

Über den Bakteriengehalt des Zürichsees.

Von

LEO MINDER.

Mit einer graphischen Darstellung.

(Aus dem städt. Laboratorium, Zürich.)

(Als Manuskript eingegangen am 7. September 1927.)

Der Zürichsee ist speziell in seinem untersten Abschnitt wiederholt auf seinen Bakteriengehalt untersucht worden. So, um nur die eingehenderen Veröffentlichungen zu nennen von KLEIBER (1), um die Jahrhundertwende von PFENNIGER (2), von ROTH (1909—10) (3) und vom Verfasser (1914—16) (4). Alle diese Untersuchungen wurden mehr oder weniger im Interesse des Seewasserwerkes der Stadt Zürich ausgeführt. Wenn wir uns nochmals zu der gleichen Frage äussern, so geschieht das einmal deshalb, weil wir über ein bisher auch nicht entfernt erreichtes, umfangreiches Zahlenmaterial verfügen und dann, weil das Interesse am Zürichsee zur Entnahme von Trinkwasser nicht nur für die Stadt Zürich, sondern auch für die Ortschaften um den See im Wachsen begriffen ist. Eine Einzeldarstellung des Bakteriengehaltes, losgelöst von der übrigen Biologie und vom Chemismus rechtfertigt sich heute noch, weil wir über die Bedeutung und Wechselwirkung der Bakterien in und mit der übrigen Lebensgemeinschaft, kurz gesagt, im gesamten Stoffwechselbetriebe des Sees noch sehr wenig unterrichtet sind.

Unsere bakteriologischen Untersuchungen bilden einen Bestandteil physikalischer, chemischer und biologischer Untersuchungen des Zürichsees, die als Erweiterung aus den regelmässigen Beobachtungen des Sees im Auftrage der städt. Wasserversorgung hervorgegangen sind und bisher in fünf Veröffentlichungen vorliegen; die letzte vor ca. Jahresfrist erschienen. Unsere Darstellung umfasst die Keimzahlen und den Gehalt an Bakterium Coli von 1915 bis und mit 1926, und zwar von Wasserproben aus 0, 5, 10, 15, 30 und 50 Metern Seetiefe. Der Umstand, dass unsere Untersuchungen ziemlich regelmässig monatlich einmal durchgeführt und sich in dieser Weise auf alle zwölf Jahre erstrecken, mag einem brauchbaren Gesamtbild besonders günstig

sein. Die Stelle der Probenahme war ungefähr auf einer Linie Wollishofen (Horn)-Zollikon, etwas dem linken Ufer genähert, also in der Nähe der Seefassung der städt. Wasserversorgung und blieb immer dieselbe, was einer besonders guten Vergleichbarkeit der Zahlen unter sich von Nutzen ist. Seetiefe: ca. 50—60 Meter.

Die Bakterienzahlen.

Unter Bakterienzahl oder Keimzahl verstehen wir bekanntlich die Zahl der aus 1 cm³ Wasser auf leicht alkalischer Nährgelatine züchtbaren Spaltpilze, und zwar geben wir fast immer die Zählungen des fünften Tages an.

Wir gedenken in der vorliegenden kurzen Studie nicht unsere sämtlichen 595 Keimzahlbestimmungen detailliert zu verarbeiten. Diese mögen vielmehr soweit verwertet werden, als aus ihnen allgemeine Gesetzmässigkeiten hervorgehen oder hygienische Gesichtspunkte tangiert werden.

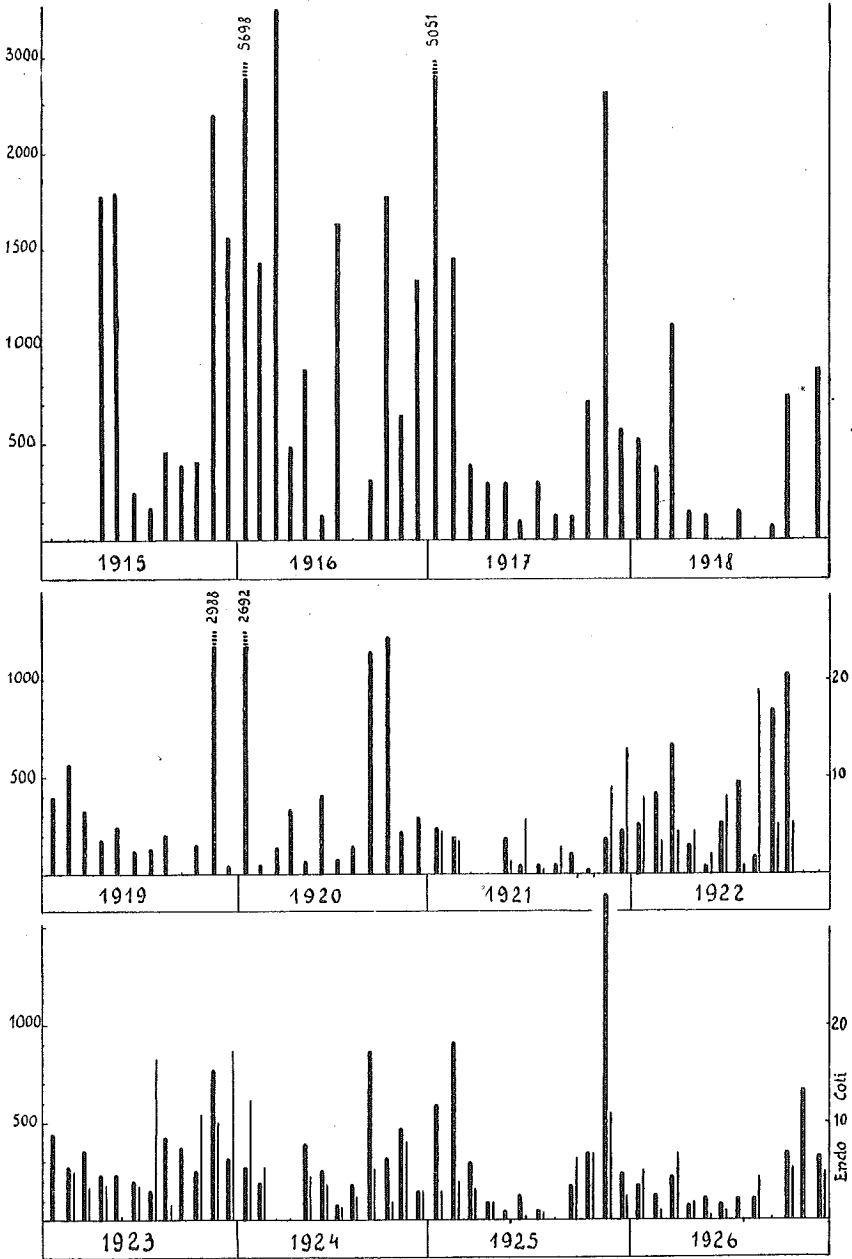
PFENNIGER (2) machte schon auf eine Eigentümlichkeit der Bakterienmengen des Zürichsees aufmerksam: ihre Periodizität Sommer-Winter. Im Sommer ist die Keimzahl im allgemeinen klein, im Winter hoch. Ich (4) konnte diese Periodizität näher beschreiben. Im Sommer ist der Bakteriengehalt in den obersten Wasserschichten in der Regel am niedrigsten; oft unter 100. Im Herbst (Oktober, November) nimmt der Bakteriengehalt in eben diesen Schichten zu und steigt dann leicht auf das Zehn-, Zwanzig- und sogar noch Mehrfache. Gleichzeitig wird das bakterienreiche Wasser dieser obern Schichten durch die dann einsetzenden Konvektionsströmungen (Sommerteil- bzw. Herbstvollzirkulation) mit dem Wasser der tieferen Lagen vermischt, sodass gewöhnlich der Bakteriengehalt dort zu-, an der Oberfläche aber abnimmt. Im Winter haben wir dann hohe, nach der Tiefe einigermassen ausgeglichene Keimzahlen. Dieser Verlauf der Periodizität kehrt in den Grundzügen jedes Jahr etwa wieder, wie zum Teil auch unsere graphische Darstellung ausweist, nur gelegentlich etwas verschleiert, was in dem manchmal doch recht sprunghaften Charakter der Bakterienzahlen begründet ist. Einzelne Züge aus diesen Periodizitätserscheinungen verlaufen aber recht präzise. So z. B. im Spätherbst das Vorücken der Bakterienmengen mit den Konvektionsströmungen nach der Tiefe, das sich so exakt einstellt, dass wir auf vielleicht eine Woche genau, hauptsächlich gestützt auf die Auslotung der Wassertemperaturen in vertikaler Richtung, die den Bereich der Konvektionsströmung kenntlich macht, angeben können, wann in der Fassung der städtischen Wasserversorgung (30 Meter unter dem Wasserspiegel) die hohe Keim-

zahl des Winters zu erwarten ist. Nur beiläufig erwähnen wir, dass alsdann auch aus denselben Gründen (Konvektionsströmungen) der Planktongehalt, insbesondere die im Herbst in Massenentwicklung stehende *Oscillatoria rubescens* D. C. („Burgunderblutalge“) in der Seefassungszone spontan zunimmt und die Vorfilter unangenehm belastet.

Als Hauptursache der Periodizität habe ich (4) die mehr oder weniger baktericide Wirkung des Sonnenlichtes im Sommer und Winter hingestellt und gleichzeitig gezeigt, dass Schwankungen in der Menge organischer Verunreinigungen für die Förderung bzw. Hemmung der Bakterienentwicklung nicht in Betracht kommen. Inzwischen sind von amerikanischen Forschern (5) im Lake Mendota analoge Untersuchungen ausgeführt worden, die aber keinen Einfluss der Belichtung in unserm Sinne feststellen konnten, während andererseits bestätigt wurde, dass Bakterienzahlen und organisches Material nicht in gegenseitiger Abhängigkeit stehen. Auch der Einfluss der Wassertemperatur wurde als belanglos befunden.

Ein Faktor scheint in der mehr oder weniger starken Insolation doch zu liegen, wenn auch vermutlich nicht der einzige. Ersteres wird bewiesen durch das umgekehrte Verhalten von Sonnenscheindauer und Keimzahlen; die Tatsache, dass höchste Keimzahlen im Zürichsee unter Eis gefunden wurden; die Eigentümlichkeit, dass, wie unsere Tabelle der Keimzahlmittel ausweist, das Jahr mit der niedersten mittleren Keimzahl, 1921, gleichzeitig das Jahr der höchsten Sonnenscheindauer ist, etc.

Das Problem ist komplizierter als der erste Blick vermuten lässt. Ein weiterer wichtiger Faktor mag in der Höhe der Wasserstoffionenkonzentration gefunden werden. Darüber wenigstens vorläufig eine Andeutung. Ich hatte früher schon (4) keine rechte Erklärung finden können, warum z. B. die Bakterienzunahme im Herbst zunächst nur auf die obersten Wasserschichten beschränkt sei. Es ist wohl möglich, dass die Bestimmung der Wasserstoffionenkonzentration nähere Einblicke gewähren wird. Das pH des Seewassers ist hauptsächlich abhängig von der Alkalinität und damit von der freien zugehörigen Kohlensäure und von der aggressiven Kohlensäure. Je höher diese Zahlenwerte, um so grösser die Wasserstoffionenkonzentration, bzw. um so kleiner das pH. Unsere zahlreichen Untersuchungen haben aber ergeben, dass über den ganzen Sommer bis in den Herbst hinein in den Oberflächenschichten freie Kohlensäure fehlt und die Alkalinität unter die Norm zurückgeht, also das pH sicher über 7,0 (nach TILLMANS-SCHÄPERCLAUS ca. 8) betragen muss, während in der Tiefe das Umgekehrte der Fall ist, das pH niedriger zu liegen kommt. Und dass Bakterien im allge-



Bakterienzahlen des Zürichsees, 1915—1926.

Jede dargestellte Zahl bedeutet das Mittel aus meist 5 Einzelbestimmungen bis 50 Meter Tiefe. Ab 1921 auch Zahl der Colibakterien (dünne Linien) erhalten auf Endo-Agar in 10 cm³ Wasser; ebenfalls Mittel aus je 4—5 verschiedenen Tiefen. Die Proben wurden in beiden Fällen entnommen von der Oberfläche, in 5, 15, 30 und 50 Metern Seetiefe.

meinen ein pH über 7 bevorzugen, ist bekannt. Das günstigste Substrat müssten damit im Herbst die Oberflächenschichten bieten wegen des hohen pH und der reduzierten Wirkung des Sonnenlichtes. Wir haben hierin vermutlich die Basis, die es erlauben wird, näheren Feinheiten in diesen Problemen, wenigstens was die im See vermehrungsfähigen Bakterien anbetrifft, auf die Spur zu kommen.

Von besonderem Interesse ist nun der Verlauf der Keimzahlen während den zwölf Untersuchungsjahren 1915 bis 1926. Ein Blick auf die graphische Darstellung, bei der jeder einzelne Punkt das arithmetische Mittel aus einer Tiefenserie (0 bis 50 Meter) von 4 bis (meist) 5 Einzelbestimmungen bedeutet, zeigt als auffälligsten Zug, dass die Keimzahlen in den Jahren 1915, 1916 und 1917 am höchsten, weit höher sind als alle späteren und ferner, dass auch später die Keimzahlsprünge, wie wir sie noch bis Anfang 1920 verzeichnen, dann seltener werden.

Endlich machen wir nochmals aufmerksam auf die ohne Ausnahme jedes Jahr wiederkehrenden Keimzahlsprünge, von den niederen Sommerzahlen auf die hohen Zahlen des Winters gegen den Herbst und Winter hin. Hätten wir nur die Keimzahlen der Oberflächenschichten dargestellt, so wären diese Sprünge viel auffälliger. In der Darstellung

Jahr:	Keimzahlen, Jahresmittel:	Sonnenscheindauer, Stunden im Jahr:	Niederschläge, mm im Jahr:
1915	1202	1457	1084
1916	1791	1427	1230
1917	1081	1607	1074
1918	493	1667	1011
1919	540	1665	1074
1920	585	1535	735
1921	133	1887	716
1922	406	1464	1359
1923	327	1682	1034
1924	328	1420	938
1925	433	1574	997
1926	212	1579	971
Mittel sämtlicher Keimzahlen	625		

der Mittel aus Tiefe und Oberfläche werden diese durch die in dieser Zeit gewöhnlich noch niedrigen Tiefenzahlen zum Teil kompensiert.

Um nun besonders der Ursache der Keimzahlabnahme nach unseren ersten Untersuchungs Jahren auf die Spur zu kommen, geben wir zunächst in der Tabelle Seite 358 die Jahresmittel der Keimzahlen und die beiden wichtigen meteorologischen Daten, Sonnenscheindauer und Niederschlagshöhe, beide für Zürich, registriert von der meteorologischen Zentralanstalt.

Aus diesen Daten lässt sich weder ein Zusammenhang der Sonnenscheindauer noch der Niederschläge mit den Keimzahlen auf den Zeitraum von 1915 bis 1917 erkennen.

Da Niederschlagshöhen und Sonnenscheindauer — cum grano salis — im umgekehrten Sinne schwanken, lässt es sich nicht leicht auseinanderhalten, welcher der beiden Einflüsse im einzelnen Jahr auf die Höhe der Jahreskeimzahl bestimmend sein könnte. Doch halten wir daran fest, dass 1920 bei etwas angestiegener Keimzahl die Niederschlagshöhe ohne Besonderheit in der Sonnenscheindauer ein Minimum war, während das kommende Jahr 1921, wie wir bereits andeuteten, bei nahezu gleicher Niederschlagshöhe aber der höchsten in den zwölf Untersuchungs Jahren gemessenen Sonnenscheindauer auch die kleinste durchschnittliche Jahreskeimzahl hervorbrachte.

F. NIPKOW (6) ist geneigt, den von ihm mannigfach im Zürichsee festgestellten Uferrutschungen im biologischen Betriebe des Sees eine grosse Rolle zuzuweisen. Uferrutschungen gibt NIPKOW an: Anfang 1918 und nach Mitte 1921. In unseren Keimzahlen kommt erstere nicht oder nicht deutlich, letztere gar nicht zum Ausdruck.

Wenn wir hingegen bei den Verunreinigungsquellen des Sees durch Abwässer Umschau halten, so kommen wir zu einer zwanglosen und überzeugenden Deutung der Erscheinung. Mit der Erstellung des neuen Seewasserwerkes (1914 dem Betrieb übergeben) wurden auch gleichzeitig die Sanierungen der Abwassereinläufe des linken Ufers in der Fassungsgegend anhand genommen, die z. T. bis heute noch fortgesetzt werden. Als einen wichtigen Schritt in diesen Bestrebungen bezeichnet die Wasserversorgung der Stadt Zürich (nach gütiger persönlicher Mitteilung) die Erstellung der Kanalisation an der Seestrasse von der Stadtgrenze bis zum „Löwen“ in Bendlikon, mit sukzessive erfolgtem Anschluss der Häuser, und insbesondere der regelmässige Beginn des Betriebes des zugehörigen Abwasserpumpwerkes, ungefähr Anfang 1918, das eine erhebliche Menge häuslicher Abwasser und damit eine Unmenge Bakterien vom See fernhielt und in die städtische Kanalisation abzugeben begann. Von da ab fallen unsere Keim-

zahlen, zuerst spontan um einen grossen Schritt und zeigen im grossen und ganzen auch späterhin noch fallende Tendenz.

Auf die Beseitigung dieser grösseren Verunreinigungsquelle reagieren also auch die Keimzahlen des Sees; ein treffliches Beispiel dafür, wie mit dem Verschwinden von Verunreinigungsquellen ein beträchtlicher Abschnitt eines grossen Sees bis weit gegen die Seemitte in bezug auf seinen Bakteriengehalt günstig beeinflusst wird.

Ich habe in verschiedenen Arbeiten über die Umbildung des primär oligotrophen Zürichsees zum eutrophen „baltischen“ Typus gesprochen und diese Umstellung mittelst Sauerstoffbestimmungen und mannigfach nachweisbaren Änderungen im sonstigen chemischen Charakter, sowie mit den in Übereinstimmung damit aufgetauchten Plankterinvasionen nachgewiesen. Man könnte sich nun fragen, ob der unterste Abschnitt eine Rückbildung im Sinne der Keimzahlen erkennen lasse. Aus den erwähnten Untersuchungen geht so etwas noch nicht vor sich. Vermutlich hat der Rückgang der Verunreinigungen doch noch einen zu lokalen Charakter.

Über die Grössenordnung, in der sich die Bakterienzahlen in unserem Untersuchungszeitraum bewegten, gibt folgende Tabelle Aufschluss, in der sämtliche Bakterienzahlen nach Grössenklassen eingeordnet und der Anteil in Prozenten ausgerechnet ist.

Grössen- klasse:	<100	101- 200	201- 300	301- 400	401- 500	501- 1000	1001- 1500	1501- 2000	2001- 3000	3001- 4000	4001- 5000	>5000
Anteil:	127	123	97	60	37	52	31	17	21	9	6	15
In Pro- zenten: }	21,3	20,7	16,3	10,1	6,2	8,7	5,2	2,9	3,5	1,5	1,0	2,5
	444 entsprechend 74,6 %											

Wir ersehen daraus, dass rund $\frac{3}{4}$ aller Keimzahlen unter 500 liegen und davon wieder nicht ganz die Hälfte unter 200. Rund 25% aller Keimzahlen übersteigen 500 Bakterien im cm^3 Wasser, und 16,6% oder ziemlich genau $\frac{1}{6}$ gehen über die Zahl 1000 hinaus. Allgemein lässt sich noch angeben, dass fast alle ganz niedrigen Keimzahlen auf die Sommermonate entfallen und die meisten ganz hohen in die ersten Untersuchungsjahre mit den durchgehends höheren Keimzahlen.

Endlich geben wir noch die Jahresmittel der einzelnen untersuchten Wasserschichten an.

Jahr:	0 Meter Tiefe:	5 Meter Tiefe:	15 Meter Tiefe:	30 Meter Tiefe:	50 Meter Tiefe:
1915	1706	1320	1060	971	953
1916	1115	1531	2670	1774	1867
1917	1368	1174	1011	929	924
1918	304	406	766	275	731
1919	494	496	586	277	746
1920	406	582	1092	437	406
1921	103	107	243	123	87
1922	522	310	610	205	385
1923	389	374	381	222	267
1924	232		561	333	186
1925	561		655	295	220
1926	275		281	198	93
Gesamt- mittel }	623	700	826	503	571

Wir konstatieren also, dass in den meisten Jahren das höchste Mittel bei 15 Metern Tiefe getroffen wurde. Jedoch müssen wir im ganzen genommen doch sagen, dass — die Bakterienzahlen als Ausdruck für Verunreinigungen genommen, was teilweise richtig ist — eine in bezug auf Bakterienarmut bevorzugte Wasserschicht eigentlich nicht existiert.

Das Bakterium Coli.

Während wir bei den übrigen Bakterien eine Unterscheidung zwischen „echten“ Wasserbakterien, d. h. solchen, die ihrer Natur nach zur Biozönose des Wassers gehören und eingeschleppten Formen, die, ins Wasser gelangt, sich wohl halten und vermehren können, nicht in der Lage sind einen auch nur einigermaßen sicheren Unterschied zu machen, dürfen wir beim Bakterium Coli mit ziemlicher Gewissheit sagen, dass es wasserfremd ist und, ins Wasser gekommen, dort sich nicht vermehrt, sondern nach längerer oder kürzerer Zeit abstirbt. Gewiss ist man schon lange geneigt gewesen, manche im Wasser getroffenen Farbstoffbildner unter den Bakterien als eigentliche Wasserbewohner aufzufassen und neuere Untersuchungen von amerikanischer Seite (7) scheinen diese Auffassung zu bestätigen. Aber bei dem langsamen Wachstum der Wasserbakterien ist es nicht immer ganz einfach, diese ihrer auch sehr langsamen Farbstoffbildung wegen als solche zu erkennen. Unter allen Umständen lassen unsere Untersuchungen der

kurzen Bebrütungsdauer wegen darüber keine Schlüsse zu. Weil Coli hauptsächlich ein Bewohner des Darmes des Menschen und verschiedener Wirbeltiere ist, spielt es in der Wasserhygiene eine ausserordentliche Rolle als Indikator für fäkale Verunreinigungen. Dazu kommt noch die, wenn man nicht zu engherzig abgrenzen will, leichte und rasche Nachweisbarkeit dank seiner Eigenschaft der Vergärung gewisser Zuckerarten, wie Milchzucker und Traubenzucker. Während zeitweise einzelne Forscher geneigt waren, auch dem Colibefund wasserhygienisch nur eine bedingte Rolle zuzuschreiben, eben weil z. B. auch Tiercoli den Befund trüben können und die gefürchteten, durch Wasser übertragbaren Krankheitserreger (des Typhus, der Cholera) nur dem Darm des Menschen entstammen, scheint sich die Sache neuerdings zu wenden zugunsten des Colibefundes. Es hat sich nämlich gezeigt, dass höchst wahrscheinlich auch Coliformen, worunter Tiercoli, „atypische Coli“, „Paracoli“, gewisse, wenn auch nicht gefährliche Gesundheitsstörungen hervorrufen können, sodass auch diese atypischen Coli in Zukunft ebenfalls eine gewisse Rolle bei der hygienischen Wasserbeurteilung zu spielen berufen sein dürften.

Wir haben im Verlaufe der Jahre verschiedene Elektivverfahren zum Nachweis von Bakterium Coli angewendet, sind aber schliesslich zu der Überzeugung gekommen, dass es für die Technik der Trinkwasseruntersuchung wenigstens richtiger ist, viele Proben nach einfacheren Methoden zu untersuchen, wie aus einzelnen Proben mit minutiösen Verfahren viel herausholen zu wollen. (Das gilt auch für die chemische Untersuchung, die man längere Zeit und z. T. jetzt noch als „zu wenig fein“ vernachlässigen zu können glaubte. So gut es Fälle gibt, in denen die chemische Untersuchung nichts zu sagen hat, gibt es andere, in denen die bakteriologische Untersuchung verfehlt wäre).

Das einfache Verfahren, das wir stets beibehalten und auch auf unsere Seeuntersuchungen übertragen haben, ist die Prüfung abgemessener Wassermengen auf das Vermögen, eine leicht mit Milchsäure angesäuerte Milchzucker-Peptonlösung (nach FREUDENREICH) bei 37° C nach spätestens 48 Stunden unter deutlicher Gasbildung zu vergären. Bakterien, die sich in dieser Weise verhalten, haben wir als Coli angesprochen. Der Fehler, der dadurch entsteht, dass gelegentlich einmal Nichtcoli den Befund trüben könnten, dürfte in Anbetracht der grossen Zahl der Untersuchungen nicht mehr ins Gewicht fallen. Die gleichen Proben, in denen die Keimzahl bestimmt wurde, dienten auch zur Prüfung auf Bakterium Coli. Wir haben immer eine Serie von Rohkulturen mit 0,2, 1, 5, 10 und im Sommer auch 20 cm³ Wasser angelegt und bezeichnen die Mindestmenge Wasser, in der eben noch

Milchzucker vergärende Organismen auftreten, als „Colititer“. Colititer 5 z. B. heisst dann: Es fanden sich in 5 cm³ Wasser mindestens 1, aber weniger als 5 Colibakterien. Es handelt sich also um ein Näherungsverfahren, das an die Genauigkeit der Keimzahlbestimmungen nicht herankommt.

Seit 1921 haben wir parallel zu dem genannten noch ein anderes Elektivverfahren zur Bestimmung des Coligehaltes geübt; die direkte Zählung auf ENDOSCHEM FUCHSINSULFITAGAR. Hierbei wird in einem Apparat, im wesentlichen aus einem länglichen Kasten bestehend durch einen elektrischen Ventilator ein vorgewärmter Luftstrom durchgesaugt, der es ermöglicht, auf den erstarrten Agarplatten im Apparat wenige Kubikzentimeter Wasser in kurzer Zeit bei niedriger Temperatur einzudampfen (Methode nach MARMANN, Göttingen). Die Temperatur darf nicht erheblich über etwa 40° betragen. Dass Coli solche Temperaturen kurze Zeit zu ertragen vermag, beweist das Elektivverfahren von EIJKMAN, das sogar bei 46° bebrütet. Die Coli werden auf der Oberfläche des Agars fixiert und können als Kolonien nach spätestens 48 Stunden bei 37° Bruttemperatur gezählt werden. Dabei wurden fuchsinglänzende Kolonien und tiefrote mit rötlichem Hof zusammengezählt. Das Verfahren ist, was Exaktheit betrifft, dem Titerverfahren natürlich überlegen. Wir haben die so gewonnenen Colizahlen in der graphischen Darstellung der Keimzahlen mit aufgenommen, kenntlich an den dünnen Vertikallinien ab 1921. Die Linien veranschaulichen die Colizahlen auf 10 cm³ Wasser berechnet und zwar jeweils auch — wie bei den Keimzahlen — das Mittel einer Tiefenserie von 4—5 Bestimmungen. Es wird auch hier bewiesen, dass Coli die Schwankungen der Keimzahlen Sommer—Winter ungefähr mitmacht. Die Grössenordnung der durch das Verdunstungsverfahren auf der Endo-Platte erhaltenen Coli stimmt mit der durch das Titerverfahren bestimmten ziemlich gut überein.

Zu unseren Betrachtungen über die Colifrage halten wir uns an das viel umfangreichere Zahlenmaterial der nach dem Titerverfahren nachgewiesenen Coli. Auf eine Übersicht der sämtlichen 596 Colibestimmungen muss verzichtet werden. Es mögen die Titerzahlen absolut und in Prozenten in nachfolgender Übersicht zusammengestellt werden.

Bakterium Coli ist eben nachweisbar in cm ³ Wasser :	0,2	1	5	10	20	>35
Zahl der Befunde :	26	126	147	127	117	53
In Prozenten :	4,4	21,1	24,7	21,3	19,6	8,9

In rund 87 % der Untersuchungen lag also der Colititer ziemlich gleichmässig verteilt innerhalb der Grenzen 1—20. Im besonderen ergänzen wir noch: Die Keimzahlschwankungen Sommer—Winter macht Coli auch nach diesem Näherungsverfahren bestimmt, deutlich mit, d. h. es tritt im Winter eine Verschiebung des Titers nach unten ein. Die Zunahme des Coligehaltes mit den Keimzahlen erklären wir damit, dass die Existenzbedingungen für Coli im Herbst und Winter günstiger werden, es sich also länger halten kann, nicht dass Coli sich vermehrt.

Was die Schwankungen, wie bei den Keimzahlen beobachtet, in den einzelnen Jahren anbetrifft, treten diese nicht deutlich in Erscheinung. Das ist aber begreiflich wenn wir bedenken, dass die hohen Keimzahlen von 1915, 1916 und 1917 später durchschnittlich doch nur etwa auf $\frac{1}{3}$ zurückgehen, während die periodischen Schwankungen Sommer—Winter in der Regel ein viel grösseres Ausmass besitzen. Immerhin zeigt es sich, dass im grossen und ganzen der Coligehalt nach 1916 abnimmt, kenntlich daran, dass in den späteren Jahren die ganz hohen Titerzahlen relativ zunehmen, wobei allerdings gleichzeitig seit 1923 auch die Zahlen, die hohen Coligehalt andeuten, ebenfalls wieder in Zunahme begriffen sind. Doch darauf möchte ich kein so grosses Gewicht legen. Von diesem Näherungsverfahren dürfen wir nicht verlangen, dass es allzufeine Schwankungen unzweideutig anzeigt.

Hygienische Betrachtungen.

Mit Rücksicht auf den eingangs erwähnten Umstand, dass der Zürichsee auch weiterhin noch zur Trinkwasserentnahme herangezogen werden dürfte, prüfen wir die Frage, was unsere neueren Untersuchungen in bezug auf dessen Eignung vom bakteriologischen Standpunkt aus für Schlussfolgerungen zulassen.

Die Keimzahlen haben hier zur Beurteilung bedingten Wert, aus dem schon angedeuteten Grunde, weil wir nicht sicher wissen, welche Bakterien im See als Verunreinigungsindikatoren anzusprechen und welche dem See eigen, wie etwa die Planktonorganismen, und dann auch wie diese als harmlose Wasserbewohner anzusehen sind. Wenn wir immerhin an das Zurückgehen der Keimzahlen nach der Beseitigung der Schmutzwassereinläufe um die Zürcher Seefassungsstelle denken, dürfen wir die dringende Vermutung aussprechen, dass ein recht hoher Prozentsatz von den Bakterien des Zürichsees den Abwasserzufuhren entstammte und wahrscheinlich jetzt noch entstammt.

Mit der Bestimmung des Coligehaltes sind wir schon besser daran. „Wo Colibakterien in nennenswerter Zahl im Wasser fehlen, darf das

Wasser als zur Zeit nicht infiziert betrachtet werden“ (GÄRTNER). Es hat sich heute unter den Wasserhygienikern der Erfahrungssatz herausgebildet, dass Bakterium Coli in 1 cm³ Wasser nicht oder doch nur höchst selten vorkommen darf, damit ein Wasser als Trinkwasser noch als unverdächtig gelten kann. Das ist eine allgemeine Richtlinie, die aber eine schablonenmässige Anwendung für alle Fälle selbstverständlich nicht zulässt.

Wenn wir uns an die Colibefunde halten, so ergibt sich, dass wir in 1 cm³ oder weniger Wasser in 25,5% der Untersuchungen positive Befunde hatten. Das ist nicht mehr vereinzelt, wenn noch dazukommt, dass in etwa $\frac{1}{6}$ dieser Fälle Coli auch noch in 0,2 cm³ Wasser nachzuweisen war, also in 1 cm³ mehr oder weniger zahlreich auftrat. Dann ist zu sagen, dass wahrscheinlich unsere Resultate eher zu günstig als zu ungünstig anzusehen sind, weil wir unsere Proben immer weit im See draussen entnahmen. Endlich ist zu betonen, dass auch noch Differenzen seeaufwärts zu erwarten sind, aber auch wieder im Sinne einer grösseren Verunreinigung. Gelegentlich untersuchte Stichproben lassen vermuten, dass der Zürichsee in seinem obern, wenig tiefen Teil (etwa von Wädenswil aufwärts bis Rapperswil) sowohl in bezug auf Bakteriengehalt wie Coligehalt erheblich ungünstiger dasteht. Das erscheint auch begreiflich, weil dort eine viel geringere Wassermasse die Verunreinigungen verdünnt, während abwärts der See sich zur grössten Tiefe öffnet, die der Verdünnung und Sedimentation nur von Vorteil sein kann.

Aber auch unsere Untersuchungen beweisen nur, dass wir Zürichseewasser nicht ohne Entkeimungsmassnahmen, sei es langsame Sandfiltration, oder Chlorbehandlung als Trinkwasser verwenden dürfen, nicht mehr! Dass filtriertes Seewasser sich zur Versorgung eignet, das beweist die Stadt Zürich, die in bezug auf Typhusmorbidity z. B. bekanntlich seit langem sehr günstig dasteht.

Schliesslich ergeben sich einige nicht unwichtige Anhaltspunkte für die Behandlung von Entkeimungsanlagen. Unter Beachtung der Tatsache, dass das Seewasser über den Sommer fast immer relativ (keim- und) coliarm ist, sind die Anforderungen an die Anlagen dann auch entsprechend geringer. Es wird zulässig sein, die Filtrationsgeschwindigkeiten beispielsweise zu steigern oder die Chlorgaben zu verringern. Reparaturen, Reinigungen und dergl., wodurch eventuell auch vorübergehende Ausschaltungen von Teilen einer Anlage nötig sind, können dann am zweckmässigsten vorgenommen werden. Von Oktober jedoch bis in die ersten Monate des kommenden Jahres hinein wird man sich auf Höchstleistungen gefasst machen müssen und es

ist dann geradezu ein Gebot der Sicherheit, dass die Anlage von Zeit zu Zeit bakteriologisch kontrolliert wird.

Was die Wahl von Wasserfassungsstellen anbetriift, wird diese zunächst sich nach den Uferverhältnissen richten müssen. Nahe Schmutzwassereinflüsse sind zu vermeiden, eventuell zu verlegen. Wenn man untersuchen will, in welcher Weise Verunreinigungen sich noch äussern, möchten wir der Coliprobe den Vorzug geben. Keimzahlbestimmungen sind launenhaft; wenn die Untersuchungen nicht in grösserem Maßstabe durchgeführt werden, geben sie selten ein klares Bild. Aber man wird sich auch bei der Colibestimmung genau überlegen müssen, in welcher Jahreszeit man untersucht und in was für thermischen Zuständen der See ist. Für die Wahl der Fassungstiefe wird ein Kompromiss massgebend sein zwischen den Umständen: technische Schwierigkeiten, maximale Sommertemperaturen des Wassers und Planktongehalt, wobei die beiden erstgenannten den Ausschlag geben.

Schliesslich möchten wir auch noch einzig vom Standpunkte der Seewasserversorgungen aus der Reinhaltung des Sees das Wort reden. Als Sicherheitsfaktor allerdings und zwar besonders mit Rücksicht auf schon vorhandene und noch zu erstellende Kleinanlagen. Es ist damit zu rechnen, dass diese nicht immer mit der nötigen Sachkenntnis bedient, oder dass Fehler nicht sofort aufgedeckt werden. Unter solchen Umständen kann es dann nicht mehr ganz gleichgültig sein, was für eine Qualität das Rohwasser besitzt.

Literaturangabe.

1. KLEIBER, ANTON, Qualitative und quantitative bakteriologische Untersuchungen des Zürichseewassers. Diss. Zürich 1894.
2. PFENNIGER, A., Beiträge zur Biologie des Zürichsees. Zeitschr. für Gewässerkunde. Bd. 4, 1902.
3. ROTH, O., Bericht über bakteriologisch-hygienische Untersuchungen des Zürichsee-Wassers. Erstattet im Auftrage der Kommission betreffend Erweiterung der Wasserversorgung der Stadt Zürich. Zürich 1910.
4. MINDER, L., Zur Hydrophysik des Zürich- und Walensees, nebst Beitrag zur Hydrochemie und Hydrobakteriologie des Zürichsees. Arch. für Hydrobiologie. Bd. XII. Stuttgart 1918.
5. FRED, E. B., WILSON, F. C. and DAVENPORT, AUDREY, The Distribution and Significance of Bacteria in Lake Mendota. Department of Agricultural Bacteriology, University of Wisconsin, Madison, Wisconsin, 1924.
6. NIPKOW, F., Über das Verhalten der Skelette planktischer Kieselalgen im geschichteten Tiefenschlamm des Zürich- und Baldeggersees. Diss. Zürich 1927.
7. SNOW, LAETITIA, M. and FRED, E. B., Some Characteristics of the Bacteria of Lake Mendota. Notes from the Department of Agricultural Bacteriology, University of Wisconsin and from the Biological Laboratory of the Wisconsin Geological and Natural History Survey. XXIV. 1926.