; vgl. L. MINDER, Wissenschaftliche Vorträge zum Grundwasserwerk Hardhof der Stadt Zürich, Vjschr. Naturf. Ges. Zürich 82, 337 (1937).

würde. Daneben wird der wirkliche pH-Wert experimentell bestimmt<sup>16</sup>. Besteht zwischen berechnetem und bestimmtem pH keine Differenz, so ist das Wasser im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht und es zeigt keine Aggressivität. Eine negative Differenz spricht für ein unter dem Gleichgewicht stehendes Wasser, das ebenfalls nicht aggressiv ist, jedoch zur Kalkausscheidung neigt.

Eine andere Methode zur Prüfung der Frage, ob ein Wasser aggressiv ist, beruht auf der Bestimmung derjenigen Menge von reinem Calciumcarbonat, die das Wasser zu lösen vermag (Marmorlösungsversuch nach HEYER).

Bei allen diesen Verfahren, die in der Arbeit von H. MOHLER und J. HARTNAGEL<sup>16</sup> behandelt worden sind, spielt die freie Kohlensäure eine dominierende Rolle.

Noch komplizierter sind die Verhältnisse bei der Aggressivität des Wassers gegen Metalle, insbesondere gegen Eisen und Mangan. Auch dieses Problem wurde in der Arbeit von H. MOHLER und J. HARTNAGEL<sup>16</sup> eingehend erörtert und gezeigt, daß die Verhältnisse verschieden sind, je nachdem, ob das Wasser sauerstofffrei ist oder ob es Sauerstoff führt. Im ersten Fall ist der pH-Wert entscheidend, und schon bei einem Wert von 7,5 bis 7,7 kann Eisenlösung eintreten; bis pH = 7 ist der Angriff nur schwach, bei einem pH-Wert unter 7 tritt er stark auf. In diesen Fällen wird das Eisen in der Regel flächenhaft angegriffen.

**Sauerstoff.** Bei Anwesenheit von Sauerstoff ist zu unterscheiden, ob das Wasser im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht ist oder ob es überschüssige Kohlensäure aufweist. Im ersten Fall wird die erwähnte, aus Calciumcarbonat und Eisen(III)-oxyd bestehende Kalk-Rostschutz-Schicht gebildet, für deren Entstehung nicht nur ein Gleichgewichtswasser, sondern auch eine genügende Sauerstoffsättigung erforderlich ist. Nach L. W. HAASE<sup>17</sup> sollte ein Leitungswasser mindestens 7,8 mg/l Sauerstoff aufweisen. HJ. SCHMASSMANN<sup>18</sup> verlangt sogar mehr als 80 % der Sättigung. Beim Auftreten von freier Koh-

lensäure im Überschuß wird die Ausbildung der Kalk-Rostschutz-Schicht verhindert und Eisen dem Angriff ausgesetzt. Die Eisenabtragung ist hier meist örtlich begrenzt und geht in die Tiefe.

**Metall-Lösung.** Die Löslichkeit von Eisen und Mangan durch natürliche Wässer ist von den Löslichkeitsprodukten der in Frage stehenden Verbindungen und den Redoxpotentialen der Systeme Fe(II)/Fe(III) und Mn(II)/höherwertiges Mangan abhängig. Dieser Fragenkomplex ist von verschiedenen Autoren zusammenfassend dargestellt worden<sup>19</sup>, so daß wir uns auf die Wiedergabe der wesentlichen Folgerungen beschränken dürfen.

Wenn Eisen gelöst bleiben soll, muß das Wasser sauerstofffrei sein, damit die Oxydation Fe(II) → Fe(III) nicht stattfinden kann, denn die Löslichkeit von Oxyd- bzw. Hydroxydverbindungen des Fe(III) ist so gering, daß sie höchstens in kolloidalem Zustand vom Wasser mitgeführt werden können. Beim Auftreten von aggressiver Kohlensäure und Sauerstoff in einem natürlichen Wasser kann daher wohl Eisenlösung stattfinden, das gelöste Eisen wird jedoch infolge der Oxydation sofort ausgeschieden. In sauerstofffreiem Wasser ist das Eisen immer als Fe(II) vorhanden. Die Normalpotentiale von Mn/Mn<sup>++</sup> und Fe/Fe<sup>++</sup> sind -1,1 bzw. -0,04 Volt (bezogen auf die Normal-Wasserstoffelektrode = 0,0 Volt). Mangan kann somit leichter in Lösung gehen als Eisen. Bei der Oxydation des Eisens ist hingegen die Wärmelösung größer als beim Mangan, so daß Eisen in Gegenwart von Mangan vor diesem oxydiert und entsprechend dem Löslichkeitsprodukt sofort wieder ausgefällt wird. Mn(II) ist folglich im Wasser stabiler als Fe(II). Die Ausfällung von höherwertigen Eisen- und Manganverbindungen ist rein physikalisch-chemischer Art, sie kann aber durch Mikroorganismen beschleunigt werden. Das Löslichkeitsprodukt des Mn(II)S hat einen wesentlich kleineren Wert als Fe(II)S ( $7 \cdot 10^{-16}$  gegen  $3,7 \cdot 10^{-19}$ ), weshalb Fe(II)S zuerst ausfällt.

Diese Tatsachen ergeben für die Wasserversorgung den wichtigen Schluß, daß ein Gleichgewichtsgewässer (ohne aggressive Kohlensäure) durch Sauerstoffverlust metallaggressiv werden kann, wobei Mangan im allgemeinen leichter angegriffen wird als Eisen, sofern es im Grundwasserträger oder im Baumaterial

<sup>16</sup> Der pH-Wert läßt sich aus freier Kohlensäure, Bicarbonatkohlensäure und der Dissoziationskonstante der Kohlensäure berechnen; vgl. die zusammenfassende Darstellung von H. MOHLER und J. HARTNAGEL, Neuere Ansichten über die Aggressivität des Wassers, mit praktischen Beispielen, Monats-Bull. Gas- u. Wasserf. 19, 121, 147 (1939). Nach HJ. SCHMASSMANN, Schweiz. Arch. 13, 275 (1947), und 14, 144 (1948), sinkt der pH-Wert eines Wassers bei gegebenem Gehalt an freier Kohlensäure und Bicarbonatkohlensäure pro Grad Temperaturerhöhung um etwa 0,007 Einheiten, infolge der Temperaturabhängigkeit der Dissoziationskonstante der Kohlensäure.

<sup>17</sup> Zitiert nach H. HAUPT, Rohrschutz durch Trinkwasserentsäuerung, Gesundheits-Ing. 64, 333 (1941).

<sup>18</sup> Die chemisch-technologische Beurteilung natürlicher Wasser hinsichtlich ihrer Aggressivität auf Eisen und Mangan, Schweiz. Arch. 14, 169 (1948).

<sup>19</sup> Vgl. zum Beispiel H. MOHLER und J. HARTNAGEL, l. c.; W. EISELNE, Physikalisch-chemische Betrachtungen einiger Probleme des limnischen Mangan- und Eisenkreislaufes, Verh. Int. Ver. theor. u. angew. Limnol. VIII, 69 (1937); W. EISELNE, Versuch einer Theorie der Dynamik der Mangan- und Eisenschichtung im eutrophen See, Naturw. 28, 257, 280 (1940); C. R. BAIER, Natürlich versickertes und künstlich angereichertes Grundwasser, Gesundheits-Ing. 66, 30 (1943); HJ. SCHMASSMANN, Die chemisch-technologische Beurteilung natürlicher Wässer hinsichtlich ihrer Aggressivität auf Eisen und Mangan, Schweiz. Arch. 14, 169 (1948).

überhaupt auftritt, und daher als störender Faktor im Wasser vielfach zuerst und allein erscheint. Bei Anwesenheit von Schwefelwasserstoff wird Eisen vor dem Mangan ausgefällt.

Wenn wir die vorstehenden Ausführungen überblicken, so stehen, abgesehen von den hygienischen Bedingungen (praktische Keimfreiheit, hoher Colititer, Abwesenheit von chemischen Verunreinigungsindikatoren), die erfüllt sein müssen, für die Beurteilung von Grundwasser freie Kohlensäure und Sauerstoff im Vordergrund. Ein gutes Grundwasser zeigt ferner eine konstante, der mittleren Jahrestemperatur entsprechende Temperatur und eine ebenfalls konstante Carbonathärte. Wesentliche zeitliche Schwankungen bei diesen beiden Größen sprechen für starke Infiltration. In neuerer Zeit wurde in dieser Richtung besonders das Grundwasser in der Nähe der Stauseen von Wettingen und Klingnau studiert, und es wurden einige neue Erkenntnisse gewonnen.

### Grundwasserveränderungen in Wettingen

Am 23. November 1932 wurde die Limmat zum Betrieb eines von der Stadt Zürich bei Wettingen im Kanton Aargau erstellten Kraftwerkes um 13 m aufgestaut, und dadurch gelangte eine Reihe am alten Flußlauf liegender Grundwasserpumpwerke unter den Spiegel des Stausees (Abb. 1). Für diese Anlagen mußte die Stadt Zürich Ersatz beschaffen, so auch

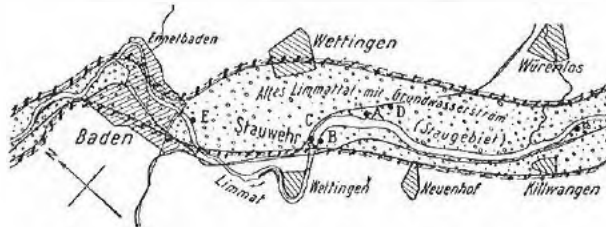


Abb. 1. Kartenskizze der Schotterauffüllung mit dem Grundwasserstrom von Killwangen bis Baden. Aus J. HUG, Untersuchungen über Abdichtungserscheinungen im Staugebiet des Kraftwerkes Wettingen, I. c. A—F: Grundwasserbeobachtungsstellen

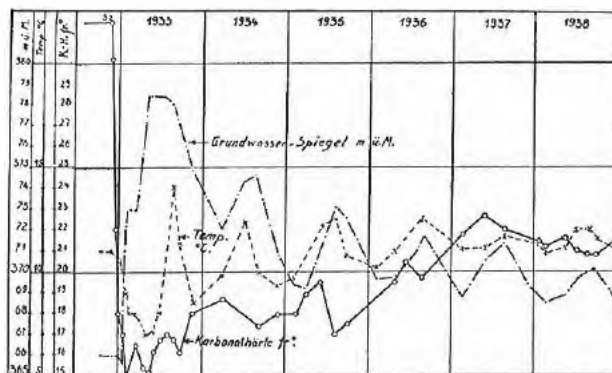


Abb. 2. Grundwasserwerk Wettingen. Temperatur-, Härte- und Grundwasserspiegelkurven. Aus H. MOHLER und J. HARTNAGEL, I. c.

für Wettingen. Im neuen Pumpwerk dieser Gemeinde, dessen relativ hartes Wasser sich ursprünglich im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht befand und reichlich Sauerstoff aufwies, beobachtete man parallel mit dem Aufstau ein starkes Ansteigen des Grundwasserspiegels und ein erhebliches Sinken der Carbonathärte, während die Wassertemperatur großen Schwankungen unterworfen war (Abb. 2). Das Sinken der Carbonathärte spricht für das Eindringen von gewaltigen Wassermassen aus dem Stausee, dessen Wasser als Oberflächengewässer sehr weich ist, in den Grundwasserträger, wodurch vorher durchlüftete und trockene Schottermassen unter Wasser gesetzt wurden.

Anfangs des Jahres 1934 beklagte sich die Bevölkerung von Wettingen darüber, daß das von verschiedenen Stellen dem Leitungsnetz entnommene Wasser sich nach kurzer Zeit braun färbte, einen rostfarbenen Bodensatz bilde, unangenehm rieche und adstringierend, tintenartig schmecke. Die eingehende chemische Untersuchung durch das Chemische Laboratorium der Stadt Zürich<sup>20</sup> ergab im Gegensatz zu früher nun ein vollkommen sauerstoffreies Wasser, das das Eisen der Leitungen als Eisen(II)-carbonat auflöst, welches in Berührung mit Luft in Eisen(III)-carbonat übergeht, das leicht in Eisen(III)-oxyd (Rost) und Kohlensäure zerfällt. Damit wurden die zu ernsthaften Klagen Anlaß gehende Braunfärbung und Niederschlagsbildung verständlich, und wie diese Erscheinungen war auch der adstringierende Geschmack des Wassers auf das im Leitungswasser gelöste Eisen zurückzuführen.

Im übrigen befand sich das Wasser im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht, war folglich frei von aggressiver Kohlensäure, und die erste Sanierungsmaßnahme bestand lediglich darin, den fehlenden Sauerstoff durch Einleiten von Luft bis auf den Grund des Pumpschachtes zu ersetzen<sup>21</sup> (Abb. 3). Nachdem im Wasser des ganzen Leitungsnetzes wieder Sauerstoff vorhanden war, hörte die Eisenlösung auf und es verschwanden die damit zusammenhängenden Nachteile.

Parallel zur Eisenlösung (vielleicht dieser vorangehend) trat in den Leitungen des Wassernetzes von Wettingen der schleimige Belag einer Kugelbakterie (*Zoogloea*) auf, der dem Wasser den zugefügten Sauerstoff, insbesondere in den Endsträngen, wieder entzog und die Sanierungsmaßnahmen gefährdete. Wie O. JAAG im Experiment nachwies, ist die Bakterienvegetation der *Zoogloea* tatsächlich sauerstoffhungrig. Diese *Zoogloea* wurde mit Erfolg durch Chlorung des Wassers bekämpft.

<sup>20</sup> H. MOHLER und J. HARTNAGEL, Neuere Ansichten über die Aggressivität des Wassers, mit praktischen Beispielen, Monats-Roll. Gas- u. Wasserl. 19, 121, 147 (1939)

<sup>21</sup> Die technische Anstufung erfolgte durch die Organe der Wasserversorgung der Stadt Zürich.



rungen verursacht wie Eisen, schon im Grundwasser auftrat und nicht wie das Eisen erst aus der Leitung herausgelöst wurde, konnten diese Verhältnisse weder durch Belüftung noch durch Chlorung oder durch beide Maßnahmen zusammen behoben werden. Hier wäre nur durch eine Entmanganungsanlage, durch die das geförderte Wasser vor der Abgabe in das Leitungnetz geführt wird, Abhilfe möglich gewesen. Die Kostenberechnung ergab jedoch, daß der Bau einer solchen Anlage zu kostspielig und der Betrieb für die Gemeinde zu umständlich gewesen wäre.

#### Ursachen der Wasserveränderung in Klingnau

Die in Frage stehende Grundwasserfassung der Gemeinde Klingnau liegt in 60 m Entfernung von der gestauten Aare und 35 m vom rechtsseitigen Entwässerungskanal im Räume zwischen letzterem und dem Binnenkanal (Abb. 4). Aus der Zeit vor dem Bau-

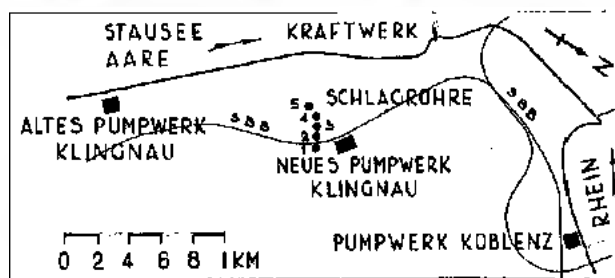


Abb. 4. Situation von Klingnau. Skizze von Ing. H. SIGRIST

beginn des Kraftwerkes liegt eine Analyse des Chemischen Laboratoriums der Stadt Zürich vom 4. November 1907 vor, eine weitere Analyse wurde am 9. Mai 1934 durch das kantonale Laboratorium Aarau durchgeführt. Die erste Untersuchung nach Inbetriebnahme des Werkes stammt vom 6. November 1935 und wurde wiederum vom Chemischen Laboratorium der Stadt Zürich ausgeführt. Die Analysen sind in Tab. 5 zusammengestellt<sup>22</sup>.

Die Analyse aus dem Jahre 1907 spricht eindeutig für Wasser aus einem Infiltrationsgebiet, d. h. einer Zone, in welche weiches Oberflächenwasser (Aarewasser) eindringt. Solche Zonen werden immer mehr für Wasserversorgungen der großen Städte oder der Industrie bevorzugt, da in beiden Fällen weiches Wasser beansprucht wird. Für die rechtliche Seite der Frage war nun abzuklären, ob das Wasser von Anfang an wenig oder keinen Sauerstoff führte, oder ob dieser Mangel eine Folge des Aufstaus der Aare sei. Bei der Analysierung des Wassers im Jahre 1907 wurde der Sauerstoff, entsprechend der damals üb-

<sup>22</sup> Die Analysen des Chemischen Laboratoriums der Stadt Zürich wurden von Herrn Dr. J. HARTNAGEL ausgeführt. Im Übrigen entstammen die Angaben über die Grundwasser-Verhältnisse in Klingnau dem für die Aarewerke AG und die Gemeinde Klingnau erstatteten Expertengutachten von J. HUB, H. MÖRNER und H. SIGRIST vom 11. Februar 1942.

Tab. 5

	4. 11. 1907	9. 5. 1934	6. 11. 1935
Carbonathärte . . . . . fr.°	16,3	32,75	15,25
Sulfate . . . . .	Spur	positiv	restlich nachweisbar
Sauerstoff . . . . . cm <sup>3</sup> /l	—	—	0,07
Chlorion . . . . . mg/l	5,7	23,0	4,5
Nitrat (N <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) . . . . . mg/l	0	positiv	0
Nitrit (N <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) . . . . . mg/l	0	—	0
Eisen (Fe) . . . . . mg/l	—	—	0,05
Oxydierbarkeit (KMnO <sub>4</sub> ) mg/l	1,54	5,19	2,26
Ammoniak frei . . . . . mg/l	0	0,005	0,20
Ammoniak, albuminoides mg/l	0	0,034	0,08
Temperatur . . . . . °C	—	9,5	14,6

lichen Praxis, nicht bestimmt<sup>23</sup>. Indirekt kann aus der Ammoniakfreiheit auf die Anwesenheit von Sauerstoff im Wasser geschlossen werden, denn es ist eine allgemein bekannte Tatsache, daß in natürlichen Wässern Ammoniak und Sauerstoff invers verlaufen, wie auch die Analyse aus dem Jahre 1935 zeigt. Schwierig war die Deutung der Analyse vom 4. Mai 1934, die in die Zeit nach dem Beginn der Bauarbeiten und vor dem Aufstau der Aare fiel.

Am auffallendsten ist das Ansteigen der Carbonathärte in den Jahren 1907 bis 1934 von 16,3 auf 32,75 fr.°, ferner die Zunahme von organischer Substanz und von Chloriden. Der Sauerstoff war auch damals nicht bestimmt worden; immerhin sprechen niedriger Ammoniakwert und positiver Nitratbefund nicht gegen die Anwesenheit von Sauerstoff.

Wie waren nun diese Verhältnisse zu erklären? Die eindeutige Beantwortung dieser Frage war für die allfällige Schadenersatzpflicht des Kraftwerkes an die Gemeinde Klingnau von entscheidender Bedeutung.

In den großen Grundwasserströmen der Flußtäler stellt man in der Regel in der Nähe des Flusses eine niedrige Carbonathärte fest, die mit der Entfernung vom Fluß zunimmt, weil von den Hängen her hartes Wasser zufließt. Andererseits sprechen die chemischen Verunreinigungsindikatoren für Wasser aus einem Gebiet in einer menschlichen Siedlung oder deren unmittelbaren Nähe. In Klingnau liegt die Zone mit natürlicherweise hartem Wasser im Gebiet der Siedlung, von wo auch die Verunreinigungen stammen, während die Fassung in Flußnähe und relativ weit weg von der Siedlung sich befindet. So stand man vor der fast einzigartigen Erscheinung, daß ein Wasser, das seiner Zusammensetzung nach vorwiegend aus Infiltrat bestehen sollte, im Laufe der Zeit die Eigenschaften von bergwärtigem Wasser erhalten hat. Dies setzte einen völligen Wechsel im hydrologischen Regime voraus. Die Lösung wurde in

<sup>23</sup> Der Nitratbefund aus dem Jahre 1907 muß auf Grund der damals angewandten Methode als unsicher bezeichnet werden.



überzeugender Weise durch J. HUG gefunden. Er konnte zeigen, daß wegen der Bauarbeiten Grundwassermengen in der Größenordnung von einigen Kubikmetern in der Sekunde aus der rechten Uferseite in die Aare abgeleitet werden mußten. Und durch diesen tiefen hydrologischen Eingriff erfuhr die Strömungsrichtung eine große Änderung. Sie führte von der Ortschaft über den Punkt der Grundwasserfassung, und dadurch erhielt die Fassung statt Infiltrat bergwärtiges Wasser. Die durch Bauarbeiten bewirkte Absenkung betrug etwa 10 m, und es war für die Beantwortung der Frage einer allfälligen Haftpflicht des Kraftwerkes von Bedeutung, daß dieser Zustand über den Zeitpunkt der Probenahme vom Mai 1934 andauerte.

Nach Abschluß der Bauarbeiten hörte die Absenkung des Grundwasserstromes gegen die Aare auf und die Fassung wurde wieder mit Infiltrat gespeist, jedoch mit dem wesentlichen Unterschied, daß das Wasser mit dem infolge des Staues erhöhten Grundwasserspiegel nun fast sauerstofffrei ist, erhebliche Mengen Mangan und Ammoniak führt. Beides ist auf Reduktionsvorgänge im Wasser zurückzuführen, die zweifellos mit dem Aufstau der Aare in ursächlichem Zusammenhang stehen. Für die rechtliche Seite der Frage war ferner von Bedeutung, ob eine Änderung der chemischen Verhältnisse im Sinne einer Tendenz zur Annäherung an den normalen Zustand für die nächste Zeit zu erwarten sei. Wie die Analysenzahlen der Tab. 6 erkennen lassen, ist dies nicht der Fall. Noch sechs Jahre nach dem Aufstau schwanken die Temperaturen zwischen 6 und 17°, die

Carbonathärte zeigt weiterhin den gleichen Wert wie zu Anfang der Inbetriebsetzung des Kraftwerkes; auch die mit den Reduktionsvorgängen zusammenhängenden Komponenten ließen keine Veränderung erkennen, so daß im Laufe der nächsten zehn Jahre keine Abdichtungsvorgänge und Rückbildung der früheren Verhältnisse anzunehmen waren. Deshalb mußte der Grundwasserbrunnen aufgegeben werden, und es wurde auf Vorschlag von J. HUG eine neue Fassung im Grundwasserstrom des Rheines erstellt. Die Stelle der neuen Fassung liegt nordwestlich von Klingnau im Gebiet des einmündenden Grundwasserstromes des Rheines. Nach der Analyse des Chemischen Laboratoriums der Stadt Zürich vom 30. Januar 1941 zeigt das Wasser im wesentlichen folgende Zusammensetzung: Carbonathärte 24,5 fr.°, Nitrate (N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 3,2 mg/l, Eisen 0,02 mg/l, Mangan nicht nachweisbar, freies Ammoniak 0,002 mg/l, albuminoides Ammoniak 0,008 mg/l, Sauerstoff 7,0—7,8 cm<sup>3</sup>/l, aggressive Kohlensäure war im Wasser nicht nachweisbar. Eine Gegenüberstellung der Analysenwerte der verschiedenen Beobachtungsstellen im Grundwasserfeld Klingnau gibt Tab. 7 (vgl. auch Abb. 4).

#### Heutige Verhältnisse in Wettingen

Es wurde noch darauf hingewiesen, daß durch Belüftung und Chlorung des Wassers eine Besserung der Verhältnisse in Wettingen erzielt werden konnte, und schon Abb. 2 ließ ein Nachlassen der starken Schwankungen des Grundwasserspiegels und der Temperatur und ein Ansteigen der Carbonathärte

Tab. 6

Probenentnahme	Temperatur °C	Carbonathärte fr.°	Sauerstoff cm <sup>3</sup> /l	Ammoniak frei mg/l	Nitrat (N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) mg/l	Chlorid (Cl <sup>-</sup> ) mg/l	Eisen (Fe) mg/l	Mangan (Mn) mg/l
6. 11. 1935 . . . . .	14,6	15,25	0,07	0,20	0	4,5	0,05	—
29. 11. 1935 . . . . .	12,6	15,25	0	—	0,2	4,5	0,01	—
10. 7. 1936 . . . . .	12,4	16,75	0	0,12	0	4,0	0,05	0
18. 8. 1936 . . . . .	—	15,25	0	0,20	—	4,0	0,03	—
6. 10. 1936 . . . . .	16,0	15,25	—	0,25	0	4,5	0,03	0
6. 12. 1936 . . . . .	11,0	16,75	—	0,14	0,2	6,0	0,03	geringe Spuren
2. 6. 1937 . . . . .	8,1	17,0	—	0,16	0,5	5,0	0,03	0,20
10. 12. 1937 . . . . .	11,8	15,75	0,1	—	—	5,5	0,02	0,44
16. 2. 1938 . . . . .	6,8	17,5	—	—	—	6,5	0,02	0,20
10. 6. 1938 . . . . .	9,2	17,75	0,2	—	—	4,5	0,04	0,44
8. 9. 1938 . . . . .	17,2	14,75	0	0,10	0	5,5	0,13	0,55
6. 12. 1938 . . . . .	13,0	16,25	0	0,10	0	6,5	0,05	0,80
7. 3. 1939 . . . . .	7,2	17,5	0	0,08	0	7,5	0,07	0,40
25. 4. 1939 . . . . .	6,7	17,5	0	—	0	5,5	0,03	0,50
18. 7. 1939 . . . . .	12,3	16,25	0	0,20	0	4,5	0,03	0,50
18. 10. 1939 . . . . .	16,0	15,25	0,1	—	0	7,5	0,08	0,35
8. 2. 1940 . . . . .	7,4	16,5	0	0,15	0,2	—	0,04	0,35
9. 10. 1940 . . . . .	16,0	14,5	0	—	0	5,0	0,06	0,50
13. 5. 1941 . . . . .	6,6	17,5	0	0,10	0,2	6,0	0,09	0,30
14. 10. 1941 . . . . .	16,0	15,25	0	—	0	6,5	0,07	0,35

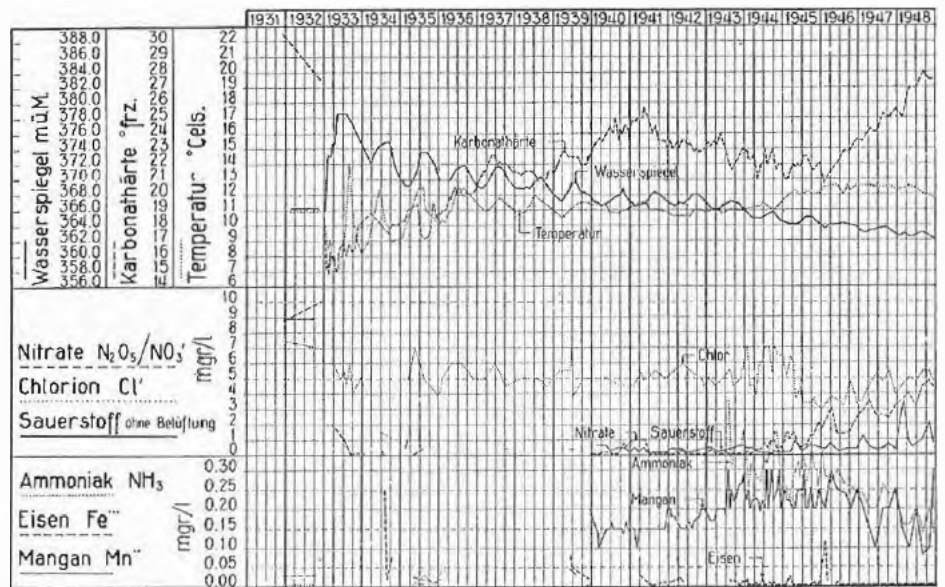
Belüftung seit 18. August 1936; Chlorung seit 7. September 1937.

Tab. 7

	Schlagrohr 1	Schlagrohr 2	Schlagrohr 3	Schlagrohr 4	Schlagrohr 5	Grundwasser Klingnau	Grundwasser Kriens	Aarewasser
Temperatur . . . . . °C	10,4	7,6	8,0	4,2	11,2	7,4	8,6	3,8
Carbonathärte . . . . . fr.°	25,0	33,75	28,25	22,0	20,0	16,5	22,5	16,0
Chloride . . . . . mg/l	4,0	4,0	4,5	4,5	4,5	—	7,5	4,5
Mangan . . . . . mg/l	0,0	0,0	0,0	0,6	0,8	0,25	0,0	—
Eisen . . . . . mg/l	0,04	0,05	0,03	0,15	0,13	0,04	0,04	—
Nitrate (N <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) . . . . . mg/l	3,2	0,4	9,6	4,0	0,0	ca 0,2	12,0	—
Sauerstoff . . . . . cm <sup>3</sup> /l	7,4 (?)	—	—	—	—	0,0	4,8	—

Die Temperatur des Kanalwassers betrug 3,1°.

Abb 5  
Grundwasser von Wettingen  
Tägerhard  
Wasserspiegel, Temperatur  
und Chemismus nach dem  
Aufstau der Limmat  
Am 1. Januar 1945:  
Nitrate als NO<sub>3</sub><sup>-</sup>  
Am 1. April 1948:  
Chlorion nach der Methode  
SCHNEEBELI-STAUD



erkennen, was mit Abdichtungsvorgängen und Zurückgehen der Infiltration aus dem Stausee nach dem Grundwasserträger in Beziehung zu bringen war. Deshalb hätte man im Grundwasserfeld von Wettingen eine Besserung erwarten dürfen, statt dessen trat eine Verschlimmerung ein.

Das Grundwasser von Wettingen enthält im Gegensatz zu Klingnau ursprünglich, auch nach der starken Infiltration durch den Aufstau der Limmat, kein Mangan. Am 18. November 1939, d. h. sieben Jahre nach dem Aufstau, wies das Chemische Laboratorium der Stadt Zürich erstmals 0,2 mg/l Mangan nach. Der Wert sank vorübergehend und stieg in den folgenden Jahren auf 0,3 mg/l an. Da der Gemeinde Wettingen kein anderes Wasser zur Verfügung stand, mußten durch verschiedene Vorkehrungen für die Bevölkerung einigermaßen erträgliche Verhältnisse geschaffen werden. Dies war um so eher angängig, als das Wasser nach wie vor bakteriologisch einwandfrei war. Das Wasser wurde weiterhin helüftet, jedoch nicht zu stark, um Manganausscheidungen im Leitungsnetz zu verhindern. Die Chlorung wurde beibehalten und das Leitungsnetz wurde häufig gespült und von Zeit zu Zeit über Nacht hochchloriert,

um im Innern der Leitungen haltendes *Zoogloea*-Material loszureißen. Erfreulicherweise zeichnet sich nun in den letzten Jahren deutlich eine Besserung der Wasserqualität ab, und im Jahre 1948 wurde im Mittel bereits 1,47 mg/l Sauerstoff im Wasser ohne Belüftung nachgewiesen. Einzelheiten ergeben sich aus der graphischen Darstellung<sup>24</sup> (Abb. 5).

Diese Besserung hängt zweifellos mit Abdichtungsvorgängen im Stausee zusammen, denen J. HUG<sup>25</sup> eine besondere Studie gewidmet hat. Auf Grund der durch H. BERTSCH angeordneten Profilaufnahmen wird das in acht Jahren (Oktober 1932 bis Oktober 1940) im Staugebiet abgelagerte Material auf 670 000 m<sup>3</sup> geschätzt, das zu 97 % aus feinem Sand (Abschwemmungsprodukt aus der Molasse im Sihltal) und zum geringern Teil aus organischem Material besteht. Die Auswirkungen der

<sup>24</sup> Die graphische Darstellung, die sich auf Analysen der Herren Dr. I. MINDER, Dr. J. HARTKOGEL und Dr. F. MÄRKI stützt, verdanken wir Herrn F. ROSSHARD, Direktor der Wasserversorgung der Stadt Zürich.

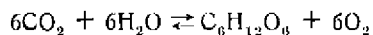
<sup>25</sup> Untersuchungen über Abdichtungserscheinungen im Staugebiet des Kraftwerkes Wettingen, Wasser- u. Energie-wirtschaft. 1943, Nr. 6/7.

Abdichtung kommen in der graphischen Darstellung deutlich zum Ausdruck. War die Härte im Jahre 1933 infolge der starken Infiltration von weichem Limmatwasser aus dem Stausee auf 15 fr.° gesunken und zeigte die Grundwassertemperatur jahreszeitliche Schwankungen wie ein Oberflächengewässer, so sind die Verhältnisse in den letzten Jahren umgekehrt: Der Grundwasserspiegel liegt wieder deutlich unter der Stauhöhe, die Carbonathärte hat den Wert vor dem Stau erreicht und die Temperatur zeigt den für ein gutes Grundwasser konstanten Gang. Eine optimistische Beurteilung der Verhältnisse in Wettingen ist daher heute erlaubt.

#### Parallelen zum Zürichsee

Bekanntlich haben auch die Seen und andere Oberflächengewässer ihr Eigenleben, das sich in einer Vielfalt physikalischer, chemischer und biologischer Prozesse kundtut. In verschiedenen Seen des schweizerischen Mittellandes vollzieht sich seit einigen Jahrzehnten eine merkwürdige Umwandlung. Den Anfang machte der Murtensee, der sich im Sommer 1825 plötzlich blutrot zu färben begann. Dieses «Burgunderblut», das seither fast jedes Jahr auftritt und auch auf andere Seen (Baldegger See, Wägitaler See, Zürichsee, Zuger See u. a.) übergriff, beruht auf der Massenentwicklung der Blaualge *Oscillatoria rubescens*, die zu einer tiefgreifenden chemischen und biologischen Veränderung des Sees geführt hat.

In einem Oberflächengewässer besteht eine Lebensgemeinschaft zwischen tierischen und pflanzlichen Organismen. In der oberen Schicht eines Sees, dem Epilimnion, entwickelt sich vor allem das lichtbeanspruchende Pflanzenplankton, während in den tieferen Schichten (Meta- und Hypolimnion) in erster Linie Zooplankton zu finden ist. In den oberen Schichten wird daher vorwiegend Sauerstoff erzeugt und Kohlensäure verbraucht, während in den unteren Schichten die umgekehrten Vorgänge stattfinden. Beide Prozesse lassen sich durch die Assimilationsgleichung darstellen:



Der Reaktionsverlauf von links nach rechts ist die Assimilation, die im oberen Seeteil vor sich geht. Im unteren Teil des Sees wird organische Substanz oxidiert, und der Vorgang verläuft von rechts nach links. In beiden Fällen stehen Sauerstoff und Kohlensäure in stöchiometrischem Verhältnis, so daß die Tiefenkurven des Sauerstoffes und der Kohlensäure symmetrisch verlaufen. Durch Bestimmung dieser beiden Gase (oder nur des Sauerstoffes) ist es also möglich, über die biologischen Vorgänge eines Gewässers Aufschluß zu erhalten.

Die Vorgänge im See werden auch durch die Thermik stark beeinflußt. Die Erwärmung der Seeoberfläche im Sommer und die Abkühlung im Winter er-

zeugen im Herbst und im Winter eine völlige Umlagerung und Durchmischung der Wassermassen. Durch diese «Vollzirkulation» wird eine Belüftung des Seewassers herbeigeführt, und man bezeichnet deshalb diese Umwälzung als die «tiefen Atemzüge» des Sees.

Nach diesen allgemeinen Bemerkungen betrachten wir die Verhältnisse des Zürichsees. Auch dieser See hat eine tiefgreifende Veränderung erfahren. Im Jahre 1896 trat massenhaft die Kieselalge *Tabellaria fenestrata* und 1898 im November «explosionsartig» die Burgunderblutalge in ungeheuren Mengen auf. Letztere ist seither nicht mehr aus dem See verschwunden. Im Sommer zieht sie sich auf 10–15 m Tiefe zurück, steigt im Herbst an die Oberfläche und wird durch den Seeabfluß, die Limmat, wochen- bis monatelang in solchen Mengen abgeführt, daß der Fluß bräunlich bis schwach violett getrübt ist. In großer Menge sinken die pflanzlichen Organismen in die Seetiefe ab, wo ein gesunder See die «pflanzlichen Leichen» abbaut, sie mineralisiert, während in einem kranken See aus Mangel an Sauerstoff Fäulnisvorgänge stattfinden. Diese Prozesse lassen sich folgendermaßen schematisch darstellen:

#### Mineralisation organischer Substanz

C → CO<sub>2</sub> → Carbonat bzw. Bicarbonat

N → NO<sub>2</sub>' bzw. NO<sub>3</sub>'

S → SO<sub>4</sub>'

#### Fäulnisvorgang

C → CH<sub>4</sub>

N → RNH<sub>2</sub> und NH<sub>3</sub> oder N<sub>2</sub>

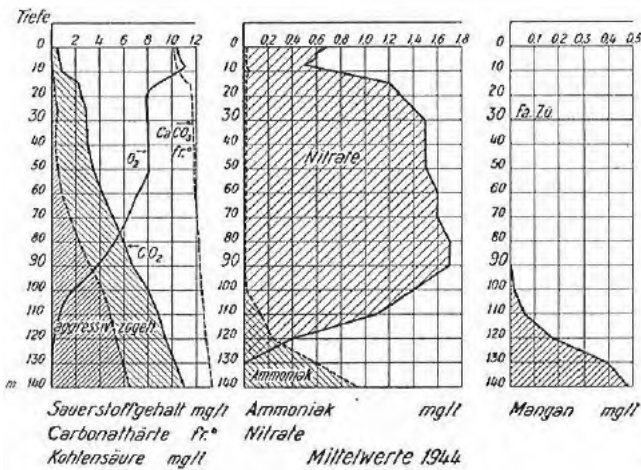
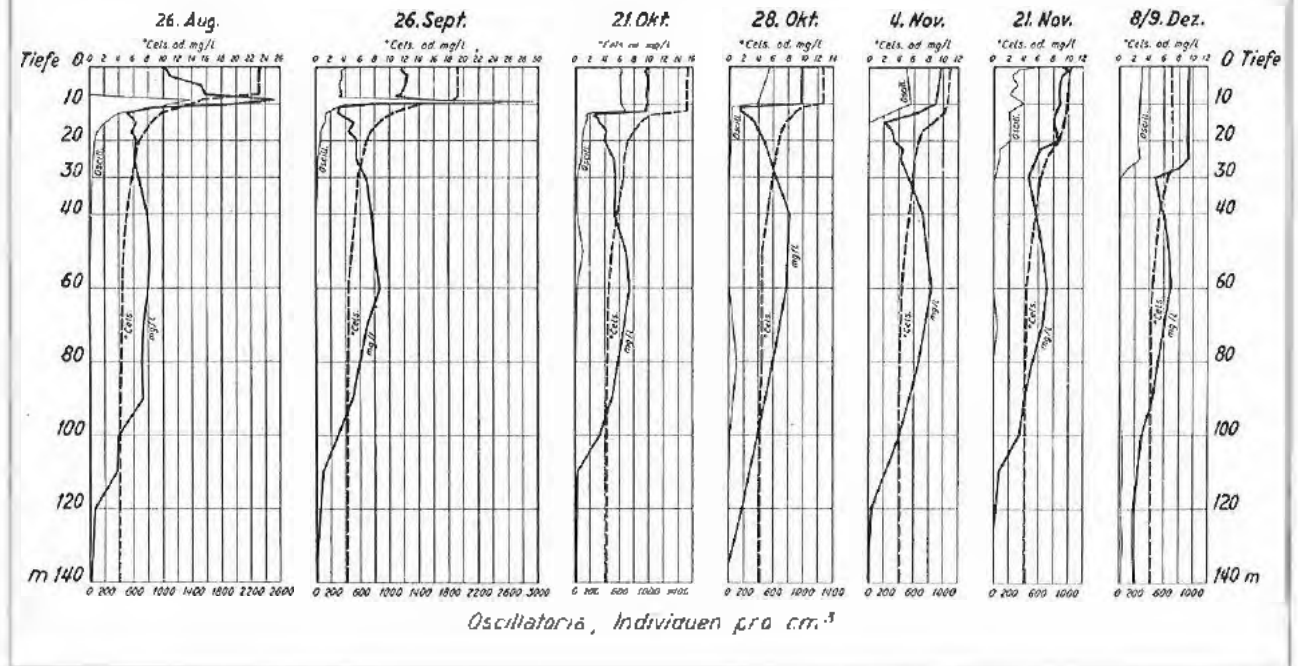
S → RSH oder H<sub>2</sub>S

Wie sind nun die Verhältnisse im Zürichsee? Sie sind in letzter Zeit von verschiedener Seite zusammenfassend dargestellt worden<sup>26</sup>, so daß wir uns darauf beschränken dürfen, nur die für das Auftreten von Mangan maßgebenden Komponenten zu berücksichtigen<sup>27</sup>. Abb. 6 stellt Temperatur, Sauerstoff und *Oscillatoria* am Ende der Sommerstagnation 1947 dar. Man erkennt das Höhersteigen der Burgunder-

<sup>26</sup> W. v. GONZENBACH, Gekürzter Bericht über die wissenschaftliche Erforschung des Zürichsees in den Jahren 1929–1933, Zürich 1936; E. WASER und G. BLÖCHLINGER, Untersuchung des Zürichsees 1936–1938, Zürich 1939; O. LÜSCHER, Der Zustand des Zürichsees und seine allgemeine Eignung zur Trinkwasserversorgung, Monats-Bull. Gas- u. Wasserf. 21, 156, 189 (1941); 22, 10, 30, 55 (1942); L. MINDER, Der Zürichsee im Lichte der Seetypenlehre, Neujahrsblatt, herausgegeben von der Naturf. Ges. Zürich 1943; O. LÜSCHER, Der Zürichsee als Trinkwasserspender, Wasser- u. Energiewirtsch. 1946, Nr. 9/11.

<sup>27</sup> Die von der Wasserversorgung der Stadt Zürich angefertigten graphischen Darstellungen stützen sich auf Untersuchungen des kantonalen Laboratoriums Zürich (Vorsteher: Dr. M. STAUB, Mitarbeiter: Dr. E. A. THOMAS) und des Chemischen Laboratoriums der Stadt Zürich (Mitarbeiter: Dr. E. MÄRKLI).

**Temperatur, Sauerstoff und Oscillatoria im Zürichseewasser bei Thalwil**  
Am Ende der Sommerstagnation 1947



blutalge mit fortschreitender Jahreszeit. Abb. 7 zeigt zunächst die Sauerstoff- und Kohlensäurekurve für das Jahr 1944, die nur bis etwa 80 m den geforderten symmetrischen Verlauf zeigt. In dieser Tiefe überschneiden sich die Kurven und gehen in umgekehrtem Sinne weiter, indem der Sauerstoffgehalt immer mehr zurückgeht und deshalb zum völligen Abbau der absinkenden organischen Stoffe nicht mehr ausreicht, während andererseits die Kohlensäure ansteigt. Ebenso nimmt in Tiefen von 90 bis 100 m der Ammoniakgehalt zu, und, was hier speziell interessiert:

Abb. 7. Chemische Komponenten des Zürichseewassers an der tiefsten Stelle. Mittelwerte 1944. Aus O. LÜSCHER, Der Zürichsee als Trinkwasserspender, I. c.

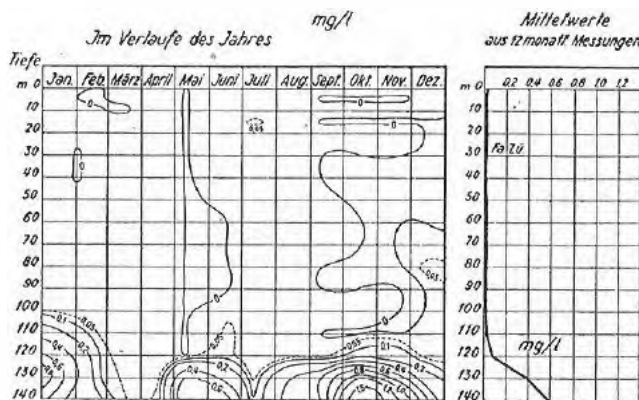


Abb. 8. Ammoniak im Zürichseewasser an der tiefsten Stelle (1946)

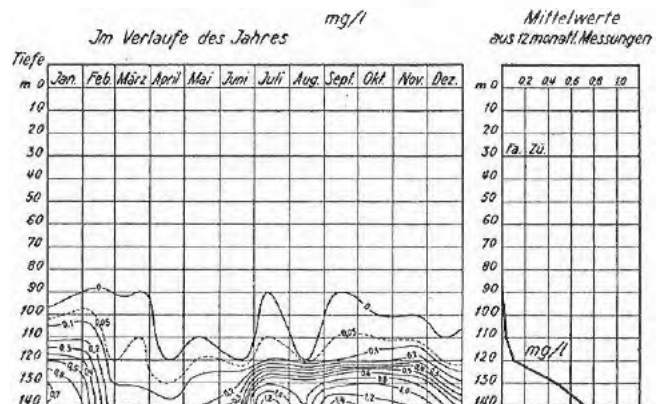


Abb. 9. Mangan im Zürichseewasser an der tiefsten Stelle (1946)

Es tritt Mangan auf. Das Erscheinen von Mangan geht parallel mit dem Sauerstoffschwund. Abb. 8 und 9 geben die Ammoniak- und Manganverhältnisse für das Jahr 1946 wieder, während in Abb. 11 die Sauerstoffwerte für das gleiche Jahr räumlich nach der Methode Prof. O. JAAG dargestellt sind.

Noch schlimmer als im Zürichsee sind die Verhältnisse im Rotsee (Abb. 10). Genfer See, Vierwaldstätter See, Walensee, Neuenburger See und Bodensee dürfen jedoch heute noch als gesund bezeichnet werden. Abb. 12 zeigt die Verhältnisse des Bodensees als Typ eines gesunden Sees.

Die nachteilige Veränderung unserer Seen, die sich in steigendem Maße bemerkbar macht, hängt mit der zunehmenden Besiedelung der Seeufer, der Entwicklung der Industrie und der Einführung der Schwemmkanalisation zusammen, wodurch den Seen und den in sie einfließenden Oberflächengewässern Schmutzstoffe in immer größerem Umfang zugeführt werden und der Sauerstoffgehalt der Seen zum Abbau der zugeführten Düngstoffe immer weniger ausreicht. In einem überdüngten See finden Algen jedoch eine für die Massentwicklung geeignete Nährlösung.

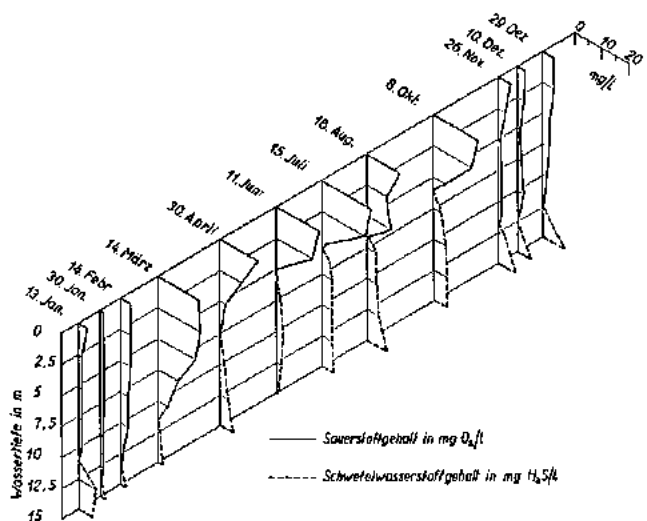


Abb. 10. Sauerstoff und Schwefelwasserstoff im Rotsee nach BACHMANN (1921). Raumdiagramm (Methode O. JAAG)

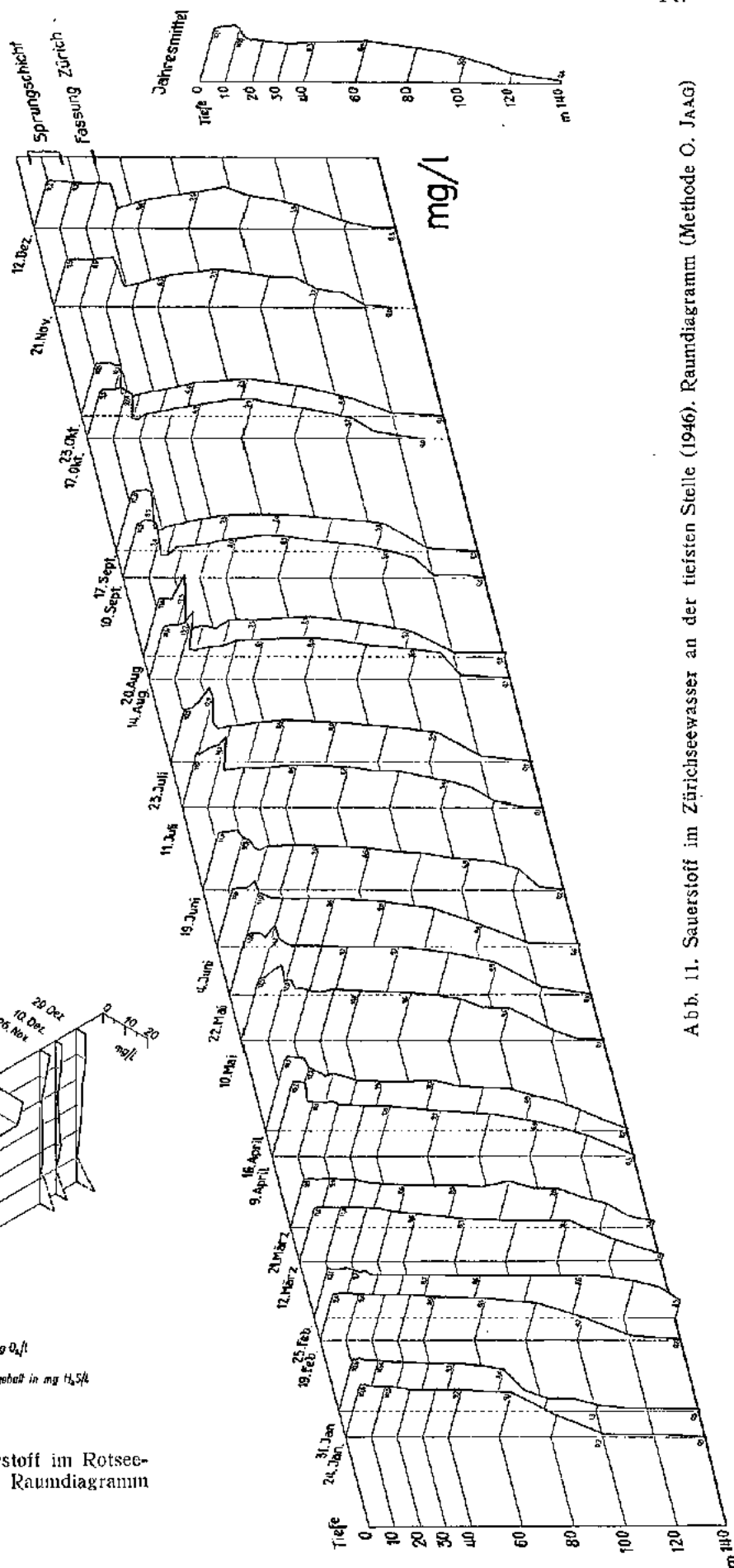


Abb. 11. Sauerstoff im Zürichsee an der tiefsten Stelle (1946). Raumdiagramm (Methode O. JAAG)

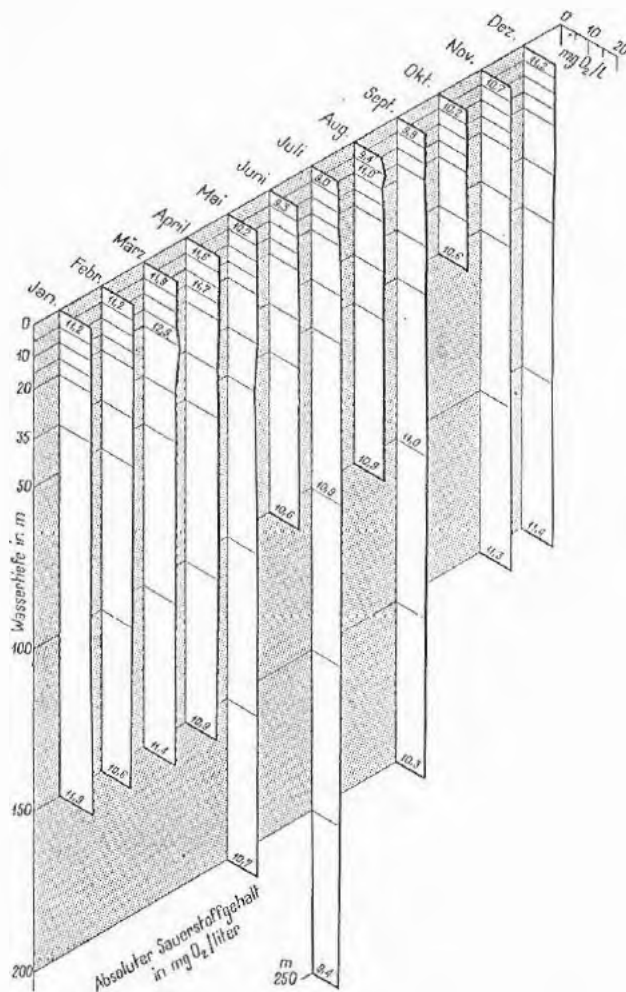


Abb. 12. Sauerstoff im Bodenseewasser nach ABERBACH, MAFFKER und SCHMÄTZ (1920-1923). Randdiagramm (Methode O. JAAO)

#### Parallelen zu anderen Grundwässern

Als Ursache des Auftretens von Mangan im Grundwasser, das mit Stauwasser stark infiltriert wird, und im See, dem zuviel Schmutzstoffe zugeführt wurden, erkannten wir die Überbelastung mit organischem Material und Rückgang des Sauerstoffes. Es gibt nun Grundwasser, das keinem der beiden Einflüsse ausgesetzt ist und das dennoch Mangan führt. Als Beispiel nehmen wir das in letzter Zeit vom Chemischen Laboratorium der Stadt Zürich eingehend untersuchte Grundwasser von Langenthal<sup>18</sup>. Die in Frage stehende Wasserfassung steht im «Dennli» in einem sogenannten gedeckten Grundwasserstrom. Der durchlässige, wasserführende Schotter reicht nicht bis an die Oberfläche, er ist nach oben durch jüngere, vorwiegend undurchlässige Bodenschichten abgeschlossen, die so hermetisch wirken, daß das Grundwasser des Schotters unter artesischer Spannung

steht. Der Zutritt von Oberflächenwasser in der Nähe der Fassung ist dadurch verunmöglicht, und weil sie oberhalb von Langenthal liegt, sind auch Verunreinigungen durch Abwässer der Ortschaft praktisch ausgeschlossen, und so erwies sich schon das Wasser aus der Versuchshohrung als praktisch keimfrei. Da anfangs der zwanziger Jahre bei der Erschließung von Grundwasser das hygienische Moment im Vordergrund stand, wurden die Verhältnisse im «Dennli» als sehr günstig beurteilt, die Grundwasserfassung erstellt und im Jahre 1924 in Betrieb genommen. Schon bald neigte das Wasser zu rostigen Trübungen, die nach REHSTEINER und WISER<sup>20</sup> auf Sauerstoffmangel des Wassers zurückzuführen waren. Deshalb wurde auf Vorschlag von H. C. RYSER im Reservoir ein Brausensystem zur Sauerstoffanreicherung vorgeschaltet und eine Besserung der Verhältnisse erreicht. Im Jahre 1943 traten erneute Kalamitäten auf, die um so schwerwiegender waren als schon das Wasser aus dem Pumpschacht frühe war, und dies zu unablässigen Klagen seitens der Bevölkerung führte.

Die am 2. März 1944 durch das Chemische Laboratorium der Stadt Zürich durchgeführte Analyse<sup>19</sup> zeigte das Ergebnis der Tab. 8. Aus diesen Zahlen ergibt sich, daß die für die Hygiene bedeutungsvolle Abschließung des Grundwasserträgers nach oben nicht nur den Zutritt von Verunreinigungen, sondern auch des Sauerstoffes verhindert hat und so ein sauerstoffarmer bzw. sauerstofffreier Grundwassertyp entstanden ist. Ein solches Wasser vermag aus dem Grundwasserträger Eisen und Mangan zu lösen. Die Frage, ob das Wasser schon 1934 Mangan führte, mußte offenbleiben, weil damals auf diese Komponente nicht geprüft worden war. Hingegen ist aus dem Rückgang von Nitrat und Sauerstoff eine Verschlechterung der Verhältnisse seit 1934 festzustellen. Diese Veränderung hat hygienisch zwar keine Bedeutung, das Wasser ist jedoch seiner eisen- und manganlösenden Eigenschaften wegen als Brauchwasser ungeeignet geworden.

Die im Grundwasser im «Dennli» vom Chemischen Laboratorium der Stadt Zürich nachgewiesenen Eisen- und Manganmengen betragen 0,17 bzw. 0,15 mg/l. In bezug auf Eisen liegt der Wert unterhalb den 0,2–0,3 mg/l, die erfahrungsgemäß zu Störungen führen. Beim Mangan treten Störungen schon mit Gehalten von 0,15–0,2 mg/l auf. Der festgestellte Wert von 0,15 mg/l liegt also praktisch gerade bei der kritischen Grenze. Wie jedoch die Verhältnisse in Langenthal zeigen, genügen diese Gehalte bereits, allenfalls in Verbindung mit weiteren aus den Leitungen herausgelösten Mengen, um ernsthafte Störungen in der Wasserversorgung hervorzurufen.

<sup>18</sup> Die Angaben stützen sich auf den Expertenbericht von J. HUG, H. MOHLER und H. C. RYSER vom 20./31. März 1945, erstattet für die Industriellen Betriebe Langenthal.

<sup>19</sup> Expertenbericht vom 7. Februar 1944, erstattet für die Industriellen Betriebe Langenthal.

<sup>20</sup> Analysen von Herrn Dr. E. MÄRKLI

In bezug auf die Sanierungsmöglichkeiten standen die Erfahrungen von Wettingen zur Verfügung. Wenn auch in Langenthal nicht die gleichen Ursachen vorliegen wie in Wettingen, so stehen doch die Erscheinungen in Parallele, denn auch in Wettingen liegt ein sauerstoffarmes bis sauerstofffreies Wasser vor, das Rohrleitungen angreift und aus dem Grundwasserträger Mangan aufnimmt. Die Parallele geht noch weiter, indem in Wettingen wie in Langenthal sauerstoffarmes Grundwasser und sauerstoffreiches Quellwasser zur Verfügung stehen, die gemischt in den Leitungen Mangan- und Eisenausscheidungen begünstigen.

Wie erwähnt, wird in Wettingen das Wasser sorgfältig dosiert belüftet und ferner chloriert, wodurch Eisenangriff und Manganausscheidungen verhindert werden und der Zoogloen-Bildung entgegen gewirkt wird. Diese Maßnahmen bedürften jedoch einer sorg-

fältiger Wartung durch eingearbeitete Funktionäre. Theoretisch wäre eine künstliche Wasseraufbereitung in Langenthal möglich gewesen. Die relativ hohen Gestellungskosten einer solchen Anlage und die finanzielle Belastung der Gemeinde durch die Wartung drängten jedoch einen Vergleich mit den Kosten für eine neue Grundwasseranlage an anderer Stelle auf, um so mehr, als außerhalb des gedeckten Grundwassergebietes offenes, sauerstoffreiches, mangan- und eisenfreies Grundwasser zur Verfügung steht (Tab. 9, Analysen vom 13. April 1944). Da die Erfahrung dafür spricht, von Sanierungsmaßnahmen Umgang zu nehmen, wenn einwandfreies Wasser beschafft werden kann, beauftragten die Experten, von der Errichtung einer künstlichen Aufbereitungsanlage abzusehen und eine neue Grundwasserfassung im offenen (ungedeckten) Gebiet zu erstellen.

Tab. 8

	Pumpwerk an der Betrieb	1000 Liter Pumpleistung nach			2000 Liter Pumpleistung nach		
		10'	100'	165'	10'	100'	165'
Zeit	09.30	09.40	11.10	12.35	14.45	16.35	17.20
Temperatur	8,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8
Carbonathärte	25,5	26,0	26,0	25,75	25,25	25,75	26,0
Freie Kohlensäure	32,5	32,0	31,0	30,5	30,0	30,0	30,0
Chloride (Cl <sup>-</sup> )	—	—	—	8,5	—	—	—
Freies Ammoniak	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05
Nitrate (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	12,0	12,0	12,4	12,4	12,0	12,0	12,4
Sulfate		nicht nachweisbar			nicht nachweisbar		
Eisen	0,17	0,17	0,17	0,17	0,15	0,15	0,15
Mangan	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Sauerstoff	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Sinnenprüfung	normal	normal	normal	normal	schwache Opaleszenz	normal	normal
Keimzahlen, 3. Tag	0	—	—	0	—	—	—
5. Tag	4	—	—	19	—	—	—
<i>Bacterium coli</i> ist nachweisbar in cm <sup>3</sup> Wasser	Über 35	—	—	über 35	—	—	—

Tab. 9

	Pumpwerk Aarwangen	Pumpwerk Obgenève	Pumpwerk Reithausen	Grundwasserzähle	
				Weiber	Fahline
Zeit	09.10	10.10	10.30	09.10	09.20
Temperatur	5,7	5,0	11,2	—	—
Trockenrückstand	337	280	326	326	316
Carbonathärte	25,5	20,0	21,5	22,25	22,0
Chloride (Cl <sup>-</sup> )	6,5	7,5	12,0	12,0	14,0
Freies Ammoniak	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
Nitrate (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	11,5	12,4	18,4	15,6	17,4
Oxydierbarkeit (KMnO <sub>4</sub> )	1,3	1,2	3,5	1,6	2,5
Eisen	0,005	0,01	0,005	0,005	0,005
Mangan	Spuren (0,0001)	0,0	0,0	0,0	0,0
Sauerstoff	8,3	9,0	10,4	—	—
Keimzahlen, 3. Tag	0	0	0	—	—
5. Tag	0	0	1	—	—
<i>Bacterium coli</i> ist nachweisbar in cm <sup>3</sup> Wasser	über 35	über 35	über 35	—	—

Ähnliche Erscheinungen wie in Wettingen und Klingnau wurden auch im Ausland festgestellt. So beobachtete J. WOLBER<sup>21</sup> Grundwasser des Ruhrgebietes, das unter dem Einfluß der Infiltration Eisen und Mangan führte. Ein Ausweichen war nicht möglich, da die «Eisen- und Manganeister» ganz unregelmäßig und in verschiedener Größe und Konzentration auf das ganze Gelände verteilt waren, wie Tab. 10, die die Beschaffenheit des Grundwassers aus verschiedenen Bohrstellen wiedergibt, darlegt. Die Werte sind in Milligramm pro Liter angegeben.

Tab. 10

Polstrecke		1	7	11	13	27	32	37	48	51	59
Eisen	gelöst	0,33	0,23	0,18	0,40	0,21	0,30	0,32	0,22	0,22	0,95
	ungelöst	7,30	1,5	1,40	2,0	1,9	8,5	2,80	1,6	21,0	2,00
Mangan	gesamt	1,00	0,60	0,17	Spur	Spur	0,35	0,15	Spur	1,5	24,6
	gelöst	0,88	—	0,03	0,06	Spur	0,06	0,03	Spur	1,52	24,6

Über weitere in gleiche Richtung weisende Beobachtungen am Grundwasser, das durch natürliche und künstliche Versickerung der Ruhr gespeist wird, berichtet C. R. BAIFER<sup>22</sup>. Etwa in der Mitte des Wassergewinnungsgeländes, zwischen den Beobachtungsstellen 11 und 14 (Abb. 13) ist die Ruhr gestaut.

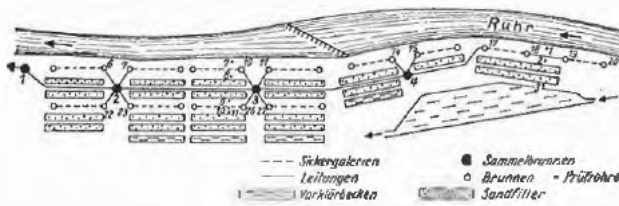
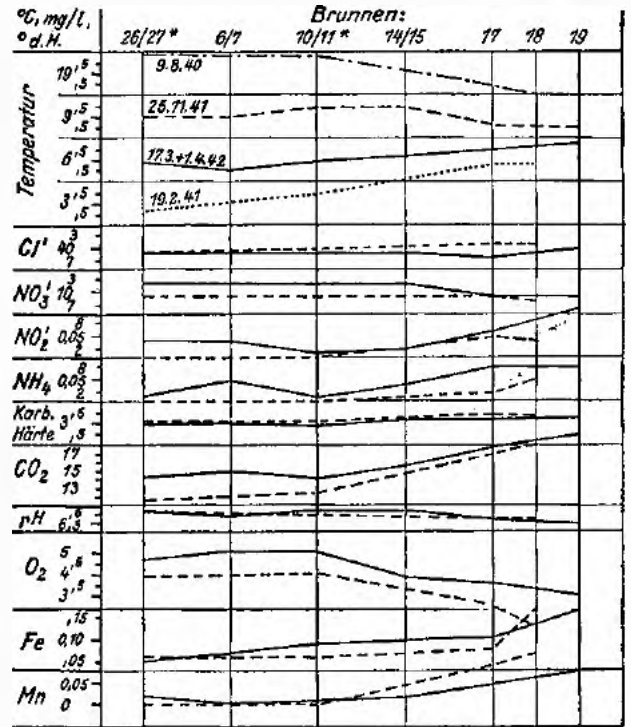


Abb. 13 Skizze des Wassergewinnungsgeländes im Ruhrgebiet. Aus C. R. BAIFER, I. c.

Eine Untersuchungsserie ist in Abb. 14 graphisch dargestellt. Die Untersuchungsstellen wurden so ausgewählt, daß sich ein Anstieg des Einflusses des aus dem Fluß versickernden Wassers in einer Richtung (von links nach rechts, Abb. 14) erwarten ließ. Die Kurven lassen deutlich einen Anstieg der Werte von Eisen, Mangan, Kohlensäure, Nitrit und Ammoniak und ein Sinken der Werte für Sauerstoff, pH und Nitrat in Richtung auf die obere Brunnengruppe erkennen.

**Allgemeine Sanierungsmaßnahmen**

Das Grundwasser stellt für die Schweiz einen außerordentlich wichtigen Faktor dar. Es wird gespeist durch Regen und vielfach auch durch Oberflächengewässer, und gerade die Infiltrationsgebiete sind es, die für die Wasserversorgung immer mehr beansprucht werden. Durch die industrielle Entwicklung und den erhöhten Wohnkomfort hat der Wasserkonsum ganz rapid zugenommen, und der maxi-



Mittelwerte v. 25. 71. 40, 17. 3. 42, 19. 2. 41: —  
 " " " " 9. 8. 40, 6. 71. 12. 40, 19. 2. 41: - - -  
 \* bei --- nur 76 bzw. 76

Abb. 14 Längsschnitt der chemischen Beschaffenheit des Wassers im Ruhrgebiet. Aus C. R. BAIFER, I. c.

male Verbrauch übersteigt in zahlreichen Ortschaften der Schweiz 600 Liter pro Kopf und Tag. Für verschiedene Gemeinwesen, so auch für die Stadt Basel, ist die Beschaffung von genügendem Wasser zu einem sehr ernsten Problem geworden, und die Frage nach dem Schutz des Grundwassers in qualitativer und quantitativer Beziehung steht heute in vielen Gegenden der Schweiz, neben der Forderung nach dem Anbau der Wasserkraft, im Mittelpunkt des öffentlichen Interesses.

Die beiden geschilderten Beispiele von Wettingen und Klingnau lassen sich durch andere Fälle ergänzen. Nach J. HUG<sup>23</sup> sind ähnliche Erscheinungen bei Full-Reuenthal beobachtet worden. Hier trat in tieferen Schichten Wasser mit 1,2 mg/l Mangan neben 0,17 mg/l Eisen auf. Ebenfalls nach J. HUG<sup>23</sup> wurden in Grellingen nach dem Aufstau der Birs in einem Grundwasserbrunnen 0,75 mg/l Mangan neben 0,95 mg/l Eisen festgestellt. Auch bei der Korrektur der Suhre ergaben Untersuchungen des Chemischen Laboratoriums Zürich, die im Auftrag der Baudirektion des Kantons Aargau ausgeführt wurden, daß an Stellen starker Infiltration durch mit Schmutzstoffen belastetes Suhrewasser Mangan und Eisen auftritt, während Zonen ohne Infiltration normales Grundwasser aufweisen. Daß diese Erscheinungen mit dem Sauerstoffschwund zusammenhängen, beweist auch

<sup>21</sup> Gas- u. Wasserf. 84, 257 (1941).  
<sup>22</sup> Gesundheits-Ing. 66, 30 (1943).

<sup>23</sup> Persönliche Mitteilung.



der von J. HUG<sup>33</sup> eingehend untersuchte Sankt-Galler Typ, der sich dadurch auszeichnet, daß eine gedeckte Zone in eine offene Zone ausmündet, die mit dem Sauerstoff der Atmosphäre in Kommunikation steht und daher keine Reduktionserscheinungen erkennen läßt, während die gedeckte Zone eisenhaltiges Wasser führt. Auffallenderweise tritt hier Mangan kaum auf.

Alle diese Fälle zeigen, daß die von den Elektrizitätswerken geschaffenen Stauseen den Bestrebungen zum Schutze des Grundwassers entgegenwirken können.

Andererseits gilt die Schweiz als ein Land der weißen Kohle und sie steht hinsichtlich des Elektrizitätsverbrauches pro Kopf der Bevölkerung nach Kanada und Norwegen an der Spitze aller Länder<sup>34</sup>. Diese Entwicklung ist auf unseren verhältnismäßig großen Reichtum an Wasserkraften, andererseits auf unsere Armut an heizwertreicher Kohle sowie das Fehlen von Erdölen zurückzuführen. Die allgemeine Zunahme des Energiebedarfs bedingt die laufende Indienstellung neuer Energiequellen, die fast hundertprozentig an die Ausnützung der Wasserkraft gebunden sind. Sollen wir diese Entwicklung und die der Technik im allgemeinen aufhalten? Man hört bisweilen, daß die Technik die Ursache des heutigen Chaos sei, und mancher Forscher hatte deshalb schon Wissenskonflikte. Doch die Technik ist an sich weder gut noch böse. Sie ist gut, soweit der Mensch gut ist, und sie steht im Dienst der Destruktion, soweit der Mensch destruktiv ist. Die Frage, ob die Entwicklung der Stauseen aufgehoben werden sollte, kann nur insofern mit ethischen Überlegungen beantwortet werden, als die Regel gilt: Mensch und Natur vertragen keine Diktatur! Jede Herrschaft hat ihre Grenzen, auch hinsichtlich der Natur, denn die Herrschaft stört die Lebensgemeinschaft, die Biozönose. In einem See, der durch Überbelastung mit Schmutzstoffen einseitig beherrscht wird, fallen zuerst die

Edelfische zum Opfer, und schließlich verbleibt ein Gewässer, das wie der Rotsee einen toten Eindruck erweckt, den Eindruck eines Sees, in dem das ursprüngliche Leben erstickt ist. Und warum ist es soweit gekommen? Man hat ohne Rücksichtnahme auf das Ganze die Entnahme von Wasser aus dem Kreislauf immer mehr gesteigert und es mit Schmutzstoffen überbelastet an ihn zurückgegeben. Dadurch wurde — unbeabsichtigt — das biologische Gleichgewicht der Oberflächengewässer, die als Vorfluter für das Abwasser dienen, gestört, und diese Störung wirkt sich fortschreitend auch auf das Grundwasser aus, das mangan- und eisenlösend und dadurch ohne komplizierte Aufbereitung für die Wasserversorgung untauglich wird. Reingehaltenes Oberflächenwasser kommt auch dem Grundwasser zugute, denn reines Stauseewasser ist für das Grundwasser weniger gefährlich als schmutziges Infiltrat. Und so ergibt sich die Forderung: Schutz des Oberflächenwassers durch Abwasserreinigung. Ohne weitgehende Klärung sollte kein Abwasser mehr dem Vorfluter zugeführt werden dürfen. Und wenn diese Forderung raschestens erfüllt wird, dürfen wir auch dem Ausbau unserer Wasserkraft ruhiger entgegenblicken<sup>35</sup>.

<sup>33</sup> Daneben ist an das Problem der Aufbereitung von manganführendem Grundwasser heranzutreten. Ferner hat es sich auf Grund der Erfahrungen von Wettingen und Klingnau als zweckmäßig erwiesen, den Status quo des Grund- und des zu stauenden Wassers durch systematische Untersuchungen festzuliegen, wie dies für Rapperswil-Auenstein und Wildegg-Brugg von der Baudirektion des Kantons Aargau vorgekehrt worden ist. Das Problem ist um so ernster geworden, als die Grundwasserspiegel in Europa aus klimatischen Gründen eine sinkende Tendenz zeigen. Die Untersuchungen über das Manganvorkommen im Grundwasser werden fortgesetzt.

Von Herrn Prof. Dr. O. JAAG wurde der Verfasser in freundlicher Weise darauf hingewiesen, daß in neuerer Zeit z. B. im Wägitaler See und Sillsee Massenfaltungen von Algen (*Oscillatoria rubescens*), Verkräutungen usw. in Erscheinung getreten sind, ohne daß die geringen Mengen der den betreffenden Seen zugeführten Abwässer für diese Entwicklung verantwortlich gemacht werden könnten. Zweifellos ist eine Reihe weiterer Faktoren an dieser Entwicklung beteiligt, deren Wirkungsweise und Zusammenspiel zurzeit noch nicht klar zu übersehen sind.

<sup>34</sup> Wasser- und Elektrizitätswirtschaft der Schweiz, M. SATTZEW, Einleitung, Allgemeines, Gesamtüberblick; Sonderabdruck aus Bull. SFV, 1945; A. ENGLER, Thermische Kraftwerke im Rahmen der schweizerischen Energiewirtschaft, Elektrizitätsverwertung 23, 117 (1948).