

in memoriam Eugen A. Thomas

† 23. Feb. 1986

Geschichte der Dritten Abwasserreinigungs-Stufe (Phosphat-Fällung)¹

Christian Thomas, ETH-Zürich

1. Ausgangslage

Schon vor dem Zweiten Weltkrieg wurde die zunehmende Überdüngung (Eutrophierung) der Seen im Kanton Zürich als Problem erkannt. Parallel mit der verstärkten Besiedlung von Seeufern verschlechterte sich die Wasserqualität rapid. Dies wurde um so bedenklicher, als sich die Ufer der Schweizer Alpenrand-Seen zu bevorzugten Siedlungsgebieten entwickelten. Beim Zürichsee lagen mit den Arbeiten von Prof. Dr. Ernst Waser aus den Jahren 1930–1940 bereits gute wissenschaftliche Grundlagen für eine Langzeit-Beobachtung vor. E. A. Thomas konnte diese chemischen, bakteriologischen und biologischen Untersuchungen fortsetzen und ausbauen (6–13). Die zunehmende Verschlechterung des Zustandes der Gewässer warf in diesen Jahren bald die Frage auf, wieweit die natürliche Selbstreinigungskraft der Gewässer reichen würde. Es wurden deshalb schon damals Experimente über die Selbstreinigung von fließendem Wasser in Rinnensystemen durchgeführt (14). Der damalige Stand der Verschmutzung war noch so, dass man hoffen konnte, mit Massnahmen biologischer Art, d.h. mit der gezielten Förderung der Fischerei zur Entfernung von organischem Material aus den Seen sowie mit technischen Zusatzmassnahmen wie Abpumpen von Tiefenwasser und Faulschlamm, die verschmutzten Seen zu sanieren (15).

2. Wissenschaftliche Problem-Eingrenzung

Die rasante Entwicklung nach dem Zweiten Weltkrieg zeigte bald, dass die zunehmende Verschmutzung der Seen zu einer vitalen Bedrohung wurde. Die Bekämpfung von Symptomen wie Entfernen von Biomasse und Tiefenwasser konnte keine dauernden Erfolge bringen, denn die Besiedlung um die Seen verdichtete sich zusehends, und die Einleitung von ungereinigten Abwässern wurde unhaltbar. Allerdings war auch klar, dass eine umfassende Abwasser-Reinigung mit beträchtlichen Kosten verbunden ist. Eine verständliche wissenschaftliche Begründung für die zu tätigen Investitionen (Kläranlagen) war deshalb notwendig. Theorie und Praxis der Limnologie (Süßwasserkunde) wurden dazu laufend verbessert und ausgebaut (18–22). Neue Methoden und Geräte wurden entwickelt, und die Limnologie wurde eine angewandte Wissenschaft mit einer beträchtlichen technischen Komponente. E. A. Thomas hat deshalb in den wissenschaftlichen Publikationen auch die praktischen Aspekte nicht vernachlässigt, sondern neu entwickelte Geräte der Fachwelt vorgestellt (23, 28, 43).

Für das bessere Verständnis der Eutrophierung der Seen und ihrer Ursachen wurde es nun wichtig, vergleichbare Daten in verschiedenen Seen zu erheben (26) und die Strömungs- und Schichtverhältnisse in einem Seebecken zu erforschen (24, 29, 30). Der Zürichsee entwickelte sich dank jahrelanger Serien von Beobachtungen zu einem der besterforschten Seen und war somit geeignet als Testobjekt für Gewässerschutz-Massnahmen. Mit der Schrift «Der heutige Zustand des Zürichsees» (27) wurde die Ausgangslage für die Bekämpfung der See-Eutrophierung am Beispiel Zürichsee 1949 wissenschaftlich umschrieben. Darin wurde auch erstmals auf die wichtige Rolle der Nitrate und Phosphate beim Eutrophierungs-Prozess hingewiesen. Von zentraler Bedeutung sollte die folgende, damals schon gemachte Feststellung werden: «Der Phosphatbedarf des Zürichsees wird durch die Abwässer leichter gedeckt als der Nitratbedarf.»

¹ Die Nummern in Klammern beziehen sich auf die beigefügte Literaturliste von E. A. Thomas.

3. Die Phosphat-/Nitratproblematik

In den 50er Jahren störten die negativen Auswirkungen der See-Eutrophierung so stark, dass eine effiziente langfristige Bekämpfung der «Algenplage» nötig wurde. Eine breit angelegte Studie an 46 Schweizer Seen (33) zeigte, dass eine solche Bekämpfung in der Reduktion eines Düngestoffs besteht, welchen die Algen benötigen. Dadurch wird dieser Stoff zum Minimumstoff und die Algen werden «ausgehungert». Durch vertieftes Studium der Seezuflüsse (32, 34), der Sedimentation (31, 35), und der abwasserbedingten Sauerstoffzehrung (36) konnte der See-Stoffwechsel genauer erfasst werden. Mit seiner Habilitationsschrift (38) konnte E. A. Thomas umfassende Beschreibungen des Stoffwechsels eines typischen sauberen, oligotrophen Sees (Aegerisee) und zweier verschmutzter, eutropher Seen (Pfäffiker- und Greifensee) vorlegen. Aufgrund dieser vielseitigen Studien konnte er 1955 mit Klarheit postulieren, dass die Phosphate aus den Abwässern eliminiert werden müssen, wenn der weiteren Eutrophierung der Gewässer Einhalt geboten werden soll (37). Das geeignete technische Vorgehen zur Erreichung dieses Ziels auf einem ökonomisch gangbaren Weg kannte man damals noch nicht. In Fachkreisen wurde das Postulat nach der Elimination der Phosphate nicht sofort anerkannt, sondern es gab noch lange Verfechter der Nitrat-Elimination, obwohl bereits fundierte Begründungen für die Phosphat-Minimums-Theorie vorlagen und u. a. in der NZZ publiziert worden waren (39). In der Schrift «Der Zürichsee, sein Wasser und sein Boden» (42) fasst E. A. Thomas die Gründe für die vordringliche Bekämpfung der Phosphate wie folgt zusammen:

1. in oligotrophen (nährstoffarmen) Seen unseres Gebietes kommt Phosphat nur in äusserst geringen Mengen vor;
2. die natürlichen Zuflüsse unserer Seen enthalten ebenfalls sehr wenig Phosphat, sofern sie nicht durch menschlichen Einfluss verunreinigt sind;
3. Regenwasser enthält oft erhebliche Mengen von pflanzlich verwertbaren Stickstoffverbindungen;
4. im Wasser leben Bakterien und Blaualgen, die unter gewissen Bedingungen imstande sind, gasförmigen Stickstoff organisch zu binden;
5. aus faulenden Organismen kehren Stickstoffverbindungen in höherem Prozentsatz in den Stoffkreislauf zurück als Phosphorverbindungen;
6. Phosphate lassen sich aus Abwässern besser entfernen als Stickstoffverbindungen.

Mittlerweile sind an den Seeufern nicht nur verschiedene mechanische, sondern auch biologische Kläranlagen gebaut oder geplant worden. Der entscheidende Durchbruch in der Gewässer-sanierung, d. h. die Reduktion des Algenbewuchses oder wenigstens eine Stabilisierung, blieb aber aus.

4. Das Simultan-Verfahren (od. Rückschlamm-Verfahren)

E. A. Thomas setzte sich intensiv mit dem Prozess der Phosphat-Elimination auseinander und konnte nachweisen, dass sich die Phosphat-Elimination in einem besondern Verfahren in biologischen Kläranlagen optimal verwirklichen lässt. In der Schrift zur Patent-Anmeldung für sein Verfahren (42a) wird darauf hingewiesen, dass die Phosphate in biologischen Kläranlagen nur zu 25 bis 30% erfasst werden. Eine konventionelle Fällung (Elimination) der Phosphate erwies sich als recht kostspielig, vor allem wegen des grossen Verbrauches an Eisenchlorid ($\text{Fe Cl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Mit dem sogenannten Simultan-Verfahren konnten die Kosten für die Phosphatfällung auf einen Bruchteil gesenkt werden, und die zusätzlichen Installationen, welche in einer üblichen Kläranlage benötigt werden, beschränkten sich auf das Eisenchlorid-Dosiergerät, die Vorratsbehälter und die Rückschlamm-Leitungen. Das Simultan-Verfahren besteht darin, dass die Kläranlage nicht als ausschliessliche Durchlauf-Anlage konzipiert wird, sondern dass der Schlamm, welcher sich im Nachklärbecken sammelt, vor dem Belebtschlamm-Becken zusammen mit dem frischen Eisenchlorid teilweise wieder zugesetzt wird. Dadurch kann bei geeigneter Bemessung der Konzentrationen der Wirkungsgrad der Anlage optimiert werden. Dieses Verfahren erhielt das Schweizer Patent Nr. 361543 vom 30. Mai 1962. In der Schweiz wird heute ausschliesslich dieses Verfahren verwendet (mehr als 150 Kläranlagen). Obwohl E. A. Thomas das Verfahren damals in

verschiedenen Vorträgen und Publikationen (z. B. 73) dargestellt hat und auf die Notwendigkeit der Phosphat-Elimination hingewiesen hatte, konnte sich das neue Verfahren nur langsam durchsetzen. Dies mag teilweise daran gelegen haben, dass die Nitrat-Eliminations-Hypothese trotz aller Misserfolge noch nachwirkte. Zudem kam der Umstand, dass die massgebenden eidgenössischen Instanzen das neue Verfahren vorerst beharrlich nicht zur Kenntnis nahmen und somit jahrelang hinter dem neuesten Stand der Wissenschaft zurückblieben. So schrieb Pierre Wildi in seinem «Rückblick auf 35 Jahre Gewässerschutz im Kanton Zürich», erschienen in Gas, Wasser, Abwasser, Jahrg. 58, Nr. 3/1978, S. 141, vgl. (125):

«Die Einführung der Simultanfällung ging allerdings zuerst nur mühsam voran. Im Jahre 1959 erstmals in der Kläranlage Uster im Dauerbetrieb eingesetzt, gelang der Durchbruch erst gegen Ende der 60er Jahre. Die Verzögerung war nicht zuletzt dem negativen Einfluss eines Wissenschaftlers zuzuschreiben, der auf die Nachfällung gesetzt hatte und das Simultanverfahren trotz seiner Bewährung nicht gelten lassen wollte.»

Das Verfahren der Nachfällung hätte bedeutend grössere Investitionen erfordert, weil jedesmal ein zusätzliches Becken notwendig geworden wäre. Noch im Jahre 1962 wurde in Jona (Kt. St. Gallen) ein derartiges Nachklärbecken aufgrund einer schlechten wissenschaftlich-technischen Beratung erstellt, obwohl aus zürcherischen Kläranlagen bereits ausgezeichnete Ergebnisse aus Anlagen mit dem Simultan-Verfahren vorlagen.

5. Theorie und Praxis in der wissenschaftlichen Forschung

P. Wildi beklagt sich in der oben zitierten Zeitschrift, dass den Wissenschaftlern das theoretische Forschen oft mehr liege als die Praxis und dass bewährte Praktiker bei Institutionen der Wissenschaft oft nicht viel gelten. Der Gewässerschutz ist angewandte Forschung par excellence. Die Qualität der Forschung ist in diesem Falle ersichtlich an den Erfolgen in der Praxis. So kann die Erfindung der Phosphatfällung als eine geglückte Kombination von Theorie und Praxis gelten, denn die Erfolge sind augenfällig (115 u. a.). Die erste umfassende Darstellung der Phosphat-Elimination vor einem internationalen wissenschaftlichen Publikum geschah 1962 in den USA am Seminar des U.S. Dept. of Health, Education and Welfare in Cincinnati (73). Die pragmatischer eingestellten Amerikaner verhalfen der Phosphatfällung so zu internationaler Verbreitung (vgl. auch 95, 104, 105, 118).

6. Rollende Forschung

Natürlich hat die Erfindung der Phosphat-Fällung im Simultanverfahren noch lange nicht alle Probleme der Seewasser-Qualität gelöst. Mit Hilfe des selbstentwickelten Plankton-Test-Lotes (43) konnte E. A. Thomas verschiedene fruchtbare Experimente durchführen (47, 51, 56, 63). Im Jahr 1959 gründete er die «Vereinigung kantonaler Gewässerschutz-Limnologen». Als Initiant und Präsident der Kommission für «Richtlinien über die Beschaffenheit abzuleitender Abwässer» trug er wesentlich zur gesamtschweizerischen Zusammenarbeit bei und verhalf den erforderlichen Richtwerten zu offizieller Anerkennung.

Weitergetrieben wurde auch die hydrobiologische Forschung, denn die Verbreitung der verschiedenen Algen- und Tierarten des Planktons ergibt ein ganzheitliches Bild über den Zustand eines Gewässers. Ein wichtiges Instrument der weiteren Arbeit wurde der Katalog der Planktonorganismen (68). E. A. Thomas hat die Verbreitung einzelner Algenarten studiert (58, 70, 89) und ein neuartiges Gerät für die biologische Arbeit entwickelt (98). Auch die Wirkung weiterer technischer Massnahmen hat er untersucht, so die oft propagierte Durchlüftung eines Sees. Dabei hat er zwar positive Auswirkungen auf den Sauerstoffgehalt festgestellt, aber er hat auch gezeigt, dass damit die Eutrophierung nicht aufgehalten werden kann (82).

Auch dem Zusammenhang zwischen Eutrophierung und Fischerei widmete E. A. Thomas verschiedene Untersuchungen (76, 102), welche zeigen, dass die Qualität der Fische mit zunehmender Verschmutzung stark abnimmt und dass der Fischbestand von einem gewissen Verschmutzungsgrad an überhaupt gefährdet ist (90).

7. Erfolgskontrolle

Jahrzehntlang war der Zustand des Zürichsees fast jedes Jahr schlechter als im Vorjahr. Auch der aufwendige Bau von mechanischen und biologischen Kläranlagen vermochte diesen Trend nicht umzukehren. Entsprechend gering waren die Erwartungen der Bevölkerung an die Einführung der relativ billigen Dritten Reinigungsstufe (Phosphatfällung). Berichte über das gute Funktionieren der neuartigen Anlagen interessierten vorerst hauptsächlich die Fachwelt (77, 80, 81, 91, 97, 101). Erst als die Abwässer fast aller Zürichsee-Gemeinden mit der Dritten Reinigungsstufe behandelt wurden, begann die Wirkung des Minimum-Faktors einzusetzen. Der Phosphat-Mangel hemmte den Algenbewuchs immer mehr, und die Gesundung (Oligotrophierung) des Sees konnte einsetzen (94, 95, 100). Als die Erfolge offensichtlich wurden, begann sich die Öffentlichkeit für das neue Verfahren zu interessieren; Artikel wurden publiziert (115, 132), und die restlichen Kläranlagen mit Einleitung in einen See wurden immer rascher mit der Dritten Reinigungsstufe versehen.

Da E. A. Thomas die längste praktische Erfahrung auf dem Gebiet der Phosphat-Elimination besass, konnte er auch im In- und Ausland auf die Möglichkeiten und Schwierigkeiten des Verfahrens hinweisen und wurde zu Beratungen beigezogen (104, 105, 106, 116, 118, 121).

8. Neue Forschungsprioritäten

Kläranlagen wurden anfänglich nur für Abwässer, welche in Seen gelangen, gefordert, da sich bei Seen die Überdüngung rasch und unangenehm auswirkt. Doch mit einiger Verzögerung stellten sich auch bei den Flüssen Probleme ein: Übermässige Krautwucherungen wurden festgestellt, welche Schifffahrt und Elektrizitätswerke behinderten (122). Die Fliessgewässer wurden deshalb erneut aktuell (vgl. 14), nachdem sie jahrzehntlang im Gewässerschutz zweite Priorität hatten. Auch hier mussten umfassende Untersuchungen über Wasserchemismus und die in Frage kommenden Pflanzenarten angestellt werden (124, 126, 130, 134, 137). Die Frage nach der Bedeutung der Phosphate stellte sich mit zunehmender Verkrautung auch für die Flüsse (127). Heute steht fest, dass die Phosphate in den Flüssen ähnliche Probleme verursachen wie in Seen, und bereits sind einige Gemeinden am Rhein dazu übergegangen, ihre Abwässer ebenfalls mit der Dritten Reinigungsstufe zu behandeln.

9. Schlussbetrachtung

Die Geschichte der Phosphat-Fällung zeigt, dass sich wissenschaftliche Erkenntnisse und technische Neuerungen, welche nicht als Konsumgut verkäuflich sind, oft nur stockend verbreiten. Wenn zwischen der ersten Anwendung einer Neuerung und den spürbaren positiven Auswirkungen zudem noch einige Jahre verstreichen, dann ist grosse Zielstrebigkeit notwendig, um das gesteckte Ziel – in diesem Falle die Sanierung der überdüngten Gewässer – zu erreichen. Es ist deshalb verständlich, dass die Phosphat-Problematik von den ersten Untersuchungen über die Ursachen der Eutrophierung bis zu den späten Fliessgewässer-Studien im Leben eines Wissenschafters über 40 Jahre lang die Arbeit geprägt hat.

Die Veröffentlichung «Rückblick eines Gewässerschutz-Limnologen» (128) zeigt, dass E. A. Thomas sein wissenschaftliches Lebenswerk auch so einschätzt, dass Gewässerschutz-Probleme, insbesondere die Phosphat-Problematik, im Rahmen seiner limnologischen Forschungsarbeiten eine wichtige Stellung einnehmen. Die konkreten Erfolge des Gewässerschutzes zeigen, dass dieser Weg richtig war und dass es sich gelohnt hat, zeitweise die botanischen Interessen hinter die Erfordernisse des Umweltschutzes zurückzustellen.

Mit zahlreichen Vorträgen (vgl. 69), Kursen an der Volkshochschule und mit allgemeinverständlichen Zeitungsartikeln (nur zum Teil im Literaturverzeichnis: 74, 90, 91, 94, 108, 117, 123 u. a.) hat E. A. Thomas um Aufmerksamkeit und Verständnis für die Probleme des Gewässerschutzes geworben, lange bevor Umwelterziehung zum Anliegen grosser Organisationen und der Schulen gemacht wurde. Die Universität Zürich hat diese Bemühungen dadurch anerkannt und

gefördert, dass am Institut für Pflanzenbiologie eine Hydrobiologisch-limnologische Abteilung mit einer entsprechenden Professur geschaffen worden ist (138). Damit ist es E. A. Thomas möglich geworden, Forschung und Lehre in einer Aussenstation am Zürichsee optimal zu kombinieren.

Liste der Publikationen von E.A. Thomas², zwischen 1934 und 1981

1. Neue Untersuchungen über die Flechte *Epigloea bact rospora* Zukal (O. Jaag und E.A. Thomas, Ber. d. Schweiz. Bot. Ges. 1934, 42, H. 1, S. 77–79)
2. Die Spezifität des Parietins als Flechtstoff (Ber. d. Schweiz. Bot. Ges. 1936, 45, S. 191–197)
3. Über ein Russfleckenorkommen auf Äpfeln in der Gegend von Zürich (Elsi Häusermann und E.A. Thomas, Ber. d. Schweiz. Bot. Ges. 1938, 48, S. 325–328)
4. Über die Schweizer Douglasienschütte (Schweiz. Zeitschr. f. Forstwesen, 1939, Nr. 2, S. 1–8)
5. Über die Biologie von Flechtenbildnern (Beiträge zur Kryptogamenflora der Schweiz, 1939, 9, H. 1, S. 1–208, 6 Taf., 98 Tab., 31 Abb.)
- * 6. Beitrag zur Kenntnis des Planktons dreier Zürcher Seen (Z. f. Hydrobiol. 1941, 9, H. 1/2, S. 34–39)
7. Über Seen des Kantons Zürich und Fragen der angewandten Hydrobiologie (Limnologie) (Ber. d. Schweiz. Bot. Ges. 1941, 51, S. 459–460)
- * 8. Untersuchungen am Greifensee und am Pfäffikersee (Schweiz. Fischerei-Z. 1942, Nr. 2, 7 S.)
9. Untersuchungen über Gewässerverunreinigung im Kanton Zürich (Wasser- und Energiewirtschaft 1942, H. 7/8, 4 S.)
10. Untersuchungen am Rhein von Schaffhausen bis Kaiserstuhl 1938/39 und 1940/41 (E. Waser, G. Blöchliger und E.A. Thomas, Z. f. Hydrologie 1943, 9, H. 3/4, S. 1–85)
- * 11. Über den Reinheitsgrad der Zuflüsse des Zürcher Obersees im Gebiete der Grynau (E. Waser, E. Wieser, E.A. Thomas 1943, Buchdruckerei Stäfa, Beiheft zum Jahrbuch vom Zürichsee)
12. Zur Biologie öffentlicher Gewässer (Mitt. aus dem Gebiete der Lebensmitteluntersuchung und Hygiene 1943, Bd. XXXIV, H. 5/6, S. 282–287)
13. Biologische Untersuchungen am Greifensee (Ber. d. Schweiz. Bot. Ges. 1944, 54, S. 141–196)
14. Versuche über die Selbstreinigung fliessenden Wassers (Beitrag zur Kenntnis des Saprobien-systems) (Mitt. a.d. Geb. d. Lebensm. u. Hyg. 1944, Bd. XXXV, H. 3/4, S. 199–218)
- * 15. Über Massnahmen gegen die Eutrophierung unserer Seen und zur Förderung ihrer biologischen Produktionskraft (Schweiz. Fischerei-Z. 1944, Nr. 7/8, 8 S.)
16. Untersuchungen an der Thur 1940/41 (E. Waser und E.A. Thomas, Z. f. Hydrolog. 1944, 10, H. 1, S. 1–86)
- * 17. Über Abwasserfragen der Lebensmittelindustrie (Schweiz. Chemiker-Z. 1945, Nr. 23, S. 416–423)
18. Fortschritte auf dem Gebiete der theoretischen und angewandten Limnologie während der Kriegsjahre (Z. f. Hydrobiologie 1946, X, H. 2/3, S. 152–183)
19. Untersuchungen an der Limmat von Zürich bis Wettingen 1943/44, 1. Hälfte (Viertelj.schr. d. Naturforsch. Ges. in Zürich 1946, Jahrg. XCI, S. 216–236)
20. Untersuchungen an der Limmat von Zürich bis Wettingen 1943/44, 2. Hälfte (Viertelj.schr. d. Naturforsch. Ges. in Zürich 1948, Jahrg. 93, Beiheft, Nr. 1, 92 S.)
- * 21. Limnologische Untersuchungen am Türlerseer (Schweiz. Z. f. Hydrol. Festgabe zum X. Kongress für Limnologie, 1948, Vol. XI und XII, 1948 Fasc. 1/2, S. 90–177)
- * 22. Über den biologischen Haushalt der Gewässer (Plan, Zeitschr. f. Landes- und Regional- und Ortsplanung, Revue suisse d'urbanisme 5. Jahrg. 1948, H. 5, S. 163–169)
- * 23. Winke für Seeuntersuchungen (Schneebeili, Scherrer, Thomas, Mitt. a.d. Gebiete d. Lebensmitteluntersuch. u. Hygiene, 1949, Bd. XL, S. 267–276)

² * In der Dokumentation enthalten

- * 24. Sprungschichtneigung im Zürichsee durch Sturm (Schweiz. Z. f. Hydr. 1949, *II*, S. 527–545)
- 25. Memorie dell'istituto italiano di Idrobiologia (Schweiz. Z. f. Hydr. 1949, *II*, S. 715–716)
- * 26. Regionallimnologische Studien an 25 Seen der Nordschweiz (Verh. I. V. L. 1949, *10*, S. 489–495)
- * 27. Der heutige Zustand des Zürichsees (Thomas und Märki, Verh. I. V. L. 1949, *10*, S. 476–488)
- * 28. Beitrag zur Methodik der Produktionsforschung in Seen (Schw. Z. f. Hydrologie 1950, *12*, S. 25–37)
- * 29. Auffällige biologische Folgen von Sprungschichtneigungen im Zürichsee (Schw. Z. f. Hydrologie 1950, *12*, S. 1–24)
- * 30. Sturmeeinfluss auf das Tiefenwasser des Zürichsees im Winter (Schw. Z. f. Hydr. 1951, *13*, S. 5–23)
- * 31. Produktionsforschungen auf Grund der Sedimente im Pfäffikersee und Zürichsee (Verh. Int. Ver. Limnol. 1951, Bd. XI, S. 409–421)
- * 32. Neuere hydrobiologische Forschungsergebnisse aus dem Gewässersystem Walensee–Linth–Zürichsee (Wasser- und Energiewirtschaft 1951, *43*, Nr. 10, Okt., S. 173–184)
- * 33. Zur Bekämpfung der See-Eutrophierung: Empirische und experimentelle Untersuchung der Minimumstoffe in 46 Seen der Schweiz und angrenzender Gebiete (Monatsbull. Schweiz. Ver. Gas- u. Wasserfachmännern, 1953, Nr. 2/3, S. 25–32 und S. 71–79)
- * 34. Der Einfluss der Meliorierung der Linthebene auf die Überdüngung des Zürichsees (Monatsbull. Schweiz. Ver. Gas- und Wasserfachmännern 1954, S. 264–270 und 278–287)
- * 35. Sedimentation in oligotrophen Seen und eutrophen Seen als Ausdruck der Produktivität (IVL. 1955, *12*, S. 383–393)
- * 36. Über die Bedeutung der abwasserbedingten direkten Sauerstoffzehrung in Seen (Monatsbull. Schweiz. Ver. Gas- u. Wasserfachmännern 1955, *35*, Nr. 5, S. 119–129)
- * 37. Phosphatgehalt der Gewässer und Gewässerschutz (Monatsbull. Schweiz. Ver. Gas- u. Wasserfachmännern 1955, *35*, Nr. 9/10, S. 224–231 und S. 271–277)
- * 38. Stoffhaushalt und Sedimentation im oligotrophen Aegerisee und eutrophen Pfäffiker- und Greifensee (Mem. Ist. Ital. Idrobiol. suppl. 8, 1955, Colloque I.U.B.S. Nr. 19, S. 357–465)
- * 39. Zur Bekämpfung der See-Eutrophierung (NZZ 26.9.1956, Blatt 7, Mittagsaus. Technik)
- * 40. Sedimentation und Stoffhaushalt im Türlersees (Monatsbull. Schweiz. Ver. Gas- u. Wasserfachmännern 1956, Nr. 12)
- 41. Neue Planktonalgen des Zürichsees (NZZ 5.1.1957, Bl. 3, Nr. 29)
- * 42. Der Zürichsee, sein Wasser und sein Boden (Jahrb. vom Zürichsee, 1956/57, S. 173–208)
- * 42a. Verfahren und Entfernung von Phosphaten aus Abwässern (Gesuch vom 26. August 1957; Anmelder: Dr. E.A. Thomas), Schweizer Patent 361 543 vom 30. Mai 1962
- * 43. Das Plankton-Test-Lot, ein Gerät zum Studium des Verhaltens von Planktonorganismen im See (Monatsbull. Schweiz. Vers. Gas- u. Wasserfachmännern 1958, Nr. 1, 8 S.)
- * 44. Seenkunde und Gewässerschutz (Gekürzte Fassung der Antrittsvorlesung, NZZ 29. Nov. 1957, Nr. 3492 und 3496)
- * 45. Sedimentation und Typeneinteilung des Türlersees (Verh. int. Ver. Limn. 1958, XIII, S. 191–195)
- 46. Laterallakunen, eine systematisch und physiologisch interessante Erscheinung bei einigen Diatomeen-Gattungen (Ber. Schweiz. Bot. Ges. 1958, *68*, S. 386–396)
- * 47. Versuche mit Plankton-Test-Loten im Baldeggersee. Erster Teil vom 19. März bis 13. Mai 1958 (Viertelj.schr. Natf. Ges. Zürich 1959, *104*, Festschr. Steiner, S. 330–340)
- * 48. Das Wasser des Zürich-Obersees im Gebiet Lachen–Altendorf und seine Eignung zur Trinkwasserbereitung (Monatsbull. Schweiz. Ver. Gas- und Wasserfachmännern 1959, Nr. 8/10, 26 S.)
- * 49. Beitrag zur Kenntnis des Planktons des Zürich-Obersees und des Zürichsees (H. Järnefelt und E.A. Thomas, Viertelj.schr. Natf. Ges. Zürich 1959, *104*, S. 404–408)
- * 50. Sauerstoffminima und Stoffkreisläufe in ufernahen Oberflächenwasser des Zürichsees (Cladophora- und Phragmites-Gürtel) (Monatsbull. Schweiz. Vers. Gas- u. Wasserfachmännern 1960, *40*, Nr. 6, S. 140–147)

- * 51. Chloridzugabe bei Plankton-Test-Loten im Baldeggersee (Schweiz. Z. f. Hydrologie 1960, 22, S. 320–329)
- 52. Rotalgenrasen und Blaualgenteppe im Zürichsee (Viertelj.schr. Natf. Ges. Zürich 1960, 105, S. 297–305)
- * 53. Die Verschmutzung des Zürichsees und die Strömungs- und Durchflutungsverhältnisse bei Rapperswil (Monatsbull. Schweiz. Ver. Gas- und Wasserfachmännern 1961, Nr. 3/4, S. 53–60 und S. 76–83)
- 54. Hochrheinschiffahrt und Abwasserbeseitigung am Bodensee und Rhein (Schweizer Naturschutz, Juli 1961, XXVII Nr. 4, S. 99–103)
- 55. Über eine blasenbildende Krankheit von kultivierten grünen Fadenalgen (*Cladophora* und *Rhizoclonium*) (Viertelj.schr. Natf. Ges. Zürich 1961, 106, S. 277–288)
- * 56. Vergleiche über die Planktonproduktion in Flaschen und im Plankton-Test-Lot nach Thomas (Verh. Int. Ver. Limnol. 1961, XIV, S. 140–146)
- * 57. Wucherungen von Cyanophyceen an den Ufern des Zürichsees und deren Ursachen (Schw. Z. f. Hydrologie 1961, Vol. XXIII, Fasc. 1, S. 225–235)
- * 58. *Hydrodictyon reticulatum* und seine Beziehung zur Saprobilität im Zürichsee und der Glatt (Viertelj.schr. Natf. Ges. Zürich, 1961, 106, S. 450–456)
- 59. Zur Frage der Seesanierung durch Ableitung von Tiefenwasser (NZZ 15.3.62, Nr. 1000)
- * 60. Zink im Trinkwasser als Algengift (*Cladophora*, *Rhizoclonium*) (Archiv für Mikrobiologie 1962, 42, S. 246–253)
- * 61. Thermisch bedingte Horizontalzirkulationen, Wasserchemismus und Algenwucherungen an Zürichseeufeln (Hydrobiologia, 30.7.1962, Vol. XX, Nr. 1, S. 40–58)
- * 62. Die Eutrophierung von Seen und Flüssen, deren Ursprung und Abwehr (Viertelj.schr. Natf. Ges. Zürich, 30.9.1962, Jg. 107, H. 3, S. 127–140)
- * 63. Versuche mit Plankton-Test-Loten im Baldeggersee, Schlussteil vom 13. Mai bis 14. Okt. 1958 (Viertelj.schr. Natf. Ges. Zürich, 30.9.1962, Jg. 107, H. 3, S. 155–196)
- * 64. Die Veralgung von Seen und Flüssen, deren Ursache und Abwehr (Monatsbull. Schw. Ver. Gas- u. Wasserfachmännern 1963, Nr. 6/7, 12 S.)
- 65. Die Verunreinigung der Reuss zwischen Luzern und der Mündung in die Aare (zusammen mit K.H. Eschmann u.a.) (Wasser- und Energiewirtschaft, 1963, Nr. 6, Baden, Schweiz)
- * 66. Versuche über die Wachstumsförderung von *Cladophora*- und *Rhizoclonium*-Kulturen durch Bakterienstoffe (Ber. Schw. Bot. Ges. 1963, 73, S. 504–518)
- 67. Nährstoffexperimente in Plankton-Test-Loten 1958 (Verh. Internat. Verein. Limnol. 1964, XV, S. 342–351)
- * 68. Katalog der Planktonorganismen des Zürich-Obersees und des Zürichsees (Viertelj.schr. Natf. Ges. Zürich, 1964 109, H. 2, S. 103–142)
- * 69. Seetypen und Gewässerschutz (Naturschutz-Exkursionen zur Zürcher Schulsynode 1964, Viertelj.schr. Natf. Ges. Zürich 1964, 109, S. 511–517)
- * 70. Massenentwicklung von *Lamprocystis roseo-persicina* als tertiäre Verschmutzung am Ufer des Zürichsees (Viertelj.schr. Natf. Ges. Zürich 1964, 109, S. 267–276)
- * 71. Mikrobiologische Aspekte des Gewässerschutzes (Pro Aqua 1965, S. 82–87; Verlag A. Grob AG, St.Gallen); erweitert. Fassung: Viertelj.schr. Natf. Ges. Zürich 1965, 110, S. 301–319)
- * 72. Der Verlauf der Eutrophierung des Zürichsees (Mitt. d. österr. Sanitätsverwaltung 1965, 66, H. 5, 9 S.)
- * 73. The eutrophication of lakes and rivers, cause and prevention (Biological Problems in Water Pollution, Third Seminar, Aug. 1962, U.S. Dept. Health Cincinnati)
- * 74. Das Schicksal des Sempachersees: Eine Betrachtung zur Förderung des Gewässerschutzes (NZZ 5.10.1965, Morgenausg. Blatt 5, Nr. 4130)
- 75. Gewässerschutz am Bodensee (Schweizer Journal für Bau, Verwaltung und Industrie 1965, 31, H. 6, S. 27–78)
- * 76. Gewässerschutz und Fischerei (Plan, Sept./Okt. 1965, 22, S. 175–179)
- * 77. Phosphat-Elimination in der Belebtschlammanlage von Männedorf und Phosphat-Fixation in See- und Klärschlamm (Viertelj.schr. Natf. Ges. Zürich 1965, 110, S. 419–434)

- * 78. Diskussion über die Elimination eutrophierender Nährstoffe (Schw. Z. f. Hydrologie 1964, Vol. XXVI, S. 595–596)
- * 79. Experimentelle Untersuchungen über die Schlamm- und Schlammfällung in unberührten und kulturbedingten Seen der Schweiz (Wasser und Abwasser, Wien, Verl. Winkler & Co. 21 S. 1963, S. 131–169)
- * 80. Die Phosphat-Fällung in der Belebtschlammanlage von Männedorf (Zürichsee-Z. 9. 5. 66)
- * 81. Phosphatfällung in der Kläranlage von Uster und Beseitigung des Eisen-Phosphat-Schlammes 1960 und 1966 (Vierteljahrsschr. Natf. Ges. Zürich, 1966, 111, S. 309–318)
- 82. Der Pfäffikersee vor, während und nach künstlicher Durchmischung (Verh. Int. Verein. Limnol. 1966, 16, S. 144–152)
- * 83. Die Phosphat-Hypertrophie der Gewässer: Notwendigkeit und technische Möglichkeit der Zufuhr-Drosselung (Chem. Weekblad 30. Juni/7. Juli 1967, 63, Nr. 26/27, S. 305–312 und S. 313–319)
- 84. Eutrophierung der Schweizer Seen (Schweizerische Fischerei-Zeitung 1967, 75, Nr. 7, S. 105–108)
- 85. Eutrophierung und Wasserqualität in einigen Schweizer Seen (Fortschritte der Wasserchemie und ihrer Grenzgebiete 1968, H. 8, S. 10–20)
- 86. Betriebserfahrungen mit grosstechnischen Anlagen zur Nährstoffelimination aus Gemeindeabwässern (Fortschritte der Wasserchemie und ihrer Grenzgebiete 1968, H. 8, S. 211–253)
- * 87. Der Eutrophierungsvorgang bei Seen Zentraleuropas (Wasser u. Energiegew. 1960, 60 J., Nrn. 4/5, S. 115–125)
- 88. Die Phosphatfällung des Zürichsees und anderer Schweizer Seen (Mitt. Int. Ver. Limnol. 1968, 14, S. 231–242)
- 89. Die Algenbildung in künstlichen Staugebieten (NZZ 17. 8. 1960, Blatt 3, Nr. 2745)
- 90. Wuchernde Algen bedrohen unsere Fische (Tages-Anzeiger, Mittw. 7. 8. 1968, S. 7)
- 91. Erfahrungen mit der dritten Reinigungsstufe (Schweizer Journal 1968, 9, S. 22–23 und S. 72)
- * 92. Untersuchungen über Auswirkungen und Folgen der Einschichtung von Abwässern in Seen (Verh. Internat. Ver. Limnologie 1969, 17, S. 517–528)
- * 93. Kulturbedingte chemische und biologische Veränderungen des Zürichsees im Verlaufe von 70 Jahren (Mitt. Internat. Ver. Limnol. 1969, 17, S. 226–239)
- * 94. Werden unsere Seen wieder gesund? (Schweizer Journal 1970, 36, S. 23–24 und S. 66)
- * 95. The Process of Eutrophication in Central European Lakes – In: Eutrophication: Causes, Consequences, Correctives; Proceedings of a Symposium. (National Academy of Sciences, Washington D.C., 1969, p. 29–49)
- * 96. Biologische Entwicklungen in schweizerischen Seen (Plan 1970, 27, S. 11–17)
- * 97. Betriebserfahrungen mit Phosphatelimination bei 10 kommunalen Kläranlagen im Kanton Zürich 1969 (E. A. Thomas und H. Rai: Gas, Wasser, Abwasser, 1970, 50, 179–190)
- * 98. Ein einfacher Algenfänger für die Uferregion von Seen (Schweiz. Zeitschr. f. Hydrologie 1970, 32, S. 88–89)
- 99. Beobachtungen über das Wandern von *Phormidium autumnale* und *Oscillatoria princeps* auf Agar (Schweiz. Z. f. Hydrologie 1970, 32/2, S. 523–531)
- * 100. Oligotrophierung des Zürichsees (Vierteljahrsschr. Natf. Ges. Zürich 1971, 116, S. 165–179)
- * 101. Behandlung von Gemeindeabwässern mit 3. Reinigungsstufe vor Einleitung in Seen (Zürichsee) (Gewässerschutz, Wasser, Abwasser, 1971, 4, S. 339–349)
- 102. Fischsterben in Seeabflüssen durch Hyperphotosynthese (Verh. Internat. Ver. Limnologie 1972, 18, S. 454–460)
- 103. Schilfbestand wird Autoparkplatz der Stadt Zürich (Vierteljahrsschr. Natf. Ges. 1972, 117, S. 381–383)
- * 104. Phosphorus and Eutrophication. Environmental Phosphorus Handbook (Ed. by E. J. Griffith et al. 1973, John Wiley & Sons, Inc., p. 585–611)
- * 105. Phosphate removal by recirculating iron sludge (Journal Water Pollution Control Federation, Feb. 1972, 44/2, p. 176–182)
- 106. Einige Störfaktoren bei der Phosphatfällung in Kläranlagen (zusammen mit S. Wehrli und P. Leumann, Ver. Gewässerschutz u. Luftthygiene, 1973, 5, S. 65–71)

- * 107. Gewässerschutz- und Eutrophierungsprobleme bei Seeaufschüttungen (Viertelj.schr. Natf. Ges. Zürich 1973, 118, S. 355–362)
- 108. Pfäffikersee und Greifensee bei Winteranfang 1973/74 (Tages-Anzeiger Zürich, 4. Jan. 1974, S. 19; oder Der Zürcher Oberländer, 31.12.1973/3.1.1974, S. 13)
- 109. Nekrolog: Heinrich Kuhns Wirken für die Umwelt (Tages-Anzeiger Zürich, 7. März 1974, S. 18)
- * 110. Der Einfluss von Bakterienstoffen auf das Wachstum von zwei Cladophoraceen-Arten in Reinkultur: *Rhizoclonium hieroglyphicum* Kütz. und *Cladophora glomerata* Kütz. (Viertelj.schr. Natf. Ges. Zürich 1974, 119, S. 165–197; zus. mit F. Schanz)
- 111. Seerestaurierung in der Schweiz. (ELMIA Jönköping, Schwed., 20 S., Welt, Wasser, Wir, 1970)
- 112. 42 Jahre im Dienste des Gewässerschutzes: Werner Schneebeli (Tages-Anzeiger 24.9.1974, S. 19)
- * 113. Krautwucherungen als schwerwiegendes Gewässerschutzproblem in Fließwässern (Wasser- u. Energiewirtschaft 1975, 67. Jg. 1/2, 7 S.)
- * 114. Gewässerfeindliche Wirkungen von Phosphaten in Flüssen und Bächen (Schweiz. Z. f. Hydrol. 1975, 37, 273–298)
- * 115. Das Beispiel Zürichsee; Geschichte einer weltbekannten Seesanieung (Weltwoche, 11. Juni 1975, Nr. 23)
- 116. Betriebserfahrung mit der Simultanfällung zur Phosphoreliminierung in der Schweiz (Gewässerschutz – Wasser – Abwasser 1974, 17, S. 207–226; Aachen)
- 117. Die Burgunderblutalge wieder im Zürichsee (Zürichseezeitung 23. Jan. 1976, S. 21)
- * 118. The effectiveness of point-source nutrient removal; the lake of Zürich as an example (Water Research Center Symposium Reading GB; 24–26 March 1975)
- 119. Zur Kenntnis der Toxizität des Flutenden Hahnenfusses (*Ranunculus fluitans* LAM.) (Viertelj.schr. Natf. Ges. Zürich 1975, 120, S. 275–281)
- 120. Extreme Sauerstoffminima im Greifensee; Mitwirkung meteorologischer Faktoren (Viertelj.schr. Natf. Ges. Zürich 1976, 121, S. 179–186)
- * 121. Erfahrungen mit der Entfernung von Phosphaten aus kommunalem Abwasser (P. Leumann, H. Schild, E.A. Thomas) (Gas, Wasser, Abwasser 1976, 56, S. 233–238)
- * 122. Der Flutende Hahnenfuss (*Ranunculus fluitans* LAM.), ein neues limnologisches Problem am Rhein (Wasser, Energie, Luft 1976, 68. Jg., S. 230–233)
- 123. Zur Entwicklung der Burgunderblutalge im Zürichsee 1976 (Zürichsee-Zeitung 30.12.1976, Nr. 305, S. 9)
- * 124. Beziehungen zwischen Wasserchemismus und Primärprodukten in Fließwässern, ein limnologisches Problem (E.A. Thomas und F. Schanz, Viertelj.schr. Natf. Ges. Zürich 1976, 121, S. 309–317)
- * 125. Die Entwicklung des Zustandes der zürcherischen Gewässer seit 1940 (Gas-, Wasser-, Abwasser 1978, 58, Nr. 3, S. 150–159)
- * 126. Mass growth of algae and macrophytes in streams; method, cause and prevention (Verh. Internat. Verein. Limnol. 1978, 20, S. 1796–1799)
- * 127. Das Problem Phosphor in See- und Fließgewässern (Seifen – Öle – Fette – Wachse 1978, 104, Nr. 14 und 16, S. 381–384 und S. 467–468)
- * 128. Rückblick eines Gewässerschutz-Limnologen (Chemische Rundschau 6. Dez. 1978, 31. Jg., Nr. 49, S. 6–11)
- * 129. Cultures of Cladophoraceae in water pollution problems (F. Schanz und E.A. Thomas, Mitt. Internat. Ver. Limnologie 1978, 21, S. 57–64)
- * 130. Chironomidenlarven als Konsumenten des Flutenden Hahnenfusses (*Ranunculus fluitans* Lam.) (E.A. Thomas, A. Knecht und W. Sauter, Viertelj.schr. Natf. Ges. Zürich 1979, 123, H. 4, S. 303–307)
- * 131. Limnologische Untersuchungen im schweizerischen Teil des Lago Maggiore, Herbst 1970 bis Herbst 1977 (E.A. Thomas und W. Kunz, Viertelj.schr. Natf. Ges. Zürich 1978, 123, H. 3, S. 237–260)

- * 132. Die Reaktion des Zürichsees auf die Abwasserreinigung (Wasser, Abwasser, Abfälle. Referate der 7. Fachtagung anlässlich der PRO AQUA – PRO VITA 1977 in Basel, Band 7A. BDG Brunner Verlag AG, 8036 Zürich)
- * 133. Der Zürichsee und seine Nachbarseen. Planktonleben und Stoffkreisläufe; physikalische und chemische Einflüsse. (Verlag Neue Zürcher Zeitung 1979, S. 61–85)
- * 134. Karyologische Untersuchungen verschiedener Populationen von *Ranunculus fluitans* Lam. im Nordosten der Schweiz (J. Stünzi, C.D.K. Cook und E.A.Thomas, Viertelj.schr. Natf. Ges. Zürich 1979, 124, S. 133–139)
- 135. An empirical model relating wind action and hypolimnetic oxygenation during vernal circulation in lake Zurich from 1950–1979 (C.G. Örn, F. Schanz und E.A.Thomas, Verh. Int. Ver. Limnolog., im Druck) (1981)
- * 136. Die Durchsichtigkeit des Zürichseewassers von 1897 bis 1980 (F. Schanz und E.A.Thomas, Viertelj.schr. Natf. Ges. Zürich 1980, 125, S. 239–248)
- * 137. Biologische Untersuchung der Limmat zwischen Zürichsee und Wettingen, 1974–1980 (E.A.Thomas und F. Schanz, Schweiz. Z. f. Hydrol., im Druck) (1981)
- * 138. Das Wasser und der Boden des Zürichsees («UNI Zürich», 11. Jg., Mai 1980, S. 4f.)