

# Der Zürichsee als Trinkwasserspender

Autor(en): **Lüscher, O.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie**

Band (Jahr): **38 (1946)**

Heft 10-11

PDF erstellt am: **21.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-921375>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## Der Zürichsee als Trinkwasserspender

Von Ing. O. Lüscher, Direktor der Wasserversorgung Zürich. (Fortsetzung und Schluss.)

### Die moderne Wasserbehandlung des Zürichseewassers

Es liegen bereits reiche Erfahrungen mit den fünf bestehenden Seewasserwerken von Gemeinden am Zürichsee, aber auch an anderen Schweizerseen vor. Am Bodensee wird das Wasser teilweise ganz ohne künstliche Behandlung als Trinkwasser verwendet, an einzelnen Orten wie Steckborn wird es schnellfiltriert; in St. Gallen ist seit langem die langsame Filtration in Anwendung. Am Genfersee besitzt Lausanne Schnellfiltration mit nachfolgender Chlorung als Folge ganz erheblichen Planktongehalts, während Genf mit eher grösserem Planktongehalt, ja zeitweise viel grösserem als je in Zürich, sich vorläufig noch mit einer Chlorung begnügt und die Algen in Kauf nimmt.

Ganz allgemein zeigt uns die Natur den Weg zur einfachsten Reinigung, nämlich die Filtration mittels Sandschichten zur Entfernung der Verunreinigungen durch organische Schwebestoffe wie Algen und Krebschen, Bakterien und unorganische Trümmer und Trübungsstoffe. Das verwendete Rohwasser ist aber nirgends so unrein wie im Ausland vielfach verwendetes Flusswasser, das erst alle möglichen Vorbehandlungen, wie Klärung durch Sedimentation, Ausfällen der feinsten, schwer absetzbaren Trübungsstoffe durch Alaunzusatz etc. verlangt. Der See wirkt selbst als bestes Klärbecken mit längster Einwirkzeit. Die Algen spielen bei unserem See neben den Krebschen und Bakterien die Hauptrolle, indem sie, wie erwähnt, in Massenproduktion auftreten und namentlich in verwesendem Zustand dem Wasser einen Geruch durch ätherische Öle mitteilen können. Diese Erscheinungen zeigen sich bei uns vorwiegend im Winter, weil dann die Algen tot absinken und die Fassungen passieren. Glücklicherweise fällt diese Zeit der stärksten Filterbelastung mit der des geringeren Wasserverbrauches zusammen. Die Langsamfiltration ermöglicht eine ganz gründliche, mechanische und biologische sowie teilweise auch biochemische Reinigung. Die Schnellfiltration entfernt etwas weniger gründlich die Schwebestoffe mit den damit zusammenhängenden Bakterien, und es sind die meisten Bakterien noch durch Chlor etc. abzutöten. Beide Filtrationsprozesse können, wie in Zürich, besonders wirkungsvoll zur Doppelfiltration kombiniert werden.

Die langsame Sandfiltration eignet sich gut zur praktisch völligen Reinigung für wenig getrübt und nicht stark mit Plankton verunreinigtes Wasser, am Zürichsee also für vorgereinigtes Wasser, das in Grobfiltern bereits den Grossteil der Schwebestoffe verlo-

ren hat. Sie muss aber kontinuierlich erfolgen und darf nicht länger als stundenweise unterbrochen werden. Unmittelbar über und in der obersten Sandschicht sammelt sich eine Ablagerung feinsten organischer und anorganischer Schwebestoffe von klebriger, gallertartiger Beschaffenheit. Der gleichmässige Durchfluss durch die feinen Poren ergibt sehr engen Kontakt mit Protozoen und anderen Lebewesen, die die Bakterien vertilgen. Nebenher läuft eine teilweise Oxydation und Mineralisation der organischen Stoffe; es spielt also der Sauerstoffgehalt des Wassers eine Rolle. Mit Zunahme der Betriebsdauer wird die Filterhaut dichter, der Durchfluss erschwert, der Druckverlust steigt an, und es muss schliesslich unter Ausserbetriebsetzung der Kammer die Haut, d. h. die oberste 5—10 mm starke Sand- und Schleimschicht, mittels flacher Schaufeln abgehoben und entfernt werden. Hernach muss erst wieder durch Rohwasserzufluss während einigen Tagen eine schwache Filterhaut gebildet und ausreichende Entkeimung erzielt werden, bevor das Filtrat als Trinkwasser verwendet wird. Die Laufperiode, d. h. Betriebszeit einer Kammer zwischen zwei solchen Abschlämmungen hängt von der Beschaffenheit des Rohwassers und speziell der Planktonmenge ab.

In Zürich konnte durch Vorschalten von Grobfiltern mit 60—90 % Entfernung des Planktons eine derartige Entlastung der Reinfiler erreicht werden, dass die Laufzeit allgemein auf ein Jahr gesteigert werden konnte, während z. B. in Rorschach bei etwas grösserer Filtriergeschwindigkeit, aber mit viel weniger Plankton die Laufzeit der Reinfiler der Stadt St. Gallen nur 25—60 Tage beträgt und dann die Reinigung nicht mehr in die Zeit niedrigen Verbrauches verlegt werden kann. Durch die Anordnung der Vorfilter konnte Zürich auch die Filterleistung von 3,0 auf bis 6,0 m<sup>3</sup>/Tag und m<sup>2</sup> Filterfläche im Sommer steigern. Die stärkste Belastung der Filter in Zürich erfolgt durch das massenhafte Auftreten der feinen fadenförmigen Burgunderblutalge *Oscillatoria rubescens*, die eine besonders feine Filtrierung verlangt; das gleiche gilt für den ganzen unteren Zürichsee. In den Feinfiltern wird das Plankton zu 100 %, und es werden die restlichen Bakterien bis auf einige wenige pro cm<sup>3</sup> entfernt; ebenso verschwinden gelegentliche fischelige Gerüche. Das Reinwasser ist dem besten Grund- oder Quellwasser mindestens gleichwertig. Die Vor- oder Grobfilter haben eine geringere Sandschicht, wirken nur mechanisch mit 40—50 m/Tag

Geschwindigkeit und werden alle 3—5 Tage durch Rückspülung von unten nach oben mit Wasser und Druckluft mittels eines Röhrensystems im Kies gereinigt. Die ganze Sandschicht wird so durchspült, und das schmutzige Spülwasser fließt oberflächlich in die Kanalisation ab.

Die Langsamfilter und besonders die mit Vorfiltern kombinierten haben aber als Nachteile: grosse Anlagen mit entsprechendem Platzbedarf und Baukosten, Notwendigkeit der periodischen Filterreinigung mit längerem Betriebsunterbruch der einzelnen Kammern, allfällige Versager bei starken Algeninvasionen und geringe Anpassungsfähigkeit an rasche Aenderung des Bedarfs und der Rohwasserbeschaffenheit, Notwendigkeit einer erhöhten Kontrolle. *Die Schnellfiltration* ist eine verbesserte Grobfiltration mit höherer Sandschicht. Sie arbeitet mit bis 120 m/Tag Geschwindigkeit und braucht daher wenig Platz und ist billig im Bau und Betrieb. Das System ist heute das übliche für die Behandlung von Seewasser. Es entfernt bei guter Ausführung bis zu 98 % der Oscillatoriafäden und fast alle stärker sperrigen andern Algen vollständig. Die nachfolgende Chlorung durch Keimabtötung führt gelegentlich zur Beeinträchtigung im Geruch; auch ein Geruch von den Algen her verschwindet nicht so vollständig wie bei der Langsamfiltration. Die Reinigung erfolgt wie bei den Grobfiltern durch Rückspülung mit Druckwasser und Druckluft oder nur mit jenem. Es gibt offene und geschlossene Ausführungen, von denen jene heute billiger und zweckmässiger sind und für grössere Leistung allein in Frage kommen. Andere Reinigungsmethoden für Zürichseerohwasser kommen nach dem heutigen Stande der Technik kaum in Frage. Es ist aber zu hoffen, dass die Chlorung einmal durch ein anderes Sterilisationsmittel ersetzt werden kann; es ist speziell an Ozonbehandlung zu denken, sobald einmal die Apparatur hiefür einfacher und billiger sein wird und zuverlässiger arbeitet.

#### *Der Zustand des Zürichsees*

Die durch unsere Ausführungen dargestellte ausserordentliche Bedeutung des Zürichsees als Spender von Trinkwasser für die Ufergemeinden und die vielen Klagen über seine steigende Verschmutzung führen zur Frage, wie es damit steht, und welchen Einfluss ein solcher fortlaufender oder gar vermehrter Uebelstand auf den Betrieb der Seewasserversorgungen künftig haben kann. Darüber kann anhand sehr vieler Untersuchungen vorweg das Folgende gesagt werden:

Wenn in Alarmrufen von einem kranken oder gar erstickenden Zürichsee gesprochen worden ist, dessen Fäulniszone sich der Oberfläche nähert, so ist dies sicherlich übertrieben. Dagegen kann nicht bestritten

werden, dass ein recht ungünstiger Einfluss auf die Dauer zu erwarten ist als Folge nicht eines akuten, wohl aber eines chronischen Zustandes, wenn nicht gründlich Einhalt getan wird. Die Verschmutzung ist eine Folge der übermässigen und ungehörigen Einleitung von Schmutzwasser der Ufergemeinden, dessen Menge das Selbstreinigungsvermögen des Gewässers weit übersteigt. Der Zürichsee bildet aber längst keinen Ausnahmefall mehr. Ungünstige Veränderungen der Wasserbeschaffenheit und Faulschlammabildung am Grunde im Laufe der letzten Jahrzehnte zeigen sich auch beim Murtener-, Pfäffiker-, Greifen-, Baldegger-, Hallwyler- und Zugersee. Der Zürichsee ist gerade infolge dieser Zustandsveränderung seit langem chemisch und biologisch gut erforscht, wozu namentlich die Verwendung seines Wassers für die städtische Wasserversorgung Anlass gegeben hat. Es besteht darüber eine reiche Literatur sowohl von privaten Forschern als von amtlichen Kontrollstellen, namentlich vom Stadtchemiker und seinen Organen. Kanton und Stadt haben zusammen eine wissenschaftliche Erforschung des Sees durch das Hygieneinstitut der ETH. 1929—32 veranlasst. Neuerdings sind Kantonschemiker und Stadtchemiker auf Grund eines gemeinsamen Programmes in systematischen Untersuchungen damit beschäftigt, den Zustand des Sees und die fortschreitenden Veränderungen der Wasserbeschaffenheit zu ergründen und die minimalen Anforderungen für die künftige Reinhaltung mittels gründlicher Reinigung der einzuleitenden Abwasser der Seegemeinden festzustellen. Aus den bisherigen Ermittlungen, bei denen die Wasserversorgung Zürich mitgeholfen hat, ergibt sich das Folgende:

Der freie See ausserhalb der Uferzone mit der Hauptmasse seines Wassers bildet die Stätte einer Lebensgemeinschaft von kleinsten schwebenden Bakterien, Pflanzen und Tieren, des sogenannten Planktons, das sich auf Grund der vorhandenen Nährstoffe im Wasser selbst reguliert. Die primäre Verunreinigung des Sees entsteht nun durch feste und gelöste Schmutzstoffe und ihre Zersetzungsprodukte. Diese dienen der Fauna und der Flora im See, namentlich auch dem Pflanzen-Plankton als Nährstoffe zum Lebensunterhalt und werden dabei verbraucht, was als biologische Selbstreinigung des Gewässers bezeichnet wird. Diese Nährstoffe fördern das Wachstum des Planktons ähnlich wie Dünger; es kann zur Massentwicklung kommen, doch sterben die Lebewesen wiederum periodisch ab, und es entsteht neues, organisches, zersetzungsfähiges Material, das je nach Vorhandensein von gelöstem Sauerstoff im Wasser beim Absinken zersetzt und mineralisiert wird oder am Grunde verfault und damit eine sekundäre Verunreinigung des Sees bildet.

Die primäre Verunreinigung ist hygienisch viel bedenklicher, unappetitlicher und kann infektiös wirken. Aus der sekundären können keine Krankheitserreger entstehen. Sie kann aber doch zu lästigen Erscheinungen führen, wie Uebermass an Schwebestoffen, Faulgas, Manganausfällung durch Bakterien, Schwefelwasserstoff, Kohlensäureüberschuss, Aggressivität des Wassers etc., welche dessen Gebrauchsfähigkeit beeinträchtigen. Es kommt im ganzen auf das totale Ausmass der Verunreinigung und weniger auf deren Konzentration an, da Wasserbewegungen eine starke Verdünnung erzielen. Diese Eigenschaften des Rohwassers können durch die modernen Behandlungsmethoden teilweise oder ganz behoben werden, doch ist dies oft umständlich und teuer und hinterlässt gelegentlich Spuren im Reinwasser, die mindestens seine Eignung zum Trinken beeinflussen können. Der See verliert aber auch an Aussehen und Eignung als Badegelegenheit. Es besteht daher das grösste Interesse der Seeanwohner, durch rechtzeitige Massnahmen der Seeverunreinigung Einhalt zu tun und den Trinkwasserspender nicht zu verderben; es darf das Selbstreinigungsvermögen des Sees nicht überschritten werden. Dieses hängt aber von der Aufnahme und Zufuhr von Sauerstoff aus der Luft und seiner Verbreitung in allen Wasserschichten ab, die wiederum von den thermisch bedingten vertikalen Konvektionsströmungen und horizontalen Wasserbewegungen beeinflusst sind. Diese Faktoren lassen sich auf künstlichem Wege kaum ändern. Sonnenwärme, Wind und Wasserabfluss, vor allem die erstere, sind die treibenden Elemente, welche die Thermik des Seewassers hauptsächlich bedingen. Die stetigen Temperaturänderungen von der Oberfläche her über das ganze Jahr verursachen vertikale Ausgleichsströmungen des Wassers mit der Neigung, das dichteste Wasser von 4° in die tiefste Lage zu drängen und eine natürliche Schichtung nach der Schwere herbeizuführen. Bei völligem Ausgleich der Temperatur auf 4° besteht die Winterstagnation in der Wasserbewegung, bei erreichter Schichtung nach der Schwere die Sommerstagnation. Dazwischen vollziehen sich die Ausgleichsströmungen mit der Durchmischung des Wassers und der Zufuhr des Sauerstoffs, der Kohlensäure und anderer Stoffe auch in der Tiefe. Von der Intensität dieser Bewegungen mit eventuellen Vollzirkulationen hängt also die Belüftung des Wassers und seine Versorgung mit gelöstem Sauerstoff ab, ohne den die Abbauprozesse nicht normal verlaufen. Die üblichen Frühjahrs- und Herbstvollzirkulationen vollbringen die Durchmischung zur Hauptsache; sie sind nach *von Gonzenbach* die tiefen Atemzüge des Sees. Gehen sie ausreichend tief, so gelangt der Sauerstoff in alle Tiefen, reicht aus und verhindert Fäulnisprozesse. Ist aber die Menge der orga-

nischen toten Substanzen am Grunde zu gross, so wird der Sauerstoff aufgezehrt; er genügt nicht zum völligen Abbau, zur Mineralisierung, und es entsteht Faulschlamm mit Entwicklung von Faulgasen unter Einfluss von anaeroben Bakterien. Die Sauerstoffbilanz über das ganze Jahr bestimmt daher zur Hauptsache das Geschehen im See und seinen Zustand; der Sauerstoff ist wichtig für die lebende und tote organische Substanz und ihre Veränderungen.

Das Leben im See wickelt sich überwiegend in 5 bis 20 m Tiefe ab. Das pflanzliche Plankton produziert Sauerstoff und verbraucht Kohlensäure; bei Bakterien und tierischem Plankton ist es umgekehrt. Bei extremem Massenwachstum von Pflanzen entsteht in jener Tiefe zeitweise sogar eine Sauerstoffübersättigung, nach ihrem Absterben dagegen an der Stätte ihrer Fäulung in der Tiefe ein Kohlensäure- und Ammoniak-Ueberschuss und Ausfällung von Mangan. Unterwegs wird ein Teil des toten organischen Stoffes ganz abgebaut und es entstehen Nitrate. Die Abweichungen dieser Gehalte im Seewasser von den normalen eines noch reinen Sees bilden einen Maßstab für die Reifung des Sees, dessen Endzustand Verlandung und Absterben jedes Lebens sein können. Bei ungünstigen Verhältnissen hängt es ganz davon ab, wie weit sie sich auf die übliche Entnahmetiefe für Wasserfassungen erstrecken, ob sie Seewasserwerke beeinflussen oder nicht. Da die thermischen Ausgleichsströmungen in der Regel weit über 30 m Tiefe hinabgehen und auch die Windeinflüsse sich tiefer auswirken, so braucht es bei tieferen Seen schon ganz ausserordentliche Verhältnisse, um die Eignung des Wassers als Rohwasser für Seewasserwerke gänzlich aufzuheben. Andererseits kann schon eine Massenentwicklung von Algen die Wasserbehandlung komplizieren und erschweren, obwohl ihr eigentlicher Lebensbezirk oberhalb der Entnahmetiefe liegt, da sie eben lebend oder tot in diese Tiefe verschleppt werden können und dann die Filter belasten. Diese allgemeinen Feststellungen und künftigen Möglichkeiten im Seegehen gelten grundsätzlich für alle unsere Seen des Mittellandes. — Wie steht es nun speziell mit dem untern Zürichsee?

Die erstmals seit 1893 eingetretenen Massenentwicklungen von einzelnen Planktongattungen, vor allem von Kieselalgen *Tabellaria*, Blaualgen *Oscillatoria* und von Kleinkrebschen und Anzeichen einer Verschlechterung des Wassers durch vermehrte Bakterien wurden bereits erwähnt. Seither sind diese Algen, vor allem die *Oscillatoria*, jedes Jahr in Massen aufgetreten. Neuestens ist eine noch kürzere Kiesel-Fadenalge, *Synedra*, in eher noch grösserer Zahl erschienen; andere Gattungen sind dagegen mehr zurückgetreten. Trotzdem sind die bestehenden Filter-



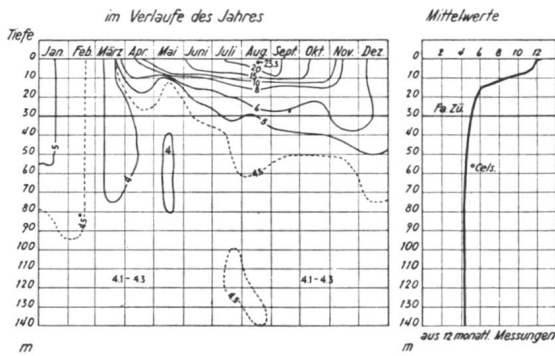


Abb. 1 Temperatur des Zürichseewassers in Grad Celsius an der tiefsten Stelle 1944.

anlagen am See, soweit sie richtig konstruiert sind und sachgemäss betrieben werden, mit dieser gegenüber früher erhöhten Algenproduktion gut fertig geworden. Die vermehrten Untersuchungen des Sees haben dann 1922 zur Feststellung durch Dr. Minder vom städtischen chemischen Laboratorium geführt, dass der ursprünglich reine untere Zürichsee sich zu einem sogenannten eutrophen, mit Schmutzstoffen überdüngten See entwickelt. Dieser Prozess schreitet auch seither fort. Die Zürichseeforschung des Hygiene-Institutes der ETH. hat dies bestätigt und einen Kataster der allzuvielen Schmutzwassereinflüsse als Urheber der Ueberdüngung aufgestellt. Die neuesten Ergebnisse der Untersuchungen des Stadtchemikers, die nun systematisch und allmonatlich erfolgen, weisen auch für die letzten Jahre einen Fortgang des unerfreulichen Prozesses nach.

Die heutigen Verhältnisse und die Veränderung gegenüber früheren Zeiten gehen aus den Kurvenbildern hervor. Dabei ist immer die Periodizität des Geschehens im See und die Abhängigkeit von Saison, Witterung und Jahrescharakter zu beachten, so dass den Jahresmittelwerten besondere Bedeutung, namentlich für den Vergleich verschiedener Perioden zukommt. Die Daten betreffen zumeist die tiefste Seestelle mit 140 m oder die Fassungsstelle Horn-Wollishofen mit 50 m Tiefe. Diese beiden Stellen und eine geplante zweite Fassungsstelle vor dem Zürichhorn werden nämlich vom Stadtchemiker eingehend erfasst, während der Kantonschemiker nach Vereinbarung und mit gleichen Methoden weitere Seestellen in einem ganzen Längenschnitt bearbeiten wird. Im übrigen liegt ein früherer Bericht des verstorbenen Kantonschemikers Dr. Waser gedruckt vor. Die tiefste Seestelle wird von beiden Kontrollstellen untersucht, um eine Vergleichsbasis für die beidseitigen Befunde zu bekommen. Einzelne besondere Erhebungen an den bestehenden und noch geplanten Fassungsstellen zeigen, dass eine ziemlich gleichmässige Wasserbeschaffenheit im offenen See in horizontaler Richtung besteht. Nach mehreren Jahren darf wohl ein ganz eingehender

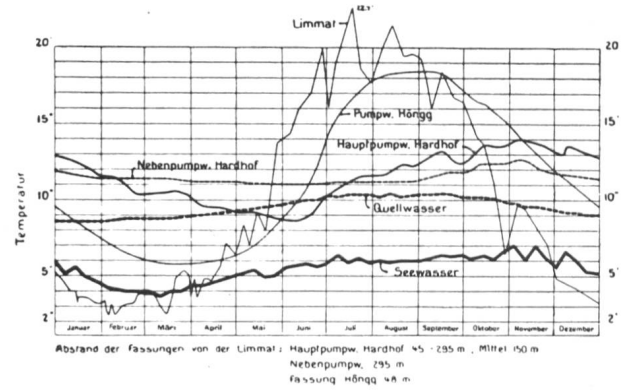


Abb. 2 Temperaturverlauf 1935 von Fluss-, See-, Quell- und Grundwasser in Zürich (Grad Celsius).

der Bericht mit interessanten Ergänzungen der heute schon bekannten Tatsachen über den See und mit gut belegten Folgerungen erwartet werden. An dieser Stelle kann nur ein vorläufiger Ueberblick aus den Arbeiten des Stadtchemikers Dr. Mohler und seines Assistenten Dr. Märki und den Planktonmessungen von Assistent Schaltegger bei der Wasserversorgung Zürich in den anschaulichen Kurvenbildern von Adjunkt Bosshard gegeben werden.

Abbildung 1 gibt den Verlauf der Temperatur des Wassers im See nach Jahreszeit und Tiefe und die Jahresmittel. Von 15 m Tiefe der sogenannten Sprungschicht an schwankt die Temperatur nur noch wenig, beträgt in der Fassungsstiefe von 30 m im Mittel  $5,0^{\circ}$  und nähert sich nach unten dem Werte  $4,0^{\circ}$ . Die natürliche Schichtung des Wassers nach der Dichte hängt nicht allein von der Temperatur ab, nach der am Grunde Wasser von  $4,0^{\circ}$  sein müsste, sondern auch von der Beschwerung durch gelöste Stoffe.

Abbildung 2 zeigt vergleichsweise den sehr verschiedenen Verlauf der Temperaturen von Limmattwasser sowie filtriertem Seewasser und Sihltalquellwasser bei den Filtern Moos und Grundwasser im Hardhof während des Jahres 1935. Das Seewasser ist mit  $3,8-7,1^{\circ}$  weit kühler als das Quellwasser mit  $8,5-10,5^{\circ}$  und das Grundwasser mit  $8,5-14^{\circ}$ . Zwischen dem Auftreten der Kleinst- und Grösstwerte der Temperaturen zeigt sich die folgende Verschiebung:

- Seewasser März — November
- Grundwasser Juni — November
- Quellwasser Februar — August.

Die Wasserversorgung macht sich diese verschiedenen Temperaturen zunutze, indem sie z. B. bei hartem Frost und Einfriergefahr der Endleitungen vorwiegend Grundwasser statt Seewasser verteilt.

Abbildung 3 zeigt ein ungewöhnlich starkes Auftreten der feinen, fadenartigen Kieselalge *Synedra* von  $0,2-0,5$  mm Länge und  $1,6-8 \mu$  ( $\mu = 1/1000$  Mil-

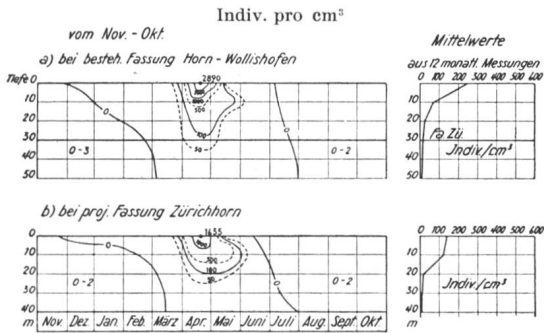


Abb. 3 Kieselalge Synedra im Zürichseewasser 1944/45.

limeter) Dicke im April—Mai 1945 mit bis 4000 Fäden pro  $\text{cm}^3$  in etwa 5 m Tiefe an der tiefsten Seestelle. Die gleichzeitigen Ermittlungen über der Zürcher Fassungsstelle ergaben ein ähnliches Bild mit bis 2900 Individuen pro  $\text{cm}^3$ . Diese Invasion spielte sich im engeren Lebensraum dieser Alge oberhalb 25 m unter Seespiegel ab und wurde im Rohwasser der Filteranlagen kaum bemerkt. In der Tiefe sind nur sporadisch einige Wolken festgestellt worden. Im Juli war die ganze Erscheinung vorbei. Vermutlich ist die Hauptmasse in die Limmat abgeschwemmt worden, wo man im Mai einmal bis 6000 Individuen pro  $\text{cm}^3$  zählte, oder sie sind rasch in die Tiefe gesunken. Im gleichen Jahr sind etwas später kleinere Entwicklungen der grösseren Kieselalgen Tabellaria mit max. 80, Asterionella mit bis 150 und Fragilaria mit bis 430 Individuen pro  $\text{cm}^3$  verzeichnet worden.

Abbildung 4 zeigt das Auftreten der Burgunderblutalge Oscillatoria rubescens, einer Blaualge von 0,2—2,0 mm Länge und 5—8  $\mu$  Dicke mit einem Maximum im Herbst von bis 2300 Individuen pro  $\text{cm}^3$  in 10—15 m Tiefe und 50—300 über das ganze Jahr. In der Fassungstiefe war sie dagegen den ganzen Sommer über kaum zu finden und zeigte sich erst im November mit einem Maximum von ca. 100 Indi-

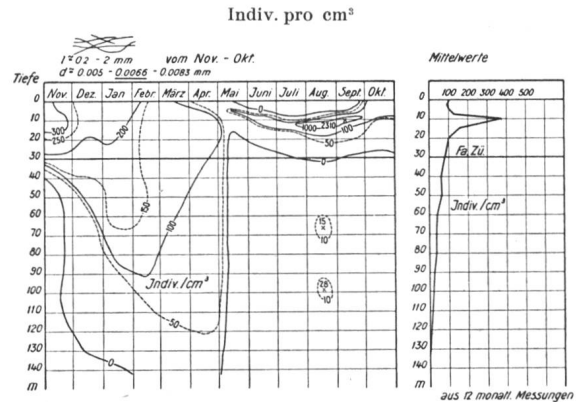


Abb. 4 Blaualge Oscillatoria im Zürichseewasser an der tiefsten Stelle 1944/45.

viduen pro  $\text{cm}^3$  im Dezember—Januar, um dann bis zum Mai wiederum zu verschwinden. Diese Algen Synedra und Oscillatoria wiegen zur Zeit vor, wobei jene wenig, diese aber in Massen auf die Filter gelangt und nur durch sehr feines Filtermaterial entfernt werden kann. Sie ist die typische Schmutzalge des Zürichsees geworden. Die Plankton-Tiere sind meist grösser als die Algen; sie sind aber ungefähr tausendmal weniger häufig als jene Algen. Es wiegt der Kleinkrebs Cyclops vor, der in der Durchsicht im Wasserglas etwa bei seiner hüpfenden Fortbewegung zu erkennen ist. Er bildet die eigentliche Fischnahrung.

Abbildung 5 zeigt den Gehalt an Schwebestoffen überhaupt als Jahreskurven im Mittel mehrerer Jahre und zwar:

- a) Schwebestoffe aller Art der Zürcher Fassung, mit dem Planktonfeinsieb aus Gaze mit 5600 Maschen pro  $\text{cm}^2$  abgesiebt, zentrifugiert und gemessen.
- Der Grösstwert beträgt im April  $7,5 \text{ cm}^3/\text{m}^3$   
 Der Kleinstwert beträgt im Oktober  $1,0 \text{ cm}^3/\text{m}^3$   
 Der Mittelwert beträgt  $3,5 \text{ cm}^3/\text{m}^3$

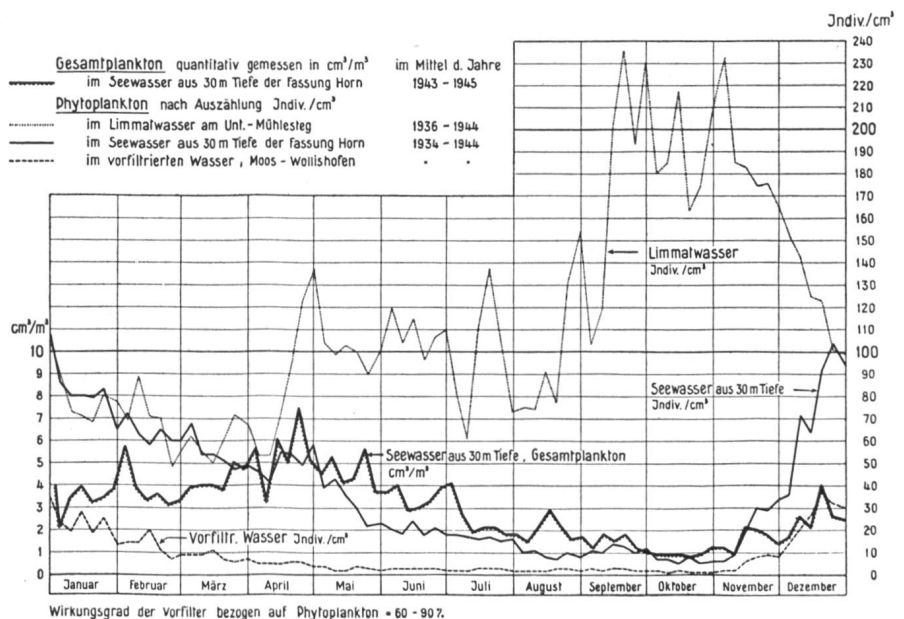


Abb. 5 Schwebestoffe im Zürichsee- und Limmatwasser.

Wirkungsgrad der Vorfilter bezogen auf Phytoplankton = 60 - 90%.

Bei einem Wassergehalt von ca. 75 % dieser Schwebstoffe beträgt ihre Trockensubstanz nur 0,9 Millionstel des Wassers; der Jahresbedarf der Wasserversorgung Zürich an Seewasser von zurzeit 14,0 Mio m<sup>3</sup> enthält also bloss 12 600 kg solcher Trockensubstanz.

- b) Pflanzliches Plankton allein in der Limmat, in Individuen pro cm<sup>3</sup>, im Mikroskop gezählt. Grösstwert 235 im Herbst, Kleinstwert 50 Individuen im Februar.
- c) Dasselbe im Rohwasser der Zürcher Fassung, Grösstwert ca. 105 Individuen im Winter, Kleinstwert 5 Individuen im Oktober.
- d) Dasselbe im vorfiltrierten Wasser im Moos, um 65—90 % weniger, entsprechend dem Filtereffekt.

Abbildung 6 zeigt, wie in den Tiefen von 0—30 m der Fassungsstellen der bestehenden und auch der geplanten Seewasserwerke am Zürichsee und an der tiefsten Stelle des Sees das Gesamtplankton in horizontaler Richtung relativ sehr gleichmässig verbreitet ist. Es handelt sich um Erhebungen Mitte November 1945 mit Absieben und Messen wie auch Zählen des Planktons im Mikroskop. Die sehr starke Abnahme der Planktonmenge nach der Tiefe fällt auf.

Die chemische Beschaffenheit des Seewassers als Folge der Seeverschmutzung und der Algenwuche-

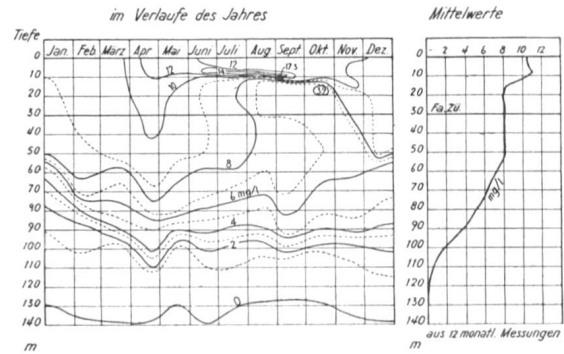


Abb. 7 Sauerstoffgehalt im Zürichseewasser an der tiefsten Stelle 1944

rungen geht aus den weitem Bildern hervor. Abb. 6 zeigt rechts auch die starke Abnahme des Gehaltes des Seewassers an Sauerstoff von der Oberfläche nach der Tiefe und die gegengleiche Zunahme des Kohlen säuregehaltes Mitte November 1945. Bis zu 20 m Tiefe hatte damals der Sauerstoff auf rund die Hälfte abgenommen und die Kohlensäure auf annähernd den gleichen Betrag zugenommen.

Abbildung 7 zeigt die Verteilung des Sauerstoffes im Jahre 1944 auf das ganze Jahr und auf alle Tiefen für die tiefste Seestelle. Die ausserordentliche Anreicherung und Uebersättigung in der sommerlichen Hauptvegetationsperiode und Zone der Algen in 10 m Tiefe mit einem Maximum von 17,3 und einem Jahresmittel von fast 11 mg/l geht nach unten und in den übrigen Jahreszeiten rasch zurück. In Tiefen von 20—50 m ist der Gehalt viel gleichmässiger und befriedigend. Er fällt aber weiter unten stark ab und ist bei 120 m praktisch null und offensichtlich ganz ungenügend zum normalen Abbau der Verunreinigungen. Dieser Sauerstoffschwund ist für den Zürichsee seit 50 Jahren kennzeichnend.

Abbildung 8 zeigt das rasche Fortschreiten dieses Sauerstoffschwundes innert den 12 Jahren 1932 bis 1944 anhand der Extrem- und Mittelwerte für alle Tiefen an der tiefsten Seestelle. Leider sind von den früheren Ermittlungen des Jahres 1920, d. h. dem Beginn einer gleichlangen vorausgehenden Periode, nur zwei Messungen bekannt, so dass kein Vergleich möglich ist. In der neuesten Zeit ist in der obersten Zone die Streuung zwischen dem Grösst- und Kleinstwert eines Jahres bei ungefähr gleichbleibendem Mittelwert immer grösser geworden. Das bedeutet, dass in der Vegetationszone der Sauerstoffhaushalt verstärkten Schwankungen zwischen sommerlicher Uebersättigung und winterlichem Manko infolge der riesigen Algenwucherungen unterliegt. Im Tiefenbereich von 30—50 m mit den Fassungen sind die Verhältnisse glücklicherweise annähernd gleich geblieben. In den Tiefen unter 50 m bis zur grössten von 140 m aber kommt die starke Abnahme von allen

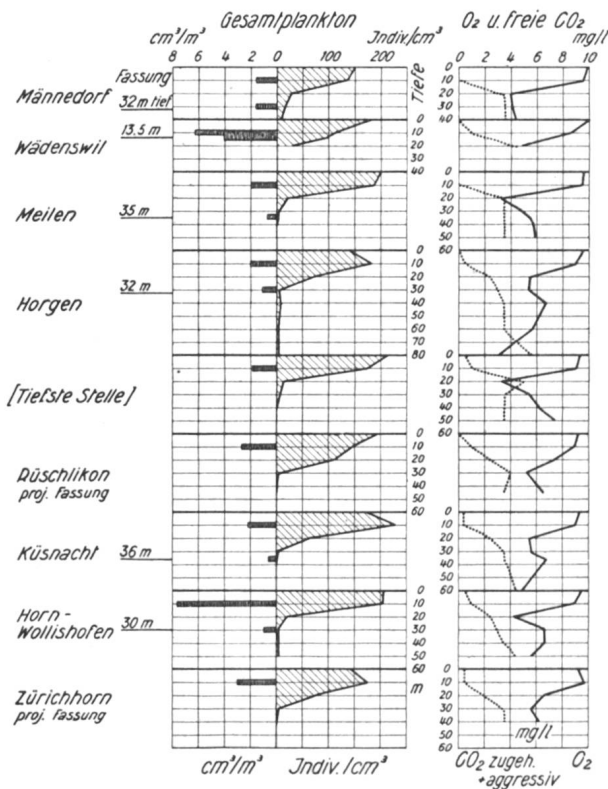


Abb. 6 Fassungsstellen im Zürichsee. Gesamtplankton, Sauerstoff und freie Kohlensäure, 12. bis 15. November 1945.

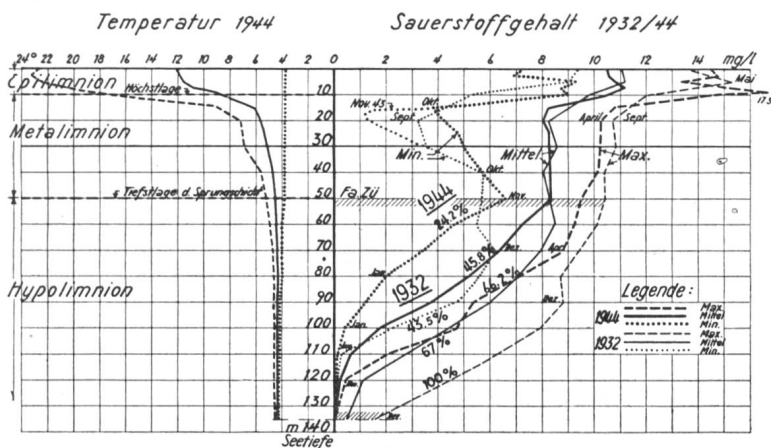


Abb. 8 Temperatur und Sauerstoffgehalt des Zürichsees an der tiefsten Stelle.

Werten in der betrachteten Periode zum Ausdruck. Die eingeschriebenen Prozentzahlen gelten für die ganze Tiefenzone von 50—140 m und beziehen sich auf den Höchstwert = 100 % von 1932. Es sind also innert 12 Jahren für diese ganze Zone zurückgegangen:

Der Höchstgehalt von 100 auf 66,2 %, der Mittelgehalt von 67 auf 45,8 % und der Kleinstwert von 43,5 auf 24,2 %.

Dieser Rückgang erregt schwere Besorgnisse über den Zustand des Sees für die Zukunft. Nach den Befunden des Kantonschemikers gelten diese Feststellungen auch für den Obersee, obwohl die Burgunderblutalge dort fehlt.

Abbildung 9 zeigt den Verlauf der freien zugehörigen Kohlensäure, die den Kalk in Lösung erhält, und der überschüssigen aggressiven Kohlensäure im Wasser der tiefsten Seestelle über das ganze Jahr 1944 im Mittel und für alle Tiefen. Beide Werte sind an der Oberfläche gering und steigen nach der Tiefe ständig an, um am Grunde zusammen zeitweise bis zu 13 mg/l zu erreichen. Bemerkenswert ist, dass im Herbst aggressive Kohlensäure sich bereits auch in der Fassungs Tiefe und weiter oben zeigt. Sie vermochte bereits erhebliche Korrosionen an der Aussen-seite der Zürcher Fassungsleitung zu bewirken. Mit der Zunahme der freien zugehörigen Kohlensäure geht die der Karbonathärte parallel. Diese steigt von der Oberfläche bis zum Grunde zeitweise von 8 bis 14° frz. an.

Abbildung 10 gibt summarisch nur als Jahresmittelwerte in mg/l für 1944 den Verlauf der wichtigsten chemischen gelösten Komponenten des Wassers auf die ganze Tiefe an der tiefsten Seestelle, d. h. von Sauerstoff, Kohlensäure, Karbonathärte, Nitraten, Ammoniak und Mangan. In sehr guter Uebereinstimmung zeigt sich die Tiefe von 90 m als kritische Stelle, von wo ab nach unten der Sauerstoff nicht mehr aus-

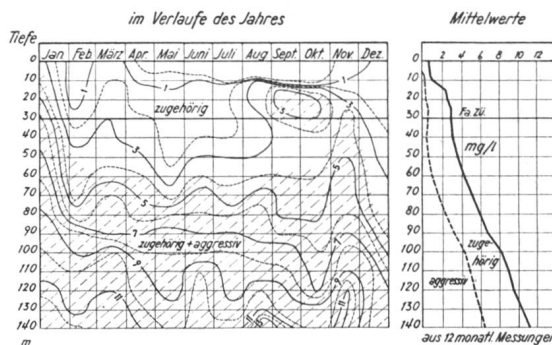


Abb. 9 Freie Kohlensäure im Zürichseewasser an der tiefsten Stelle 1944. Zugehörige und aggressive CO<sub>2</sub> in mg/l.

reicht, um beim Absinken die Schmutzstoffe gänzlich abzubauen. Die Nitrate als letzte Oxydationsstufe des Stickstoffs aus der Eiweiss-Zersetzung nehmen rasch ab, dafür Ammoniak als unfertige Oxydationsstufe und Mangan ebenso rasch und komplementär zu, ebenso die Kohlensäure.

Abbildung 11 zeigt in einer sehr schönen Aufnahme von Dr. F. Nipkow (Zürich) die am Seegrunde der tiefsten Stelle abgelagerten Jahresschichten von dunklem Faulschlamm abwechselnd mit hellerer sog. Seekreide aus Kalkniederschlag. Diese Bildung beginnt mit der ersten Grossinvasion der Kieselalge *Tabellaria* im Jahre 1896; neuerdings ist die Schmutzalge *Oscillatoria* überwiegend daran beteiligt. Die Gesamt-ablagerung hat in den ersten 23 Jahren 6 cm, in weiteren 23 Jahren aber 10 cm betragen und nimmt jetzt pro Jahr um ca. 7 mm zu. Dieser Faulschlamm entwickelt Faulgase wie Methan, Schwefelwasserstoff, Ammoniak und ist der Ausdruck für die Zersetzung der Abfallstoffe in anormalen Reduktionsprozessen. Faulschlamm gibt es bereits in weitem Umfang am Seegrunde. Selbst an besonders verschmutzten Zonen der Seehalde steigen beim Anstechen des Grundes Blasen von Methangasen hoch.

Die Keimzahlen des Seewassers sind als allgemeine

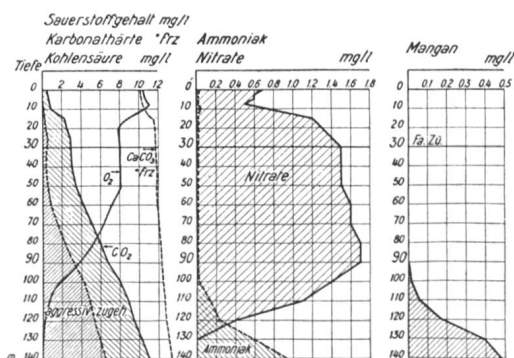


Abb. 10 Chemische Komponenten des Zürichseewassers an der tiefsten Stelle. Mittelwerte 1944.



Verschmutzungsanzeiger für den See weniger prägnant. Es machen sich bei ihnen die ungeheure Verdünnung der Schmutzstoffe und der lokale Einfluss von

den verschmutzten Ufern her sowie auch das rasche Absterben der einzig infektiös gefährlichen seefremden Bakterien geltend. Wichtig ist das Vorkommen von Darmbakterien der Gattung Coli, mit denen zusammen auch Krankheitserreger in den See eingeschleppt werden können. Doch ist der Gehalt an den erwähnten Bakterien im freien See nicht ungewöhnlich gross. Sie dürften übrigens zum grossen Teil von den Exkrementen der Wasservögel stammen und treten daher im Winter vermehrt auf.

Interessant ist die Feststellung, dass an der Zürcher Fassungsstelle die Keimzahlen seit 1918 ständig abgenommen haben und heute im Mittel nur noch rund  $\frac{1}{10}$  der früheren betragen, sowie dass nur ein Coli-keim in 10 cm<sup>3</sup> Wasser auftritt. Es kann diese günstige Entwicklung nur der Ableitung des Kilchberger Abwassers nach Zürich seit jenem Jahr und seiner Fernhaltung vom See zugeschrieben werden. Sie zeigt die guten Folgen einer lokalen Sanierung der Ufer und gibt einen Fingerzeig auch für das zweckmässige Vorgehen an andern Orten.

Am Schluss dieser Ausführungen über den Zustand des Sees sei hervorgehoben, dass das Rohwasser in 30 m Tiefe in ausreichendem Abstand vom Ufer und vom Seegrund heute noch durchaus befriedigt, und dass es mit relativ einfachen Mitteln in ein reines und gesundes Trinkwasser verwandelt werden kann. Es ist aber hohe Zeit, die Abwasserverhältnisse am See zu sanieren und damit Vorsorge zu treffen, dass unsere Nachfahren diesen als Wasserspender wie wir benützen können. Es läge nahe, die geplanten Massnahmen des Kantons Zürich und der zürcherischen Seegemeinden zur Sanierung unseres schönen Sees anschliessend zu behandeln. Es gehört dies aber nicht zum Thema. Es sei nur erwähnt, dass die Stadt Zürich das Ihre bereits getan hat und ihre Abwässer dem See fernhält. Auch die Nachbargemeinden Kilchberg und Zollikon führen sie der Kläranlage unterhalb der Stadt zu. Mögen auch die übrigen Interessenten bald von der Planung zur Tat schreiten!

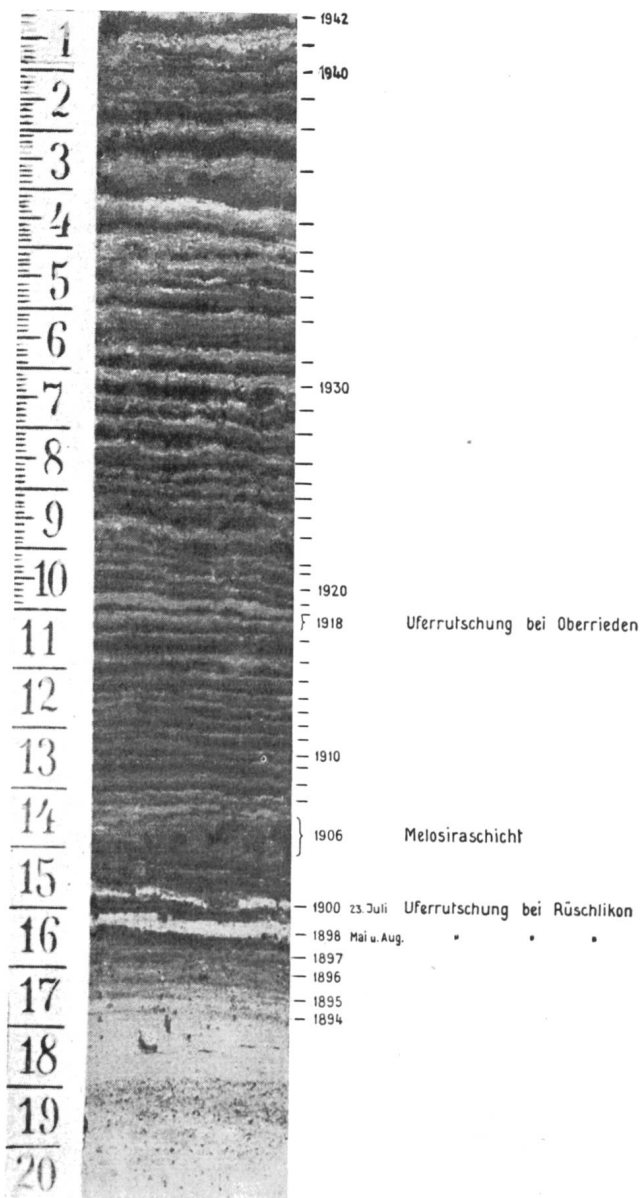


Abb. 11 Geschichteter Schlammabsatz vom Seegrund des Zürichsees. Profil aus 132 m Seetiefe. Entnahme: Seemitte Höhe Horgen-Oberrieden, 18. VIII. 1942, bearbeitet von Dr. F. Nipkow.

## Wasserkraftanlagen an der Muota im Bisistal<sup>1</sup>

Von zuständiger Seite wird uns mitgeteilt:

Im Herbst 1944 erstellte Prof. Dr. Jeannet in Zürich im Auftrage des Bezirksrates Schwyz ein geologisches Gutachten unter Berücksichtigung der lokalen Verhältnisse im Baugebiet der vorgesehenen Kraftwerkstufen. Die Centralschweizerischen Kraftwerke (CKW) beauftragten ihren geologischen Berater Dr.

R. U. Winterhalter in Zürich speziell mit der Prüfung der geologischen Verhältnisse im Glattalgebiet. Dieser erstattete am 19. September 1944 ein vorläufiges geologisches Gutachten und führte im September 1945 am Glattalpsee Färbversuche und Temperaturbeobachtungen im See und an den Gewässern in der Umgebung durch, ohne indessen einen positiven Hinweis auf die unterirdischen Abflüsse des Sees zu erhalten. Um diese Untersuchungen und Vorarbeiten auf einen

<sup>1</sup> W. und E.W. Nr. 3/4 1946. — S.B.Z. Nr. 22, Bd. 127, 1946.