Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 71 (1979)

Heft: 7-8

Artikel: Strömungsmessungen im Zürichsee aus Sicht der Wasserversorgungen

Autor: Schalekamp, Maarten

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-941451

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 10.07.2025

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

Strömungsmessungen im Zürichsee aus Sicht der Wasserversorgungen

Maarten Schalekamp[1])

1. Allgemeines

Die Wasserversorgung Zürich führt direkt und indirekt schon seit 100 Jahren Rohwasser-Untersuchungen am Zürichsee durch. Ihre Mitarbeiter sind daher in der Lage, im Hinblick auf die Veränderung zwischen Vergangenheit und heute, Probleme des Sees unter Berücksichtigung der Trinkwasserversorgung etwas ausführlicher zu behandeln.

2. See und Umwelt

Mit dem Strömungsmessprogramm 1978 soll eine Lücke des Wissens über den See geschlossen werden. Auftraggeber ist der Schweizerische Nationalfonds, und Projektträger sind die Professoren *E. Trüeb*, Dr *D. Vischer* von der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (ETH) und Dr. *W. Stumm* an der Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG). Die Nutzniesser dieses Programms sind unter anderem die Wasserwirtschaft, die Fischerei, die Abwasserwirtschaft und nicht zuletzt die Wasserversorgungen. Im Namen der Nutzniesser darf man allen, die daran beteiligt sind, herzlich danken, dass das Strömungsmessprogramm zustande gekommen ist und nun auch durchgeführt wird.

Die Interessen an einem See sind: Erholung, Wassersport, Naturschutz, Schiffahrt, Fischerei, Kraftwerke, Hochwasserschutz, Schmutzwasserreservoir und nicht zuletzt Trinkwasserversorgung. Wie wichtig der Zürichsee für die Trink-, Brauch- und Industriewasserversorgung ist, kann aus Bild 1 (Entnahme-Konzessionen aus dem Jahre 1977) entnommen werden. Allein schon der Kanton Zürich hat am Zürichsee 69 Entnahmestellen mit einer Entnahmemenge von insgesamt 8160 m^3/s oder 98,5 %. Die Kantone St. Gallen und Schwyz entnehmen nur 0,8 bzw. 0,7 % der gesamten Entnahmemenge. Betrachtet man gar den Wasseranteil aller Trinkwasserversorgungen am See allein, so beträgt die konzessionierte Entnahmemenge insgesamt 6,3 m^3/s oder 76,3 %.

3. See- und Wasserversorgungen

3.1 Bedeutung des Sees für die Wasserversorgungen

Bild 2 gibt eine Übersicht über alle am Zürichsee betriebenen Seewasserwerke. Es zeigt, dass im Jahre 1977 die insgesamt 9 Werke im Mittel ca. 200 000 m^3/Tag dem See entnahmen. Die installierte Leistung beträgt ca. 600 000 m^3/Tag und wurde im Jahre 1976 für den Spitzenbedarf nahezu benötigt. Die notwendige Entnahmemenge wird in weiter Zukunft an einem Spitzenverbrauchstag mit einer Million Kubikmeter angenommen.

Auf den Limmatabfluss bezogen, ist der mittlere Verbrauch klein, nämlich nur 3,5 %. Der maximale Verbrauch der Wasserversorgungen liegt bei 7 % und der zukünftige mittlere Verbrauch ist mit ebenfalls 7 % ungefähr gleich hoch (Bild 3). Auf den Seeinhalt bezogen beträgt die mittlere Verbrauchsmenge in einem Jahr nur 1,9 %, was einer 84 cm tiefen Schicht an der Seeoberfläche entspricht.

[1]) Nach einem Vortrag, gehalten an der Pressefahrt mit der «Etzel» auf dem Zürichsee am 7. September 1978.

Kanton St. Gallen	4	0,060 m^3/s	0,8%
Kanton Schwyz	1	0,060 m^3/s	0,7%
Kanton Zürich	69	8,160 m^3/s	98,5%
Trinkwasser	9	6,320 m^3/s	76,3%
Brauchwasser	34	1,840 m^3/s	22,3%
Bewässerungen	31	0,120 m^3/s	1,4%
Ganzes Seegebiet	74	8,280 m^3/s	100,0%

Bild 1. Entnahme-Konzessionen am Zürichsee im Jahre 1977.

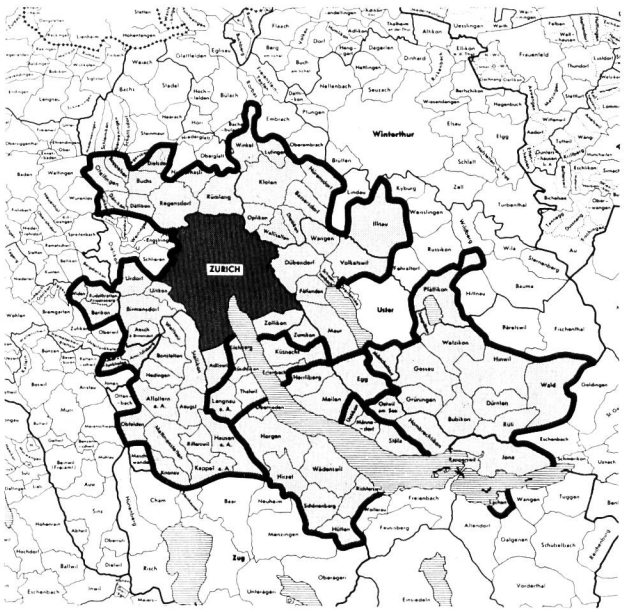
Entnahme m^3/T	1977	1976	installiert	Endausbau
Rechtes Ufer				
Oberland	5'800	7'700	50'000	100'000
Männedorf	8'600	8'200	23'000	23'000
Meilen	4'800	5'400	20'000	20'000
Küsnacht	3'000	2'900	10'000	10'000
Lengg	103'300	106'000	250'000	500'000
Linkes Ufer				
Lachen	1'700	1'900	5'000	10'000
Horgen	11'200	10'800	69'000	69'000
Thalwil	5'500	6'700	40'000	40'000
Moos	53'500	65'900	130'000	250'000
Total m^3/T	197'400	215'500	597'000	1'022'000
Entnahmen m^3/s	2,29	2,49	6,91	11,83

Bild 2. Die Seewasserwerke am Zürichsee, Übersicht über die Entnahmeverhältnisse.

Zürichsee:	hydrolog. Daten	Entnahme durch Seewerke		
Limmatabfluss	68,1 m^3/s	2,360	m^3/s	3,5%
				10,1%
				17,4%
Seeinhalt	4,0 km^3	74,6	Mio m^3/J	1,9%
Seeoberfläche	88,7 km^2	74,6	Mio m^3/J	84cm

Bild 3. Hydrologische Daten des Zürichsees und Entnahmemengen der Wasserwerke am Zürichsee; 1977.

Bild 5. Der Zürichsee — Trinkwasserspender für eine ganze Region. Gebiete mit Seewasserversorgung.



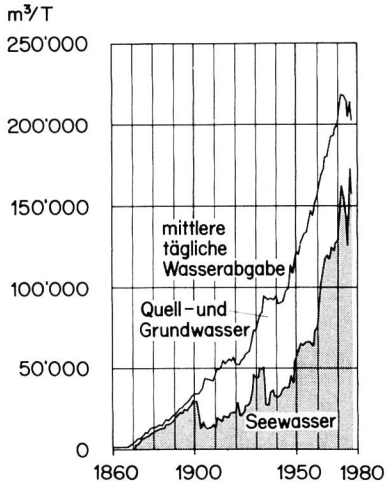


Bild 4. Mittlere tägliche Gesamtwasserabgabe an Quell-, Grund- und Seewasser in der Stadt Zürich ab 1860.

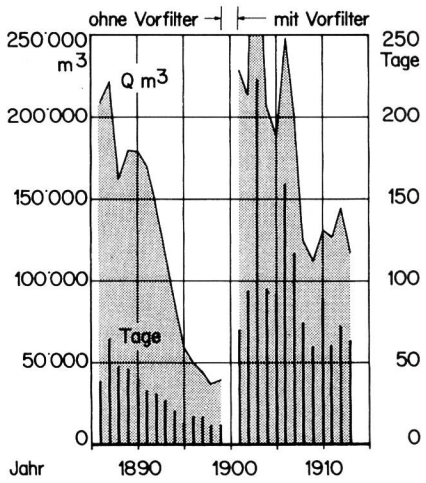


Bild 6. Seewasserwerk Sihlquai; Entwicklung von Laufzeit und Leistung der Langsamfilter. 1886—1900: ohne Vorfilter; 1900—1913: mit Vorfilter.

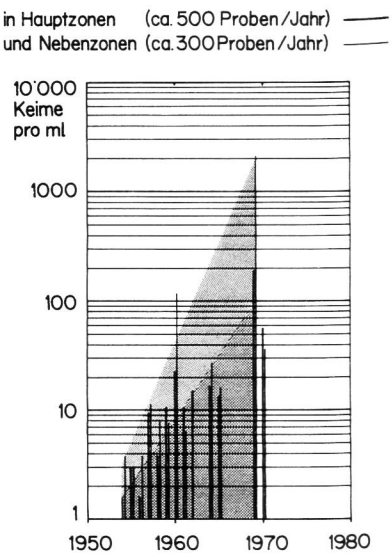


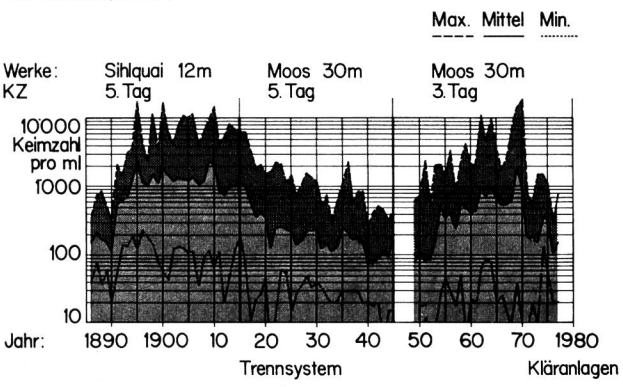
Bild 7. Die Keimzahlen (Jahresmittel aus Wochenproben) im Leitungsnetz der Wasserversorgung Zürich zwischen 1954 und 1970.

Bild 4 zeigt die mittlere tägliche Gesamtabgabe an Quell-, Grund- und Seewasser in der Stadt und Region Zürich ab 1860. Zwischen 1868 bis 1900 verteilte man praktisch nur Seewasser, bis anschliessend ein Anteil an Quell- und Grundwasser hinzukam. In der Folge musste jedoch bis heute jede Mehrbedarfsmenge durch die Seewasserversorgung sichergestellt werden. Aus Bild 5 geht hervor, wieviele Werke bzw. Gemeinden Wasser aus dem See beziehen. Die Stadt und die Region Zürich mit 55 Gemeinden sind darin grau angelegt. Ergänzend dargestellt sind verschiedene Gemeinden mit Partnern am rechten Seeufer wie Küsnacht, Meilen, Männedorf und Zürich-Oberland sowie am linken Seeufer Thalwil, Horgen, Wädenswil und Lachen. In Zukunft dürfte der Anteil des Seewasserverbrauchs im Kanton Zürich (Planungsziel) rund 56 % betragen. Weiter rechnet man dann noch mit 22 % echtem Quell- und Grundwasser sowie 22 % Oberflächenwasser. Letzteres wird indirekt durch künstliche Anreicherung zur Verfügung stehen. Mit anderen Worten, der Zürichsee ist der Lebensspender für die Einwohner des Kantons.

3.2 Die Beziehung zwichen See und Wasserversorgung

Noch im Jahre 1968 kam man in einem Seewasserwerk mit nur einer Aufbereitungsstufe aus, und heute benötigt man deren acht. Die Wasserversorgungen müssen die Qualität des Seewassers so annehmen, wie sie anfällt und das Rohwasser so aufbereiten, dass jederzeit eine einwandfreie Trinkwasserqualität gewährleistet ist. Zunehmende Verschmutzung des Sees zwingt die Trinkwasserversorgungen dieses immer besser aufzubereiten.

Bild 8. Die Keimzahlen im Rohwasser des Zürichsees; Jahresmittel aus Wochenproben.



Wie gesagt, man untersucht den Zürichsee schon seit 100 Jahren. Im Rückblick ist aus Bild 6 ersichtlich, dass bereits vor 85 Jahren eine zunehmende Verschmutzung des Zürichsees festzustellen war. Im Seewasserwerk am Sihlquai, von 1886 bis 1900 mit nur einer Langsamfilterstufe in Betrieb, reduzierten sich die Laufzeiten der Langsamfilter infolge Verschmutzung immer mehr. Deshalb baute man vor die bisherige einzige Aufbereitungsstufe eine zweite, nämlich die Schnellfilter. In der Folge verbesserten sich Laufzeiten und Leistung der Langsamfilter wieder. Mit zunehmender Betriebszeit, schon ab 1915, verkürzten sich die Laufzeiten der Langsamfilter wiederum als Folge der weiter zunehmenden Seewasserverschmutzung.

Auch die Baukosten der Langsamfiltration, nämlich die erste Aufbereitungsstufe, haben exponentiell zugenommen. Im Jahre 1870 z. B. kostete 1 m² Langsamfilter noch 36 Franken, heute bereits 1914 Franken. Berücksichtigt man den Index, so würden sie heute 242 Franken kosten, d. h. sie kommen heute 6mal teurer zu stehen als im Jahre 1870.

Die Seewasserqualität wirkt sich auch auf die Leitungsnetze der Wasserversorgungen aus, sofern keine zusätzlichen Aufbereitungsmassnahmen ergriffen werden (Bild 7). Als Beispiel sei die Keimvermehrung in den Leitungsnetzen erwähnt. Die Keime nehmen als Folge der Seeverschmutzung, nämlich nach Massgabe der Qualität des Seewassers, ständig zu. Durch die zunehmende Verschmutzung hat man denn auch immer wieder Schwierigkeiten bei der Aufbereitung. Viele dieser Probleme und Ursachen kennen wir, u. a. der Phenolunfall, Geschmacksstörungen, Spurenstoffe, Keimdurchbrüche, Netzbeläge, Wiederverkeimung, Laufzeitverkürzung der Filter, Nanoplankton, Sauerstoffschwund, aggressive Kohlensäure und die damit verbundenen Korrosionen der Leitungsnetze, Filterfauna, Wandermuscheln usw.

4. Was weiss man vom Zürichsee?

4.1 Übersicht

Am Zürichsee wird untersucht: Topographie, Witterung, Wasserhaushalt, Siedlungsgebiete, Nutzungsarten, Abwassereinleitungen, Ufervegetation, Fischbestände, Geologie, Sedimente, Bodenvegetation und besonders auch das Wasser selbst. Was bis heute gefehlt hat, sind gezielte Strömungsmessungen.

Bei den Keimzahlen im Rohwasser des Sees (Bild 8) ist eine Korrelation zwischen Gewässerqualität und Ver-

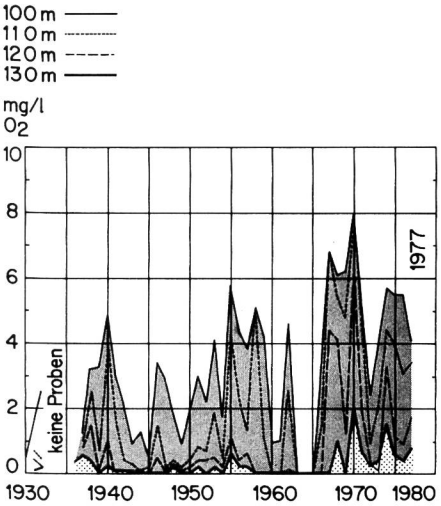


Bild 9. Die Sauerstoffverhältnisse (O_2 in mg/l, Minima am Seegrund) im Zürichsee an der Messstelle Thalwil; 1931—1977.

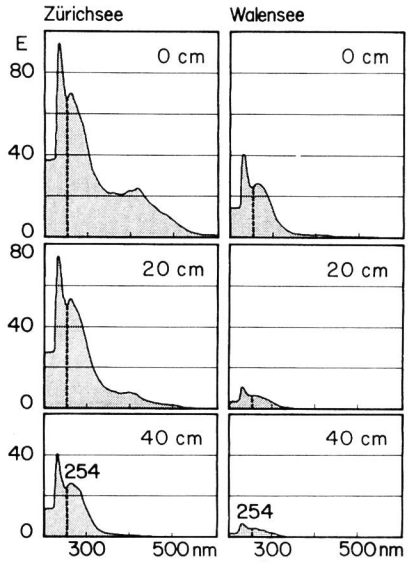


Bild 11. Ultraviolett-Spektren von Extrakten aus Sedimenten von 0,20 und 40 cm Tiefe aus dem Zürichsee und Walensee.

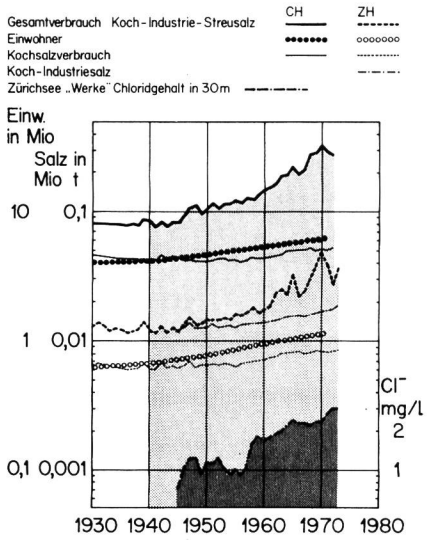


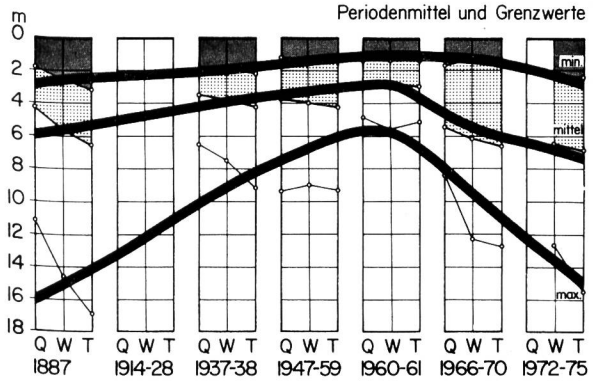
Bild 12. Einwohner und Salzverbrauch in der Schweiz und im Kanton Zürich; Chloridgehalt im Zürichsee.

schmutzung festzustellen. Von 1885 bis 1915 wurde als Folge der zunehmenden Seeverschmutzung ein Anstieg der Keime im Rohwasser registriert. Als eine erste Massnahme gegen die Verschmutzung wurde das Trennkanalisationssystem eingeführt, und es konnte in der Folge bei den Keimen eine Verbesserung erzielt werden. Im Jahre 1950 wurde dann mit dem Bau von Kläranlagen begonnen. Seit der Fertigstellung aller Anlagen sowie seit der Installation von dritten Reinigungsstufen zeichnet sich nun ab 1970 wieder eine Verbesserung ab. Dies bestätigt, dass eine Verbesserung der Seewasserqualität erreicht werden kann, sofern man will und auch etwas unternimmt.

Durch Absterben des Planktons und der Pflanzen wird Sauerstoff gebraucht, und es wird Kohlensäure frei. Werden durch Zugabe von Nährstoffen wie Phosphate und Nitrate zuviele Plankter und Pflanzen erzeugt, so kann das Wasser durch deren Absterben sogar ganz sauerstofffrei werden. Aus Bild 9 ist ersichtlich, dass seit 1940 in 130 m Tiefe, also am Boden des Zürichsees, praktisch kein Sauerstoff mehr vorhanden ist. Damals hatte man allerdings noch keine Phosphate nachweisen können, so dass anzunehmen ist, dass die Nitrate dafür die Ursache waren. Seit 1968 ist nunmehr eine Verbesserung der Sauerstoffverhältnisse festzustellen, was auf die erweiterten Kläranlagen zurückzuführen sein dürfte.

Aus Bild 10 gehen die Sichttiefen hervor. Die Sichttiefe gibt das Mass an, wie weit man durch das Wasser hindurchschauen kann, d. h. ob mehr oder weniger Algen darin vorhanden sind. Die Sichttiefe wurde von 1887 bis im Jahre 1960 immer geringer. Dank der mehrfach ausgebauten Aufbereitung in den Kläranlagen trat ab diesem Zeitpunkt eine Verbesserung ein. Bei den Minimalwerten der Sichttiefen ist sie allerdings nicht sehr relevant.

Bild 10. Die Sichttiefen im Zürichsee an den Messstellen Zürich-Quaibrücke (Q), Zürich-Werke (W) und Thalwil (T) seit 1887.



Gegenwärtig beschäftigt man sich bereits wieder mit neuen Problemen. Im Zürichseewasser, besonders an der Seeoberfläche, sind z. B. viele organische Stoffe zu finden, die nicht nur dort, sondern auch in den Sedimenten anzutreffen sind. Im Zürich-Quellwasser dagegen findet man einige dieser Stoffe nicht. Hingegen trifft man diese im Walensee wiederum an. Aus Bild 11 ist ersichtlich, dass die Sedimente des Walensees dreimal weniger dieser organischen Stoffe aufweisen als diejenigen des Zürichsees. Untersucht man nun die Sedimente der beiden Seen je in 40 cm Tiefe — sie wurden ungefähr vor 50 Jahren gebildet —, so sieht man, dass der Zürichsee vor 50 Jahren analog dem Walensee von heute war. Wenn man aber die Sedimentprobe in 40 cm Tiefe im Walensee weiter untersucht, so ist auch ersichtlich, dass damals praktisch keine dieser im Zürichsee gefundenen Substanzen je im Walensee vorhanden waren.

Der Sedimentsvergleich zeigt auch die Verminderung der Wasserqualität sowohl des Walen- als auch des Zürichsees. Im Sediment des Zürichsees sind im Gegensatz zum Walensee z. B. 12mal höhere Werte dreier polizyklischer Aromate, nämlich Phenanthren, Fluoranthen und Pyren, zu finden. Diese Stoffe stammen aus der Luft und werden durch Ölheizungen, Automobile, Flugzeuge usw. verursacht.

4.2 Zusammenhänge

Betrachtet man die Entwicklung der Chloride, so geht aus Bild 12 vorerst hervor, dass der Koch- und Industriesalzverbrauch sowohl im Kanton Zürich als auch in der Schweiz parallele Entwicklungskurven aufweist. Unter Mitberücksichtigung des Streusalzverbrauchs nimmt die Salzverbrauchskurve einen wesentlich progressiveren Verlauf und liegt tendenzmässig der Kurve bezüglich des Chloridgehalts im Zürichsee sehr ähnlich. Sie verläuft ebenfalls viel progressiver als diejenige der Einwohner, was eindeutig auf den Verbrauch an Streusalz zurückzuführen ist. Auch die Chloride sind ein Abfallprodukt der Zivilisation.

An Phosphatgehalt wurden im Zürichsee im Jahre 1950 ca. 8 μg/l, im Jahre 1968 bereits 115 μg/l und 1978 noch 75 μg/l festgestellt. Dank weiterer Kläranlagen, besonders jedoch dank deren besseren Reinigungswirkung, ging der Gehalt an Phosphaten in den letzten zehn Jahren um

Bild 13. Die Strömungseinflüsse an einem See: Wind, Thermik, Zuflüsse, Stoffaustausch.

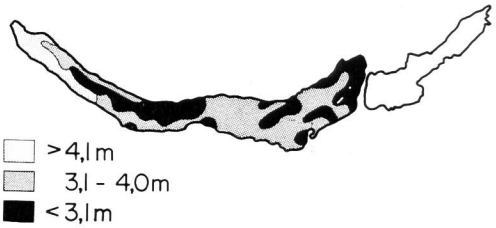


Bild 17. Die Sichttiefen in m an der Zürichsee-Oberfläche am 19. bis 21. Juli 1972.

50 µg/l zurück. Auch hier ist wiederum die Korrelation zwischen Verschmutzung und Gegenmassnahmen ersichtlich. Leider sind die Phosphatgehalte im Zürichsee immer noch 10mal höher als im Jahre 1950.

4.3 Zusammenarbeit am See

Wer arbeitet am Objekt «Zürichsee»? Vorerst wäre die «Wasserhoheit» zu nennen, nämlich die Kantone Zürich, St. Gallen und Schwyz, mit den führenden Leitern *Ch. Maag*, Dr. *E. Roman, B. Dix* und *K. Simeon*. Sie alle tragen massgebend dazu bei, dass der Zürichsee überhaupt untersucht werden kann. Als zweiter beteiligt sich der Bund; er finanziert nicht nur die jetzt im Gang befindlichen Strömungsmessungen, sondern leistet auch Subventionen an die systematische Wasseruntersuchung. Als dritte arbeiten die ETH mit den Professoren *E. Trüeb* und Dr. *D. Vischer* und die EAWAG mit den Professoren Dr. *W. Stumm*, Dr. *H. Ambühl* und Dr. *K. Wuhrmann* sowie die Universität Zürich mit Professor Dr. *E. A. Thomas* an der Realisierung der Strömungsmessungen. Ferner stellt die Seepolizei der Stadt Zürich die Schiffe zur Verfügung, um Wasserproben zu entnehmen, und zum Schluss arbeiten die Wasserversorgungen, nämlich die Mitglieder der Arbeitsgemeinschaft Wasserwerke Bodensee-Rhein (AWBR), mit, durch ihre Wasseruntersuchungen den See besser kennenzulernen. All den hier aufgeführten Personen sowie ihren Mitarbeitern und Nichtgenannten sei der herzliche Dank für ihre Untersuchungen und Arbeit ausgesprochen. Sie tragen alle dazu bei, dass auch in Zukunft ein gutes Trinkwasser an die Bürger abgegeben werden kann.

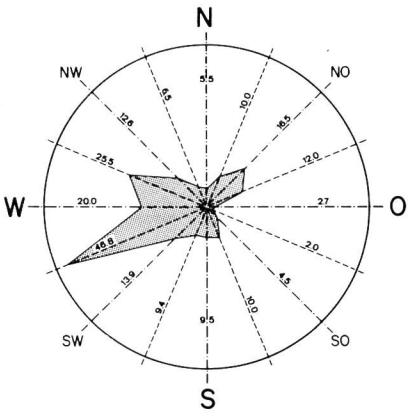
5. Bedeutung von Seeströmungen

5.1 Allgemeines

Die Strömungen können durch vier Einflüsse (Bild 13) verursacht werden. Es sind dies der Wind (Wellen), die Sonneneinwirkung (Thermik), die Wasserzuflüsse (Flüsse, Bäche, Abwasserkanäle usw.) und der Stoffaustausch. Aus Bild 14 ist ersichtlich, dass die herrschenden Winde am Zürichsee hauptsächlich aus Richtung West, Südwest und West-Nordwest wehen. Die Winde wirken sich entsprechend auf die Wasserumwälzung aus (Bild 15). Im Sommer wird das warme Wasser an der Oberfläche in der Regel durch die herrschenden Winde zur Küste Zollikon, Erlenbach und Meilen transportiert. Als Beispiel sei der 3. August 1949 mit Untersuchungen nach *Thomas* erwähnt. Die Wassertemperaturen an dieser Küste betrugen damals zwischen 18 und 24 °C. Als Folge einer durch den Sturm verursachten Oberflächenströmung wurde das kalte Tiefenwasser am linken Ufer hochtransportiert, so dass die Temperaturen bei Kilchberg und Thalwil lediglich zwischen 7 und 15 °C lagen. Man konstatierte demnach eine Temperaturdifferenz von 10 bis 18 °C an der gleichen Seeoberfläche, welche allein durch die Windeinwirkung verursacht wurde.

Auch Einleitungen von Kläranlagen (Bild 16) können von den Strömungen beeinflusst werden. Daher sollten sowohl für den Bau von Abwassereinleitungen als auch für die Entnahmestellen der Trinkwasserversorgungen die Strömungen bekannt sein.

Den Wasserversorgungen sind die Windströmungen mehr oder weniger bekannt, d. h. sie spüren deren Auswirkungen. Es wäre für die Wasserversorgung jedoch wichtig, mehr darüber zu wissen, ist es doch z. B. nicht gleichgültig, wo und in welcher Konzentration Algen vorhanden sind, denn die Konsequenzen haben die Werke bei der Aufbereitung zu tragen. Darum ist es interessant, auch die Sichttiefen des Zürichsees zu kennen (Bild 17). Die dunklen Stellen geben eine geringe Sichttiefe an, d. h. es sind dies Bereiche mit vielen, die hellen Stellen dagegen solche mit weniger Algen. Durch die Strömungen verändern sich die Algenanhäufungen im See laufend. An den Entnahmestellen der Wasserwerke kann man die Veränderungen der Algenmengen gut beobachten. Zum Beispiel ist dies aus Bild 18 aufgrund der Aufzeichnung der Anzahl Phytoplankton in den Jahren 1972 und 1973 im Seewasserwerk Moos ersichtlich. Während im Januar je ml 100 kleine Algen gezählt wurden, waren es im Sommer 10 000 oder 10 Mio/l. Diese Massenanhäufung findet ihre Ursache nicht nur im Nahrungsangebot, sondern, wie Bild 17 zeigt, auch in den verschiedenen Strömungen, seien sie nun verursacht durch Wind oder Thermik. Bild 19 zeigt die Häufigkeitsdauerkurven des Phytoplanktons und Detritus im Seewasserwerk Moos. Die Variation der Phytoplankter hat einen



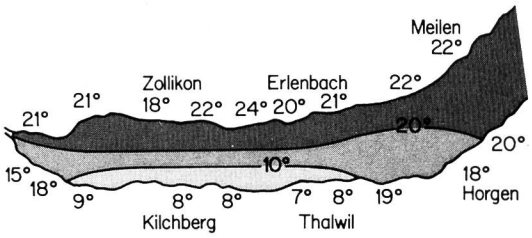


Bild 14, links. Die Windverhältnisse am Zürichsee 1921/1931.

Bild 15, oben. Einwirkungen des Weststurms vom 3. August 1949 auf die Wasserumwälzung im Zürichsee (nach Thomas). Angegeben sind die Oberflächentemperaturen in °C.

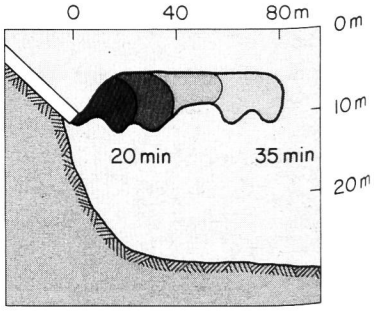


Bild 16. Zeitlicher Verlauf einer Abwassereinleitung in den Vierwaldstättersee vom 28. August 1973 (nach Ambühl).

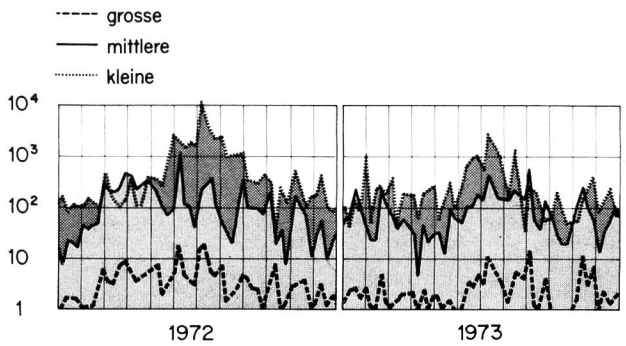


Bild 18. Phytoplankton (Anzahl pro ml; grosse, mittlere und kleine Phytoplankter) im Rohwasser des Seewasserwerkes Moos in den Jahren 1972 und 1973.

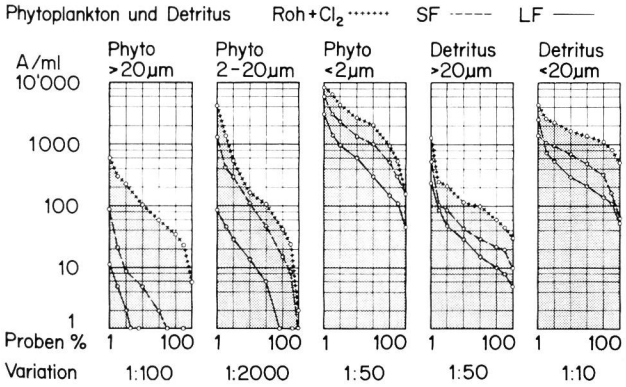


Bild 19. Die Häufigkeits-Dauerkurven von Phytoplankton und Detritus im Rohwasser des Seewasserwerks Moos; 1974/1975.

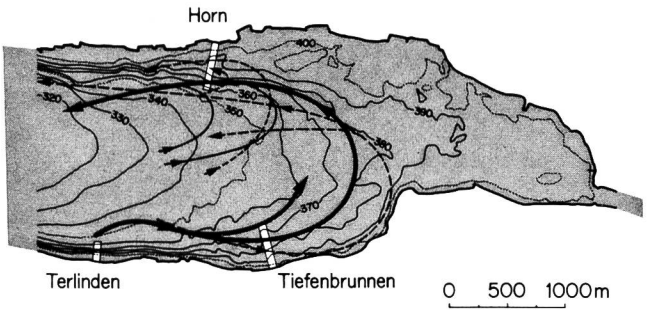


Bild 20. Phenolunfall am Zürichsee 20. September 1967; Strömungsverhältnisse (nach Städler und Thomas).

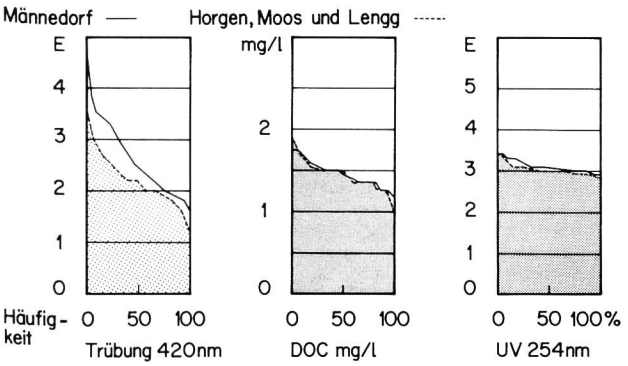


Bild 21. Die Häufigkeitsverteilung der Werte Trübung, DOC und UV 254 nm im Rohwasser der Werke Männedorf, Horgen, Moos-Zürich und Lengg-Zürich.

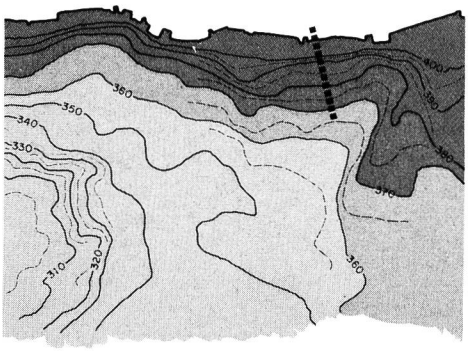


Bild 22. Topographie des Seegrundes an der Fassungsstelle Männedorf. Massstab 1:35 000.

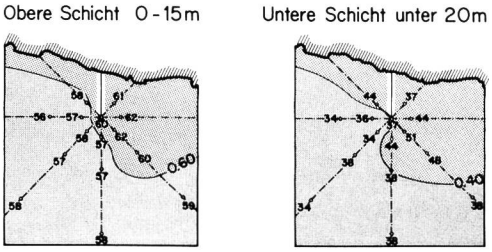


Bild 23. Trübungsmessungen vom 1. September 1978 an der Fassungsstelle Männedorf; Extinktion bei 420 nm. Massstab 1:60 000.

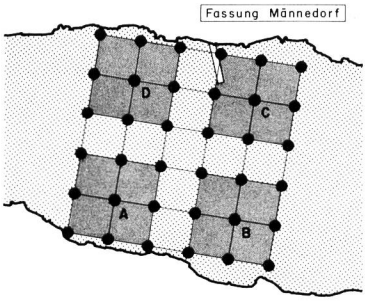


Bild 24. Synoptische Messungen am Zürichsee im Planquadrat Männedorf — Stäfa — Wädenswil vom 29. bis 31. August 1978 (57 Stunden). Massstab 1:90 000.

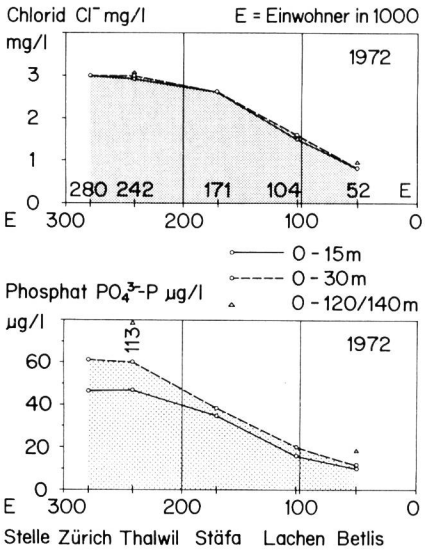


Bild 25. Längsverfrachtungen zwischen Walensee und Zürichsee-Ausfluss am Beispiel von Chloriden und Phosphaten in Funktion der Einwohner im See-Einzugsgebiet.

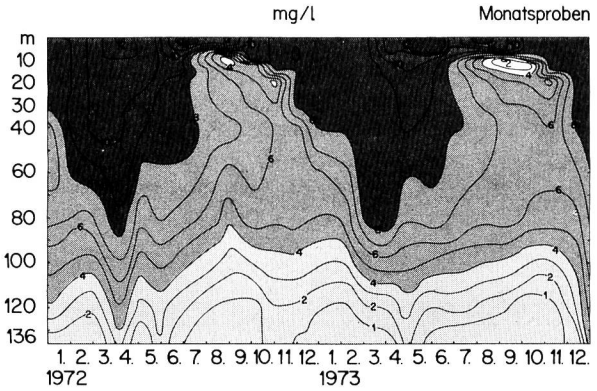


Bild 26. Sauerstoff-Isopleten am Beispiel des Zürichsees; Monatsproben an der Messstelle Thalwil; 1972/1973.

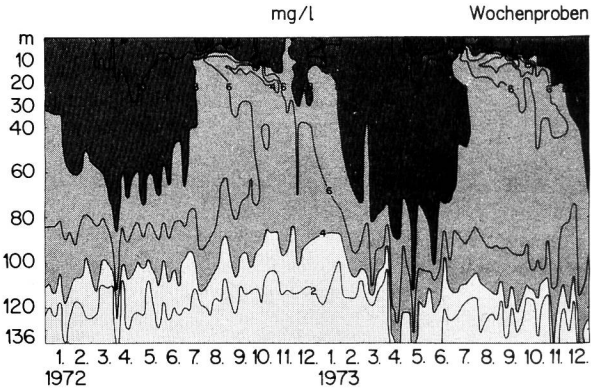


Bild 27. Sauerstoff-Isopleten am Beispiel des Zürichsees; Wochenproben an der Messstelle Thalwil; 1972/1973.

Faktor 1:50 bei den kleinen und einen solchen von 1:2000 bei den mittleren. Diese grossen Unterschiede geben dem Fachmann für Wasseraufbereitung grosse Probleme auf.

5.2 Phenolunfall

An dieser Stelle soll nochmals kurz auf den Phenolunfall im Jahre 1967 eingetreten werden. Dieser Unfall zeitigte seine Auswirkungen sekundär durch die unterschiedlichen Strömungsverhältnisse. Der Phenolunfall gab damals dem Trinkwasserfachmann recht grosse Probleme auf, war doch das Trinkwasser im Stadtteil und der Region Zürich rechts der Limmat während drei Tagen nicht mehr trinkbar. Die Auswirkungen dieses Unfalls konnten, nicht zuletzt durch die Strömungsmessungen von *Städler* (Dissertation 1930), rekonstruiert werden, indem man in den von Städler aufgestellten Strömungsplan den Einleiter und die Entnahmewerke Lengg und Moos einzeichnete (Bild 20). Sowohl das Werk Lengg als auch das Werk Moos, letzteres zwar weniger, wurden vom Phenolunfall tangiert. Im Werk Lengg wurde durch die Aufbereitung mit Chlor Chlorphenol gebildet und das Wasser wurde untrinkbar. Im Werk Moos arbeitete man noch ohne Chloraufbereitung und spürte daher praktisch nichts vom Phenolunfall.

Wie notwendig es ist, dass man die Strömungen an einem See kennt, zeigt auch folgendes Beispiel: Im Werk Männedorf zeigen sich Schwierigkeiten bei der Aufbereitung, weil das Rohwasser trüber ist als dasjenige der Werke Horgen, Moos und Lengg (Bild 21). Die Werte DOC und UV-Extinktion bei 254 nm sind jedoch gleich, so dass die Trübung des Rohwassers nicht auf Abwassereinleitungen zurückzuführen ist. Also muss irgendein anderer Einfluss vorhanden sein, der die Trübung verursacht. Woher könnte dieser stammen? Bild 22 stellt die Topographie des Seebodens sowie die Lage der Fassung des Seewasserwerks Männedorf dar. Rechts der See-Entnahmeleitung ist ein Tal ersichtlich, welches z. B. die Ursache einer unbekannten Strömung sein könnte. Aus Bild 23 gehen sodann die neu durch die AWBR gemessenen Trübungsresultate hervor, und zwar obwohl in den obersten 15 m als auch in einer Tiefe von mehr als 20 m. Vermutlich durch einen Strömungswirbel verursacht, ist im erwähnten Tal das Seewasser trüber als an anderer Stelle, und genau in dieser Zone liegt die Fassungsleitung. Die Strömungsmessungen (Bild 24), d. h. die synoptischen Schichtmessungen, fanden nun in diesem Fall an der gleichen Stelle statt, wo auch die AWBR ihre Untersuchungen durchführte, so dass man hoffen kann, dass diese Strömungsmessungen die Resultate der AWBR bestätigen. Den Schwierigkeiten könnte dann durch Leitungsverlegung oder -verlängerung begegnet werden.

5.3 Strömungen, Stoffhaushalt, Längsverfrachtungen

Auch die Kenntnisse über die Längsströmungen sind für Beurteilungen aller Art wesentlich. Man weiss wohl, dass das Wasser grösstenteils durch den Linth-Kanal in den Zürichsee gelangt, diesen wie einen Fluss mit irgendwelchen Sekundär-Strömungen durchläuft und zum Schluss den See bei der Quaibrücke in Zürich wieder verlässt. Wir wissen, dass die Einleiter die Chlorid- und Phosphatgehalte ansteigen lassen. Wie die Verfrachtung jedoch vor sich geht, kann man heute noch nicht genau sagen (Bild 25). Aus Bild 26, einer Darstellung monatlicher Proben, gehen die Sauerstoffverhältnisse, d. h. die Isopleten, der Jahre 1972 und 1973 hervor. Die dunklen Stellen bedeuten sehr viel Sauerstoff und die helleren weniger oder praktisch keinen Sauerstoff. Wenn nun die Algen im Sommer abster-

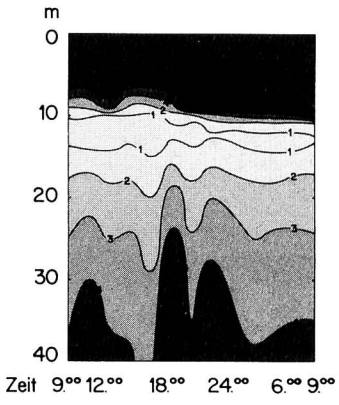
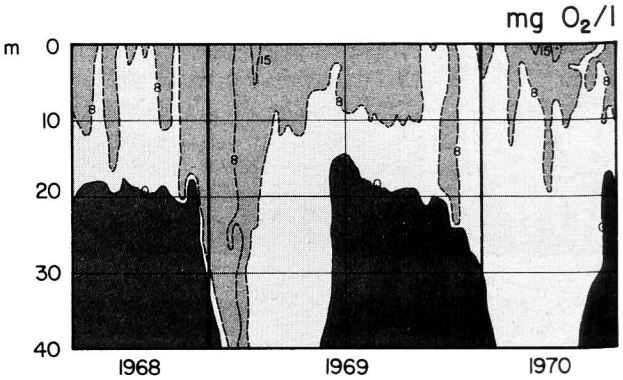


Bild 28, links. Die Sauerstoffverhältnisse während 24 Stunden am 16. und 17. Oktober 1961 an der Messstelle Wollishofen-Zürich.

Bild 29, rechts. Sauerstoff-Isopleten am Beispiel des Sees Genezareth (Israel); 1968—1970.



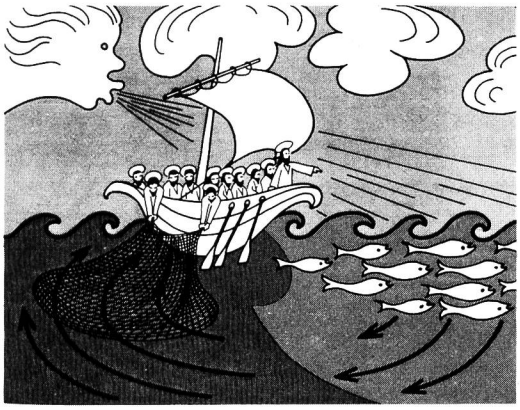


Bild 30. Die Strömungen am See Genezareth waren schon zur Zeit Christi bekannt.

ben, so hat man im Metalimnion, d. h. in 10 bis 15 m Tiefe, fast keinen Sauerstoff mehr. Auch am Seeboden ist die Sauerstoffsättigung des Wassers stark reduziert. Die Isopleten zeigen im grossen und ganzen ein eher ruhiges Bild. Wertet man aber die wöchentlichen Proben aus, so zeigen sich (Bild 27) sowohl im April 1972 als auch im April, Mai und Dezember 1973 grosse Sprünge in der Sauerstoffsättigung (Bild 28). Diese Veränderungen haben nun mit der Thermik nichts zu tun. Es sind andere Einflüsse, welche diese Veränderungen verursachen, d. h. Strömungen, von welchen die Wasserversorgungen noch nichts wissen, worüber sie aber gerne mehr wissen möchten. Im weiteren wären auch die Fischer am See sicher interessiert zu erfahren, wie die Strömungen sind. Solche Kenntnisse gäben ihnen z. B. die Möglichkeit, im Hinblick auf Netzverfangungen die Entnahmetürme der Wasserversorgungen zu meiden.

6. *Schlussbetrachtungen*

Als Schlussbetrachtung kann man mit Salomon sagen: «Es gibt nichts Neues unter der Sonne.» Als Beispiel dazu sei der See von Genezareth in Israel erwähnt, welcher schon seit 2000 Jahren als Folge des Eintrags von Huminstoffen durch den Jordan während der Stagnationsperiode unterhalb 20 m Tiefe keinen Sauerstoff mehr aufweist (Bild 29).

Bleiben wir in den Vergleichen noch beim See Genezareth. Der Leser kennt nunmehr einige Strömungsbilder am Zürichsee. Er weiss jetzt auch, dass durch die Westwinde verursacht, auf der einen Seite Oberflächenwasser in die Tiefe und auf der anderen Seite hinaufgedrückt wird. So kommt es, dass im Epilimnion plötzlich Tiefenwasser mit nur wenig oder keinem Sauerstoff vorhanden ist. Die Folge davon ist, dass die Fische dieses «tote» Wasser fluchtartig verlassen.

Mit diesem Phänomen könnte vielleicht eine Geschichte aus der Bibel vom See Genezareth erklärt werden: Die Apostel fischten nämlich den ganzen Tag und die ganze Nacht im Wasser (wo kein Sauerstoff war), und sie fingen daher auch keine Fische. Jesus ermunterte die Apostel, das Netz auf der anderen Seite auszuwerfen. Die durch das sauerstoffarme Wasser verjagten Fische konnten dann durch die Jünger im sauerstoffreichen Wasser gefangen werden (Bild 30).

In einem Inserat der Zürichsee-Zeitung hiess es: «Ich kenne alle Schichten am See» (Bild 32). Umgewandelt kann dies auch heissen, dass die Nutzniesser des Sees alle Strömungen am See kennen möchten. Noch schöner wäre es, wenn eines Tages gesagt werden könnte, man kenne alle Strömungen im See. Dieses letzte ist allerdings eine Utopie, und davor muss gewarnt werden. Denn wer nur einmal Strömungsmessungen durchführt, kann ebensogut darauf verzichten. Zweimal durchführen ist schon besser und zehnmal ist noch viel besser. Man darf darum von den im Gang befindlichen Strömungsmessungen nicht alles erwarten. Einerseits bedeuten die heutigen Messungen wohl einen ersten Schritt zur Erkenntnis, dass noch viel mehr in dieser Hinsicht getan werden muss, und anderseits geben uns diese Messungen sicher viel gute Theorie, aber noch wenig Praxis.

An dieser Stelle sei K. Dietlicher, Hauptabteilungsleiter der Abteilung Studien der Wasserversorgung Zürich, und seinen Mitarbeitern für ihre Arbeit recht herzlich gedankt, denn ohne ihre Mithilfe hätte dieser Bericht nicht erscheinen können.

Bild 31. Wann wird der Wasserfachmann alle Strömungen am See kennen?

Adresse des Verfassers: Maarten Schalekamp, Direktor der Wasserversorgung Zürich, Hardhof 9, Postfach, 8023 Zürich.