

**Zeitschrift:** Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria  
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
**Band:** 73 (1981)  
**Heft:** 10

**Artikel:** Neue Erfahrungen mit Oberflächenwasseraufbereitung, besonders hinsichtlich der Entfernung organischer Substanzen  
**Autor:** Schlaekam, Maarten  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-941349>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 04.04.2025

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

# Neue Erfahrungen mit Oberflächenwasseraufbereitung, besonders hinsichtlich der Entfernung organischer Substanzen

Maarten Schalekamp

## 1. Zusammenfassung

Am Rhein und in seinem Einzugsgebiet weisen die Oberflächenwasserwerke eine sieben- bis zehnstufige Aufbereitung auf. In der Schweiz haben die Werke sieben- bis achtstufige Anlagen, das heisst Voroxidation, Mikroflokkulation, Zweischicht-Schnellfiltration, Neutralisierung, Ozonung, Aktivkohlefiltration, zum Teil Langsamfiltration und einen Netzschutz mit Chlordioxid. Die Ozon- und die Aktivkohlefilterstufen zeigen die besten Resultate hinsichtlich der Entfernung von organischen Substanzen. Trotz der grossen Verminderung von organischen Substanzen, hauptsächlich Huminsäure-Verbindungen, durch die Chlorung werden unerfreulicherweise halogenierte Kohlenwasserstoffe produziert. Ersetzt man das Chlor durch Chlordioxid, so kommt bei der Zehrung Chlorit frei, das sich im Laufe der Aufbereitung, speziell jedoch durch die Ozonung, in Chlorat umwandelt. Dies kann verhindert werden, indem man das Chlorit am Anfang der Aufbereitung mittels Aktivkohle entfernt. Am einfachsten geschieht dies, indem man eine Aktivkohlefilterschicht auf den ersten Zweischicht-Schnellfilter anbringt. Die Verminderung von organischer Substanz und halogenierten Kohlenwasserstoffen durch die Ozonstufen ist gut.



Bild 1. Die Jungfrau

### Verschmutzungsfaktoren

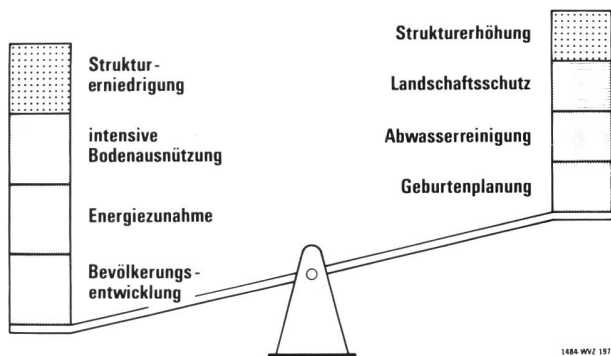


Bild 2. Gegenüberstellung von Verschmutzungsfaktoren und Gegenmassnahmen.

Ozon produziert jedoch Aldehyde, die zur Wiederverkeimung Anlass geben können. Mit einer Ozondosiermenge von 5 mg/l ist die Verminderung der organischen Substanzen und der halogenierten Kohlenwasserstoffe besser als bei einer kleineren Dosierung. Die Aktivkohlefiltration reduziert die organischen Substanzen und die halogenierten Kohlenwasserstoffe stark und lässt die Aldehyde ganz verschwinden.

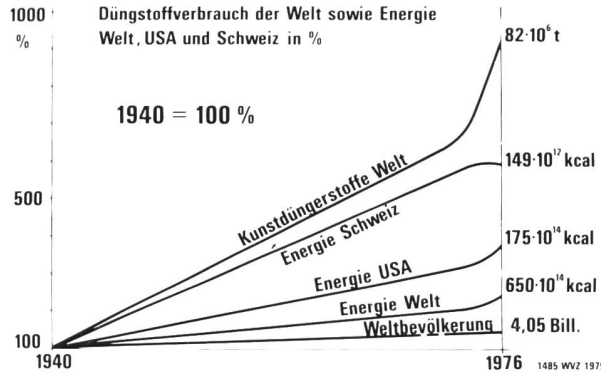


Bild 3. Die Entwicklung der Weltbevölkerung; Zunahme des Düngstoffverbrauchs der Welt, USA und Schweiz. Die Prozentangaben beziehen sich auf den Stand 1940 = 100%.

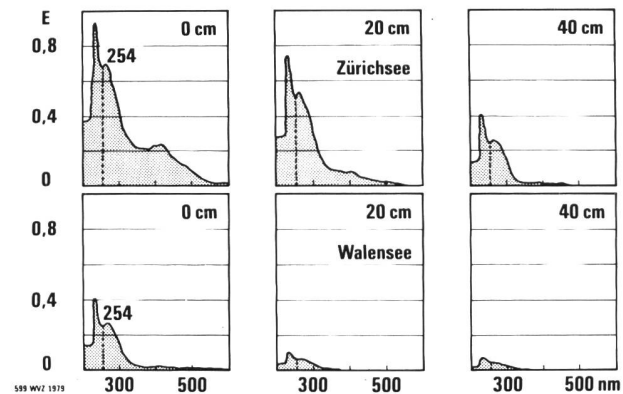


Bild 4. Die UV-Spektren in den Seesedimenten des Zürichsees und des Walensees in verschiedenen Tiefen.

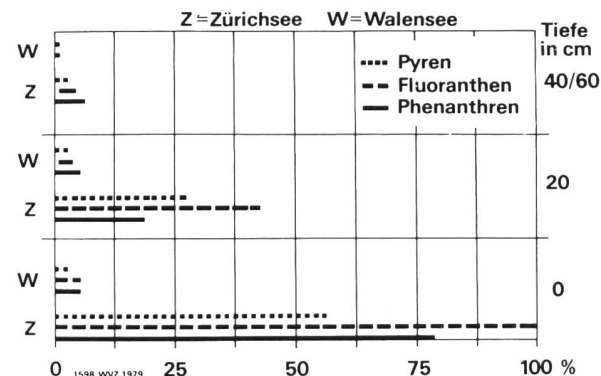


Bild 5. Polyzyklische Aromate in verschiedenen Schichttiefen des Sedimentes (Walensee und Zürichsee).

## 2. Einleitung

Die Jungfrau, einer der höchsten Berge in der Schweiz (Bild 1), liegt im Einzugsgebiet des Rheins. Ihr weisses Kleid ist nicht mehr so rein wie es war. Die Ursache liegt in der Umweltverschmutzung.

Der Mensch hat das ökologische Gleichgewicht der Erde gestört. Diese Veränderung ist u. a. auf die Bevölkerungszunahme, die Energieverbrauchszunahme und die in-

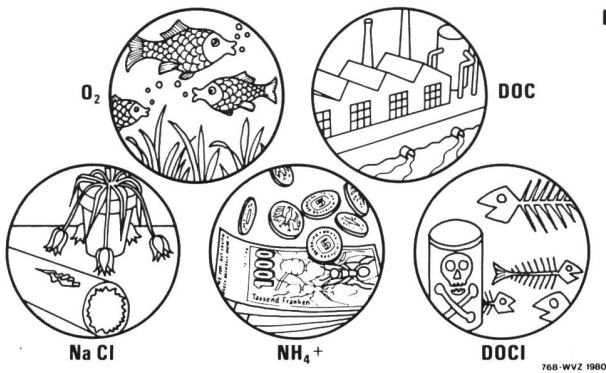


Bild 6. Die fünf Beurteilungskriterien für den Rhein der IAWR, Internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Rheineinzugsgebiet.

tensivere landwirtschaftliche Nutzung des Bodens zurückzuführen (Bild 2). Der Kunstdüngerverbrauch zum Beispiel nahm seit 1940 in der Welt um das Neunfache zu (Bild 3). Wenn sich die Menschheit auch in Zukunft auf dem Raumschiff «Erde» wohl fühlen soll, darf die Entwicklung der vorgenannten Kriterien nicht mehr zunehmen, als die uns zur Verfügung stehenden Massnahmen sie vollständig wettmachen. Gegenmassnahmen sind u. a. die Abwasser-, Wasser- und Luftreinigung, der Landschaftsschutz und die Bevölkerungsplanung.

In der Schweiz stieg seit 1940 der Energieverbrauch um das Sechsfache an, obwohl die Bevölkerung in der gleichen Zeit nur um etwa 50%, das heisst von rund 4,2 Mio auf 6,2 Mio Einwohner, zunahm. Der Wasserverbrauch der öffentlichen Werke verdoppelte sich in dieser Zeit von 0,6 auf 1,2 Mrd. m<sup>3</sup>/Jahr. Der Kunstdüngerverbrauch, nämlich die Summe von K + N + P, nahm um das Siebenfache auf 110 000 t/Jahr zu. Der Verbrauch organischer Fungizide nahm seit 1954 um das 25fache zu und stieg von jährlich 40 auf 1000 t an. Diese Schweizer Zahlen sind auch für den Kontinent repräsentativ.

Sowohl die Gewässer in der Schweiz als auch auf dem Kontinent sind durch die Umweltbelastung in Mitleidenschaft gezogen worden.

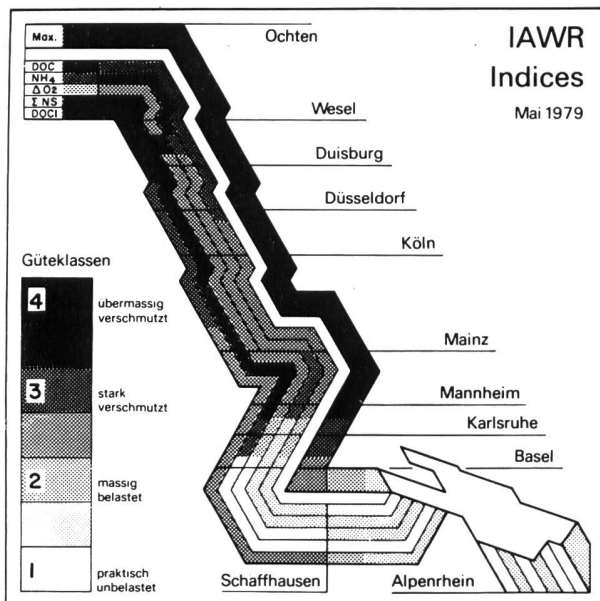


Bild 7. Vorschlag der IAWR, Internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Rheineinzugsgebiet, zur Bewertung der Gewässerqualität am Beispiel der Rheins.

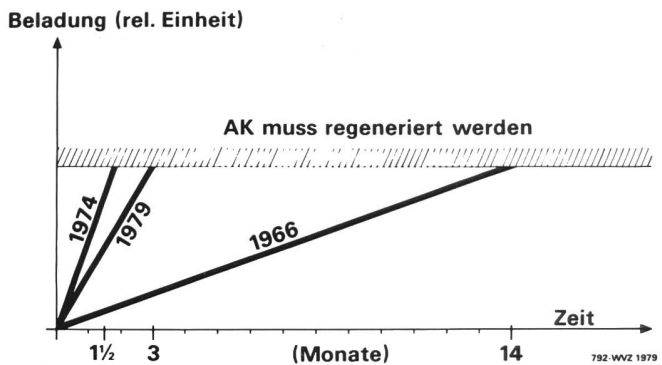


Bild 8. Der Aktivkohlezyklus. Beispiel der Wasserwerke am Niederrhein.

### 3. Die Umwelteinflüsse auf die Gewässer

Als Beispiel für die Seen sei der Zürichsee erwähnt. Er ist heute kein oligotropher See mehr, sondern ein eutropher. In der Zeit von 1940 bis 1969 haben die Phosphate an seiner tiefsten Stelle um fast das Elfache zugenommen, nämlich von 10 auf 115 µg P/l. Das zeigt seine fortschreitende Eutrophierung. Seitdem bei den Kläranlagen am unteren Zürichsee eine dritte Reinigungsstufe in Betrieb genommen wurde, konnte eine Stagnierung bei den Phosphatwerten, die zwar immer noch bei 75 µg P/l liegen, verzeichnet werden (der Wert in P ausgedrückt ist dreimal kleiner als in PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>).

Obwohl sich der Sauerstoffgehalt im Seewasser wesentlich verbessert hat, ist er in der Tiefe immer noch sehr klein. Die Anteile an organischen Substanzen der Sedimente, gemessen an den UV-Werten, sind im Zürichsee heute viermal höher als diejenigen des Walensees (Bild 4); bei den krebserregenden Substanzen, wie Phenanthren, Fluoranthren und Pyren, sind die entsprechenden Zahlen sogar zehnmal höher (Bild 5). Auch bei anderen Schweizer Seen wurden in den letzten 20 Jahren starke Eutrophierungserscheinungen festgestellt.

Der Rhein und die Flüsse in seinem Einzugsgebiet weisen infolge der Umweltverschmutzung in den vergangenen 20 Jahren ebenfalls eine zunehmende Verschmutzung auf. Beim Rhein ist besonders die chemische Verschmutzung gravierend. Die Abflussmenge des Rheins beträgt nur 0,2% des Abflusses aller Flüsse der westlichen Welt, und in seinem Einzugsgebiet sind rund 20% aller Chemieunternehmen des Westens beheimatet.

Die Klärung der Abwässer im Rheineinzugsgebiet ist trotz aller Bemühungen immer noch ungenügend. Obwohl die internationale Zusammenarbeit am Rhein gut ist, sind die Resultate der gemeinsamen Bemühungen um eine Verbesserung des Rheinwassers eher dürftig. Bei realistischer Betrachtungsweise kommt man zum Schluss, dass jeder einzelne Anliegerstaat sich vermehrt um den Rhein kümmern muss, denn jedes Land hat ja seine entsprechenden Gesetze, nach welchen die Abwässer einwandfrei geklärt werden könnten. Nur so besteht die Möglichkeit, den Rhein wieder in einen sauberen Zustand zurückzuführen. Seine Sauberhaltung ist technisch möglich und daher vor allem eine politische Aufgabe. Dass viele verantwortliche Politiker diese Aufgabe richtig verstanden haben, zeigen die zahlreichen positiven Beispiele.

Nach Meinung der Internationalen Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Rheineinzugsgebiet (IAWR) darf der Rhein nur nach den Qualitäts-Kriterien der Trinkwasserversorgungen beurteilt werden und nicht nur danach, ob nun wieder Fische im Rhein leben können. Dies ist mit ein

Grund dafür, dass die IAWR in enger Zusammenarbeit mit dem Deutschen Verein des Gas- und Wasserfaches (DVGW) im Bericht der IAWR-Arbeitstagung Basel im Jahre 1979 eine neuartige Gütekarte, einen «Hotelführer» für den Rhein, herausgegeben und vorgestellt hat. So soll der Rhein in Zukunft nicht nur nach seinem «Bett», das heisst nach dem Saprobien-System, bewertet werden; die Qualität des Rheinwassers ist nach den Kriterien zu beurteilen, die für das Trinkwasser, sprich für die Gesundheit des Menschen, wichtig sind. Diese Gütekarte soll den Behörden und Abwasserfachleuten klar aufzeigen, wo die Prioritäten der Reinhaltmassnahmen zu setzen sind.

*Die «Gütekarte» der IAWR für den Rhein («Hotelführer»)*

Gemäss dem IAWR-Bericht 1978 muss bei der Beurteilung des Rheins von Zahlenwerten ausgegangen werden, die von der momentanen Wasserführung unabhängig sind.

Die Gewässer können nur anhand von Parametern bewertet werden, für die der Zusammenhang zwischen der Wasserführung und der Konzentration bekannt ist und mathematisch beschrieben werden kann. Es müssen genügend Analysendaten bei verschiedenen Wasserführungen vorliegen.

Die für eine Auswertung heranzuziehenden Parameter sollten für die Art der Verschmutzung des Rheinwassers repräsentativ sein und ausreichend häufig gemessen werden. Vorerst beschränkt man sich auf die Untersuchung und Darstellung folgender Parameter (Bild 6):

- gelöster organischer Kohlenstoff (O<sub>2</sub>)
- Ammonium (DOC)
- Sauerstoff-Sättigungsdefizit (NaCl)
- Neutralsalzbelastung, ausgedrückt in mg/l Chlorid (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)
- gelöstes, organisch gebundenes Chlor (DOCl)

Bei der Auswertung der Analysendaten sollten sowohl repräsentative Konzentrationen für das langjährige Mittel der Wasserführung als auch für eine sehr niedrige Wasserführung mit einem wahrscheinlichen Maximum der Konzentrationen ermittelt werden.

Die Zuordnung der repräsentativen Konzentrationen (Mittel und Maximum) zu den Gewässerqualitäten 1 bis 4 dient lediglich der Veranschaulichung der Zahlenwerte bezüglich der Konzentrationsstärke. Dabei werden die langjährigen Erfahrungen der Wasserwerke im Rheineinzugsgebiet der Bewertungsskala zugrunde gelegt. Es werden folgende Gewässerqualitäten unterschieden:

- Gewässerqualität 1: praktisch unbelastet
- Gewässerqualität 2: mässig belastet
- Gewässerqualität 3: stark verschmutzt
- Gewässerqualität 4: übermässig verschmutzt

Aus den Gewässerqualitäten für die fünf einzelnen Parameter kann insofern eine Gesamtkennzahl ermittelt werden, als dafür der höchste Wert für einen der Parameter eingesetzt wird.

Das Resultat der Beurteilung nach den erwähnten Kriterien ergibt für den Rhein eine Gütekarte (Bild 7). Ab Karlsruhe zum Beispiel erhält der Rhein die Note 3 bis 4, das heisst das Wasser ist stark bis übermässig verschmutzt, was zur Hauptsache auf die Neutralsalze zurückzuführen ist.



Bild 9. Die Rheinwasseraufbereitung in Amsterdam.



Bild 10. Die Rheinwasseraufbereitung in Wiesbaden.

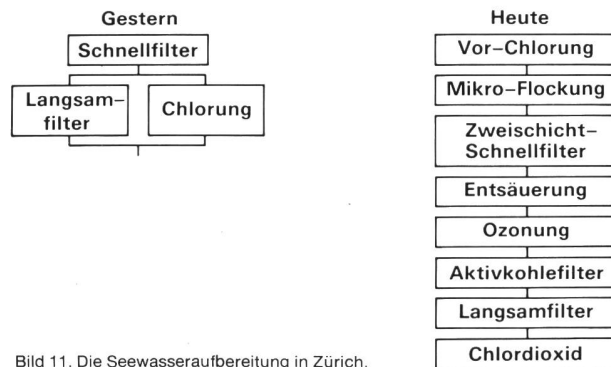


Bild 11. Die Seewasseraufbereitung in Zürich.

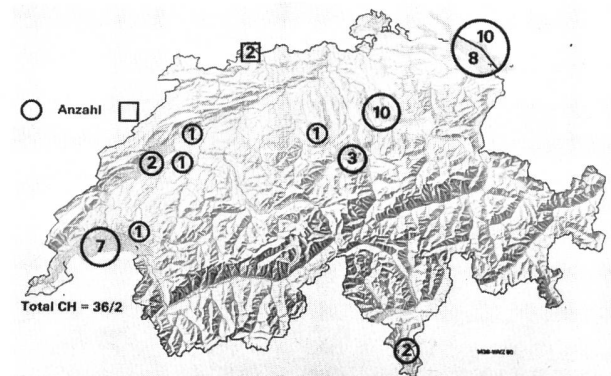


Bild 12. Die See- und Flusswasserwerke der Schweiz, 1978.

Bild 13. Schwierigkeiten, die bei der Seewasseraufbereitung seit 1960 aufgetreten sind.

- |                       |                           |
|-----------------------|---------------------------|
| 1. Phenolunfall       | 8. aggr. Kohlensäure      |
| 2. Keimdurchbrüche    | 9. Wandermuschel          |
| 3. Wiederverkeimung   | 10. Filterfauna           |
| 4. Nanoplankton       | 11. Geschmackstörungen    |
| 5. Laufzeitverkürzung | 12. Spurenstoffe          |
| 6. Phosphate          | 13. Gewässerverschmutzung |
| 7. Sauerstoff         | 14. etc.                  |



#### 4. Die Wasseraufbereitungsverfahren bei den Wasserwerken am Rhein und in seinem Einzugsgebiet

Die Möglichkeiten zur Verbesserung der Trinkwasseraufbereitung sind nicht unbeschränkt. Bei den Wasserwerken am Niederrhein zum Beispiel sind praktisch alle diese Möglichkeiten ausgeschöpft. Sie bestehen aus Uferfiltration, Ozonung, Mehrschichtfiltration, Aktivkohlefiltration, Entsäuerung und Sicherheitschlorung. Die Laufzeit der Aktivkohlefilter dieser Werke betrug 1966 noch 13 bis 14 Monate, im Jahre 1974 nur noch 6 Wochen, währenddem diese 1979 als Folge der Rheinqualitätsverbesserung bezüglich DOC und Ligninsulfonsäure noch drei bis vier Monate betragen (Bild 8). Viele Wasserwerke auf dem Kontinent haben im letzten Jahrzehnt alles getan, um ein einwandfreies Trinkwasser abgeben zu können. Drei Beispiele sollen dies verdeutlichen:

In *Weesperkarspel*, Holland, steht seit 1886 ein Wasserwerk mit Vor- und Langsamfiltern in Betrieb, dessen Rohwasser sowohl aus verschiedenen Seen als auch aus dem Rhein stammt. Das Wasser wird am Schluss der Aufbereitung gechlort, und die Qualität genügte den damaligen Anforderungen. Als Folge der Veränderung in der Rohwasserqualität musste die Aufbereitung bei der Wasserversorgung von Amsterdam in den vergangenen Jahren immer wieder angepasst werden, so dass heute ein kompliziertes Aufbereitungssystem angewendet werden muss, damit immer noch Trinkwasser von einwandfreier Qualität abgegeben werden kann (Bild 9). Dieses Verfahren besteht aus folgenden neun Aufbereitungsstufen: Vermischung des Rheinwassers mit Wasser aus dem Betunepolder und anschliessend Reinigung in Selbstreinigungsbecken, 1. Schnellfiltration, Ozonung, Aktivkohledosierung in Pulver-

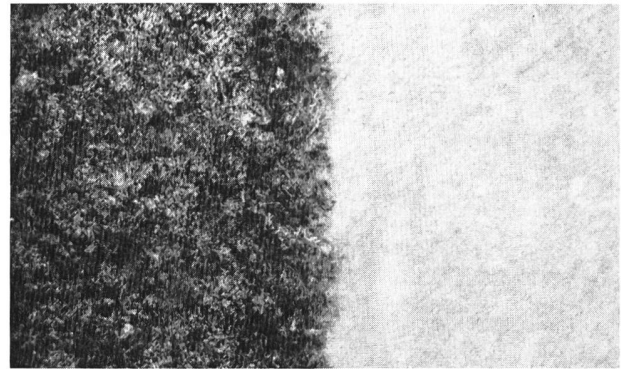


Bild 16. Aufnahmen einer Rohrinnenwand einer Rohwasseranlage: links ohne Chlor, rechts bei Vorchlorung des Rohwassers.

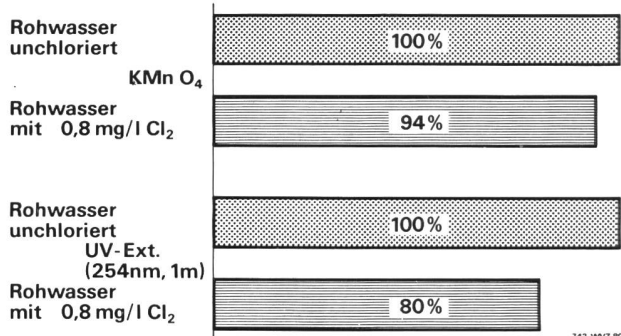


Bild 17. Reduktion in % des KMnO<sub>4</sub> und der UV-Extinktion durch Zugabe von 0,8 mg/l Cl<sub>2</sub> im Rohwasser.

#### A. Für Staat, Kantone und Gemeinden

1. Kampf gegen die Verschmutzung durch Schaffung von Gesetzen für den Umweltschutz
2. Anwendung des Gesetzes für den Gewässerschutz und Bau für Kläranlagen 1982

#### B. Für Wasserversorgung und Industrie

1. Wasser sparen
  - Kreislauf-Verfahren bei der Industrie
  - Konsumgerechte, progressive Wassertarife
  - Information der Öffentlichkeit
  - Anwendung moderner Installationstechnik, wie automatische Mischbatterien, Bäder mit festinstallierter Duscheinrichtung usw.
2. Verbesserung der Wasseraufbereitung

Bild 14. Massnahmen zum Schutze der Gewässer und zur Sicherung einer guten Wasserversorgung.

	Schnellfilter	Vorchlorung	Vorchlorung	Vorchlorung
	Ozon oder Chlorung	Zweischicht SF mit AK-Filter	Zweischicht SF	Flockung
		Ozon oder Chlorung od. Chlordioxid	Ozonung	Zweischicht SF
			AK-Filter	Neutralisation
			Chlordioxid	Ozonung
				AK-Filter
				Langsamfilter
				Chlordioxid
1974	45%	20%	20%	15%
1978	45%	15%	15%	25%

Bild 15. Die Wasseraufbereitungsverfahren der 36 schweizerischen Seewasserwerke (1978).

form, Koagulation, 2. Schnellfiltration, Langsamfiltration, Entsäuerung, Entlastung und Sicherheitschlorung.

Als zweites Beispiel sei die Wasserversorgung von *Wiesbaden* erwähnt. In früheren Jahren war mit Uferfiltrat noch einwandfrei auszukommen. Durch die Verschmutzung des Rheins nahm die Leistung der Brunnen jedoch sukzessive und immer spürbarer ab, so dass das Grundwasser künstlich angereichert werden musste. Heute wird das Trinkwasser in Wiesbaden in zehn Stufen wie folgt aufbereitet: Belüftung, Aufenthalt im Vorbecken, Sedimentation, Knickpunktchlorung, Flockung mit Eisenchlorid, Filtration in Schnellfiltern, Filtration mit Aktivkohle, Grundwasseranreicherung durch Infiltration über Brunnen und Becken, Belüftung, Filtration in Langsamfiltern, Sicherheitschlorung (Bild 10).

Als drittes Beispiel ist *Zürich* zu nennen, wo bis im Jahre 1960 mit zwei Verfahrensstufen zur Aufbereitung von Seewasser auszukommen war, entweder mit Schnellfiltration und Chlor oder mit Schnell- und Langsamfiltration. In den zehn Jahren nahmen die Schwierigkeiten derart zu, dass das bisherige Aufbereitungssystem nicht mehr zu verantworten war, so dass in den beiden Seewasserwerken der Wasserversorgung Zürich folgendes 8stufiges Verfahren angewendet werden musste: Voroxidation, Flockung, Schnellfiltration, Entsäuerung, Ozonung, Aktivkohlefiltration, Langsamfiltration und Sicherheitschlorung mit Chlordioxid (Bild 11).

#### 5. Die Wasseraufbereitungsverfahren bei den Seewasserwerken der Schweiz

In der Schweiz werden zehn Seen wie auch der Rhein zur Trinkwasserversorgung genutzt (Bild 12).

Von den insgesamt 36 Seewasserwerken liegen allein deren 25 am Bodensee, am Zürichsee oder am Genfersee; sie sind im folgenden nach Seen zusammengestellt:

Bodensee	schweizerisches Ufer (deutsches Ufer 10 Werke)	8 Werke
Zürichsee		10 Werke
Genfersee	schweizerisches Ufer	7 Werke
Vierwaldstättersee		3 Werke
Neuenburgersee		2 Werke
Luganersee		2 Werke
Lac de Brét		1 Werk
Murtensee		1 Werk
Sempachersee		1 Werk
Bielersee		1 Werk
Zusammen		36 Werke

An Flusswasserwerken für die Trinkwasserversorgung sind die Werke der Hardwasser AG und der Stadt Basel, beide am Rhein, zu nennen. Für die Brauchwasserversorgung der Industrie zählt die Schweiz überdies fünf grössere Entnahmeanlagen an Flüssen, nämlich zwei am Rhein, zwei an der Rhone und eine an der Saane, sowie eine grössere Anzahl an kleineren Seen.

Bei den Schweizer Seewasserwerken hat man, wie in Bild 13 aufgezeigt, einige Probleme gehabt.

Aus Bild 14 ist sodann ersichtlich, dass nicht nur die Gesetzgebung und ihre Anwendung zum Schutze der Gewässer wichtig ist, sondern auch die Massnahmen der Wasserwerke selbst.

Von den total 36 schweizerischen Seewasserwerken (Bild 15) haben 1978 deren 17 das Verfahren mit Schnellfiltration, anschliessend Ozonung und Chlorung, angewendet. In sechs Werken geschieht die Aufbereitung wie folgt: Vorchlorung, Zweischicht-Schnellfiltration mit Aktivkohle und Sand, anschliessend Ozonung, Chlor- oder Chlordioxidbehandlung. Weitere sechs Werke haben Vorchlorung, Zweischicht-Schnellfiltration mit Sand und Bims oder Anthrazit, Ozonung, Aktivkohlefiltration und Chlordioxidbehandlung. Die restlichen sieben Werke haben folgendes Aufbereitungsverfahren: Vorchlorung, Flockung, Zweischicht-Schnellfiltration (Sand und Bims), Neutralisation, Ozonung, Aktivkohlefiltration, Chlordioxidbehandlung. Die Werke Horw (Vierwaldstättersee), Rolle (Genfersee), St. Gallen (Bodensee) sowie Zürich-Moos und Zürich-Lengg (beide Zürichsee) haben vor der Chlordioxidbehandlung noch eine Langsamfilterstufe. Das baselstädtische Flusswasserwerk Lange Erlen weist vor der Versickerung eine Schnellfilterstufe mit Chlorung auf. Die Flusswasseranlage der Hardwasser AG arbeitet nach dem Verfahren Flockung mit Sedimentation, Schnellfiltration und Versickerung (Langsamfilter).

## 6. Die verschiedenen künftigen Verfahrensketten

In Zukunft wird an den verschiedenen Schweizer Seen folgendes Aufbereitungsverfahren angewendet werden: Vorchlorung, Flockung, Zweischicht-Schnellfiltration mit Sand und Bims, Neutralisation, Ozonung, Aktivkohlefiltration, Langsamfiltration und Chlordioxidbehandlung.

Diesen Angaben kann entnommen werden, dass praktisch an allen Schweizer Seen, die zur Trinkwasserversorgung genutzt werden, die neue Aufbereitungstechnik schon Eingang gefunden hat oder noch finden wird. Bei den Flusswasserwerken ist die gleiche Tendenz festzustellen mit der Ausnahme, dass eine Flockung mit Sedimentation vorgesehen ist. Es stellt sich nunmehr die Frage, warum und wie diese Verfahren in der Schweiz angewendet werden. In kurzen Zügen können diese wie folgt beschrieben werden:

### 1. Stufe: Vorchlorung des Rohwassers

Das Rohwasser wird im Fassungskopf der See-Entnahmeleitung mit 1 mg Cl<sub>2</sub>/l gechlort. Die Vorchlorung des Rohwassers ist als eine echte Aufbereitungsstufe zu betrach-

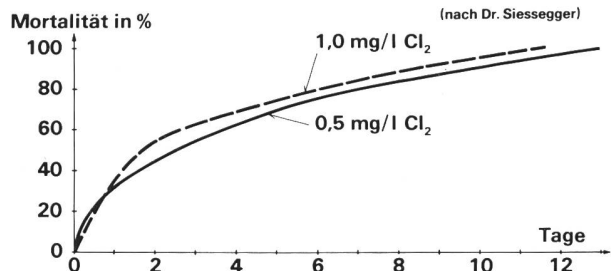


Bild 18. Mortalität der Bodensee-Wandermuschellarve im chlorierten Zürichsee-Rohwasser mit 0,5 bzw. 1,0 mg Cl/l in Funktion der Zeit.

ten. Einerseits hält sie die Rohwasseranlage bis zum Schnellfilter vor allfälligen Algen- und Wandermuschellarven-Ansätzen einwandfrei sauber (Bild 16), andererseits reduziert sie die gelöste organische Substanz im Wasser um 6 bis 20% (Bild 17).

Die Reduktion findet statt, ob man nun ein oder mehr mg/l Wasser zudosiert. Werden allerdings nur 0,5 mg beigegeben, so sind die Reduktionen fast nicht mehr feststellbar. Auch die Wandermuschellarve wird dabei nicht mehr mit Sicherheit abgetötet. Versuche haben gezeigt, dass eine Beigabe von 1 mg/l und ein Restchlorgehalt von 0,5 mg/l auf den Schnellfiltern die Wandermuscheln in 13 Tagen eliminieren. Da die Larven erfahrungsgemäss etwa 14 Tage benötigen, bis sie durch den Filter durchgedrungen sind, ist diese Zeit gerade genügend (Bild 18). Die Chlorung bringt auch noch eine Verbesserung der Farbe des Wassers. Anstelle des grünlichen Aussehens bekommt es einen Blaustich. Die durch die Chlorung erzeugten Chlor-kohlenwasserstoffe (Bild 19) betragen nur 10 bis 15 µg/l. Sie sind zwar hygienisch unbedenklich, jedoch unerwünscht. Darum wurde dieses Verfahren auf Chlordioxid umgestellt, wobei keine Haloforme gebildet werden (Bild 20).

Das Chlordioxid hat die unangenehme Eigenschaft, dass durch die Zehrung im Wasser Chlorit freikommt. Bei einer Dosierung von 0,8 mg ClO<sub>2</sub> ergibt sich zirka 0,6 mg Chlorit.

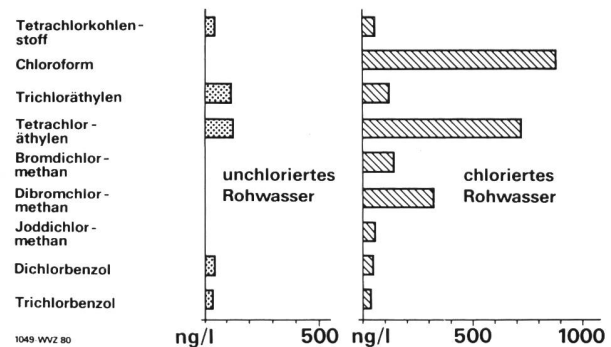


Bild 19. Neubildung bzw. Erhöhung von Halogenverbindungen durch Chlor.

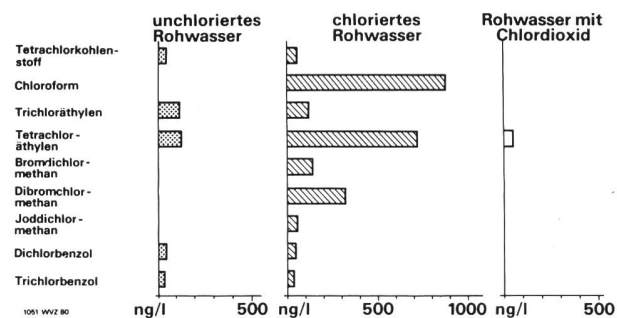


Bild 20. Neubildung bzw. Erhöhung von Halogenverbindungen durch Chlor und Chlordioxid.

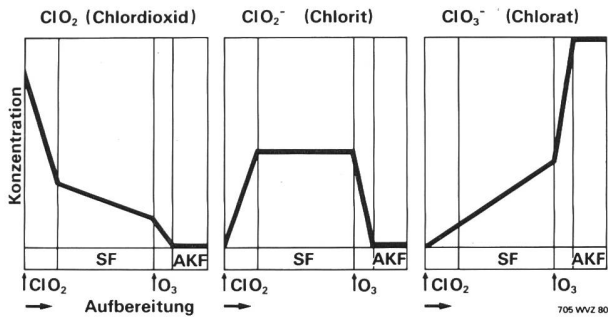


Bild 21. Seewasserwerk Lengg der Stadt Zürich. Voroxidation mit Chlordioxid: Bildung von Chlorit und damit von Chlorat.

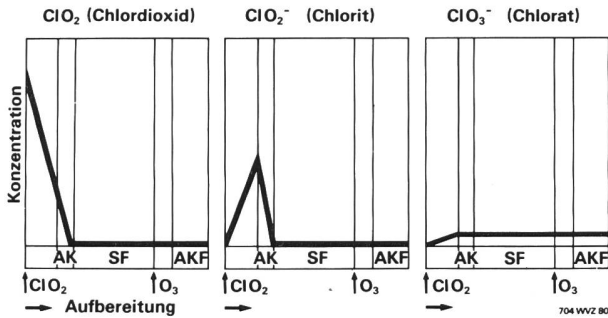


Bild 22. Seewasserwerk Lengg, Voroxidation mit Chlordioxid: Verhinderung der Chlorit- und Chloratbildung durch Aktivkohlefiltration.

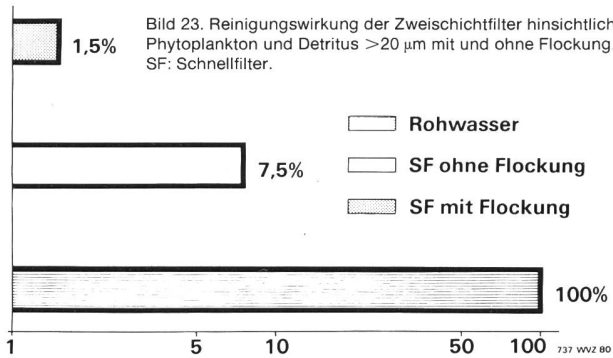


Bild 23. Reinigungswirkung der Zweischichtfilter hinsichtlich Phytoplankton und Detritus >20 µm mit und ohne Flockung. SF: Schnellfilter.

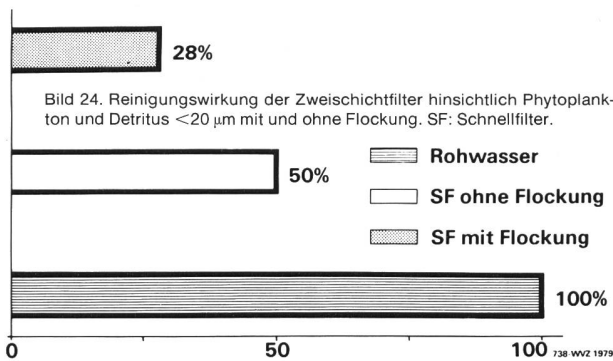


Bild 24. Reinigungswirkung der Zweischichtfilter hinsichtlich Phytoplankton und Detritus <20 µm mit und ohne Flockung. SF: Schnellfilter.

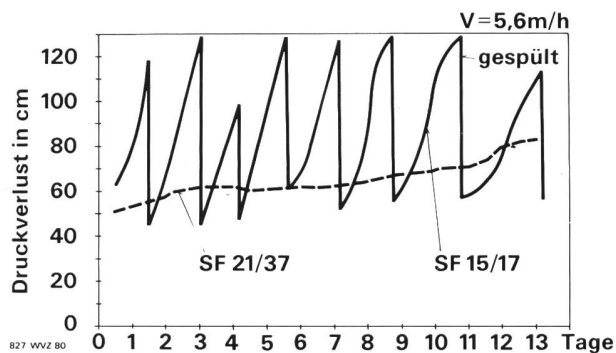


Bild 25. Laufzeit von Ein- und Zweischichtfiltern in Funktion der Druckverluste. SF 21/37: Zweischicht-Schnellfilter; SF 15/17: Einschicht-Schnellfilter.

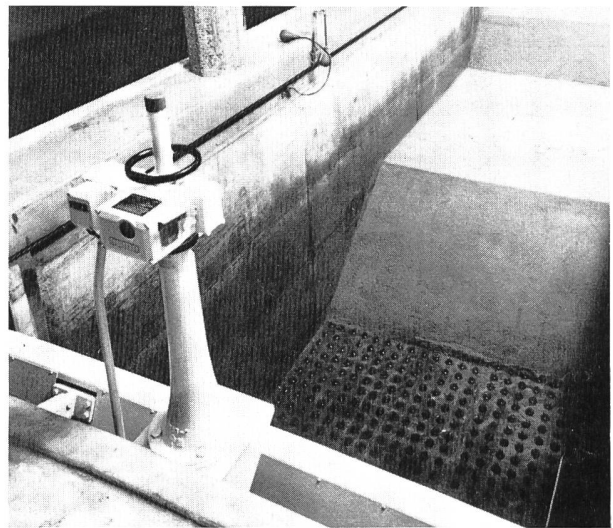


Bild 26. Zweischicht-Schnellfilter im Seewasserwerk Lengg der Stadt Zürich.

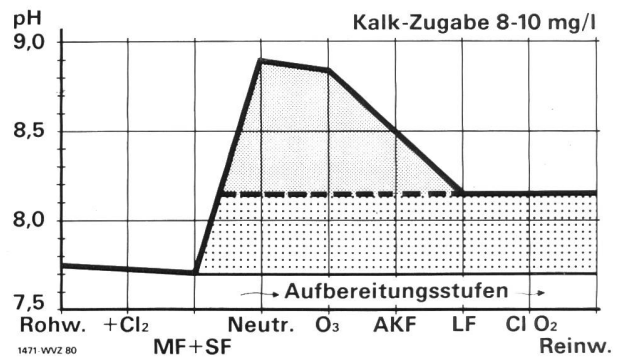


Bild 27. Veränderung des pH-Wertes durch den Wasseraufbereitungsprozess im Seewasserwerk Lengg. Vom Rohwasser bis zum Reinwasser durchläuft das Wasser die folgenden Stufen: Vorchlorierung ( $Cl_2$ ), Mikroflokkulation (MF), Zweischicht-Schnellfiltration (SF), Neutralisierung (Neutr.), Ozonung ( $O_3$ ), Aktivkohlefiltration (AKF), Langsamfiltration (LF), Netzschutz mit Chloroxid ( $ClO_2$ ).

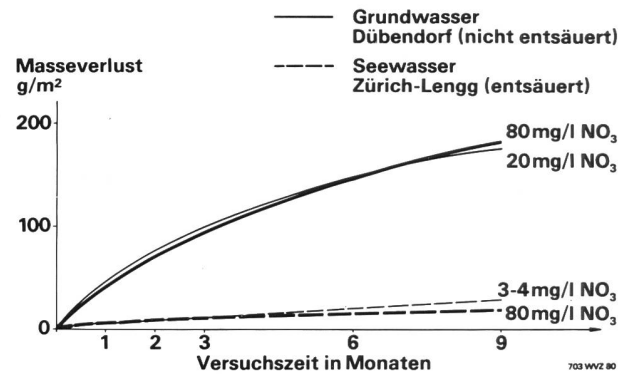


Bild 28. Korrosionsversuche nach EMPA.

Nr.	Land	Anlagen
1	Schweiz	24
2	Frankreich	11
3	Österreich	6
4	Deutschland D	2
5	Kanada	1
6	Niederlande	0.92
7	Belgien	0.90
8	Danemark	0.80
9	Norwegen	0.75
10	Schweden	0.37
11	England	0.32
12	Polen	0.18
13	Spanien	0.17
14	Italien	0.09
15	Japan	0.04
16	USA	0.02
17	UdSSR	0.02

Bild 29. Die Anzahl Ozonanlagen pro Mio Einwohner in 17 Ländern.

Während des Aufbereitungsprozesses mit Ozon bildet sich im Wasser sodann zirka 0,8 mg Chlorat (Bild 21). Das Chlorat wird durch die nachfolgende Aktivkohle- und Langsamfiltration nicht weiter verändert, so dass die 0,8 mg Chlorat im Trinkwasser verbleiben, was unter Umständen schädlicher wirkt als die Konzentration von halogenierten Kohlenwasserstoffen als Folge der Chlorung. Die Chloritkonzentration im Wasser kann am Anfang der Aufbereitung durch eine Aktivkohlefiltration leicht entfernt werden, so dass in der Folge kein Chlorat mehr gebildet wird (Bild 22). Dies ist eine teure Methode. Heute haben wir nun neue Erfahrungen mit der Voroxidations-Stufe und dosieren 0,3 mg  $\text{Cl}_2/\text{l}$  und 0,6 mg  $\text{ClO}_2/\text{l}$  oder umgekehrt. In unserem Trinkwasser haben wir kaum Haloforme und eine Konzentration von nur 0,1 bis 0,2 mg Chlorat/l, was für die menschliche Gesundheit unschädlich ist. Dieses System der Voroxidation ist preisgünstig und wirksam.

**2. Stufe: Flockungsfiltration**  
**Schnellfiltration**

Bevor das gechlorte Wasser auf den Schnellfilter gelangt, werden ihm ein Flockungsmittel und ein Flockungshilfsmittel beigegeben. Versuche haben ergeben, dass bei einer Flockungszugabe von 1,5 mg/l, sei es nun Aluminium- oder Eisensulfat, zusammen mit einem Flockungshilfsmittel, in Funktion der Laufzeit, das Optimum erreicht wird. Der Reinigungseffekt bei den Phytoplankten grösser als 20  $\mu\text{m}$  und den Detritus grösser und kleiner als 20  $\mu\text{m}$  beträgt 6%, das heisst ohne Zugabe von Flockungsmitteln werden 92,5% zurückgehalten und mit Flockungsmitteln beträgt die Entfernung 98,5% (Bild 23). Die Reinigungswirkung beim Phytoplankton kleiner als 20  $\mu\text{m}$  ist bedeutend besser; ohne Flockungsmittel sind im Schnellfiltrat noch 50% vorhanden, bei Verwendung von Flockungsmitteln nur noch 28%. Das Ziel ist jedoch, auch diese 28% aus dem Trinkwasser zu entfernen (Bild 24). Nach der Schnellfiltrationsstufe müssen daher noch andere Filtrationsstufen zur Anwendung gelangen, um diese Zahl weiter herabzusetzen. Die Zugabe von Flockungsmitteln bewirkt neben dem vorerwähnten Reinigungseffekt auch eine teilweise Ausfällung der Phosphate, die dem pflanzlichen Plankter als Nährstoff dienen. Durch das gute Abfiltrieren der Plankter wird verhindert, dass sich höhere Lebewesen wie Oligochaeten, Nematoden, Ostracoden, Wasserasseln (Asellus), Nauplien, Copepoden (Cyclops), Canthocamptus in den Trinkwasserleitungen weiter entwickeln können.

**Mehrschichtfiltration**

Durch die Mehrschichtfiltration mit Sand und Bims (Bilder 25 und 26) wird eine 6- bis 8mal längere Laufzeit bei gleicher Reinigungswirkung erreicht. Da viele Seewasser-

werke in Zeiten von Spitzenbelastungen ihre Schnellfilter jeden halben Tag spülen müssen, ist dies eine wesentliche Verbesserung der Schnellfiltration. Besonders ins Gewicht fällt daher, dass der Wirkungsgrad der Reinigung trotz längerer Laufzeit gleich gut bleibt. Dieses Verfahren ist auch wirtschaftlich von grossem Vorteil, wird doch bedeutend weniger Spülwasser benötigt.

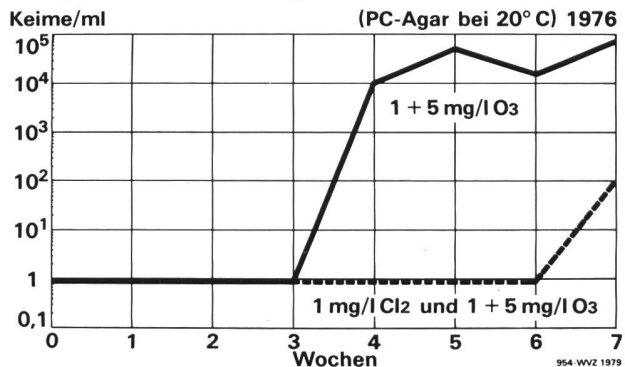


Bild 31. Keimentwicklung bei 9 °C in chloriertem und ozoniertem Wasser.

(Katzenelson, Shuval 1975)

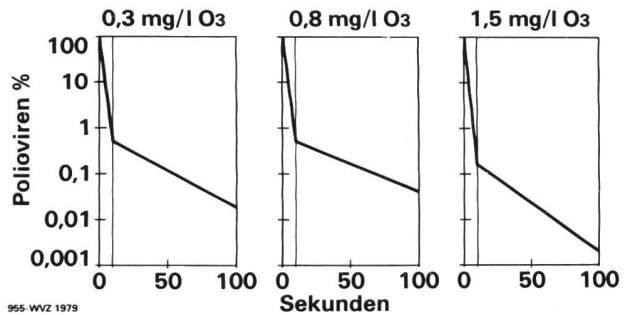


Bild 32. Inaktivierung von Viren bei verschiedenen Ozonkonzentrationen in Funktion der Zeit.

$E_{1\text{m}}^{436\text{nm}}$

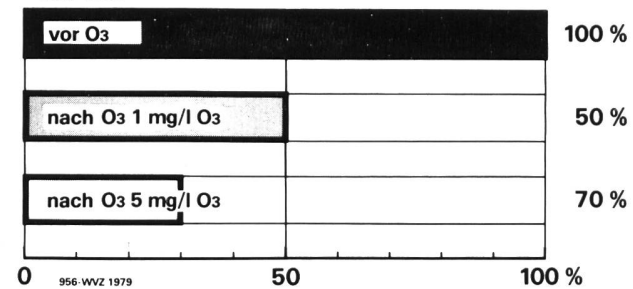


Bild 33. Entfärbung durch Ozon bei verschiedenen Konzentrationen.

(100 % =  $2,2 \cdot E_{1\text{m}}^{254\text{nm}}$ )

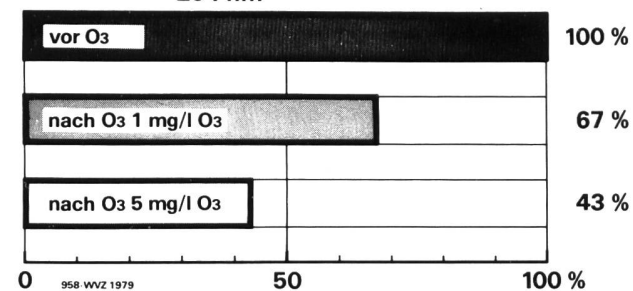


Bild 34. Reduktion der UV-Extinktion durch Ozon bei verschiedenen Ozonkonzentrationen.

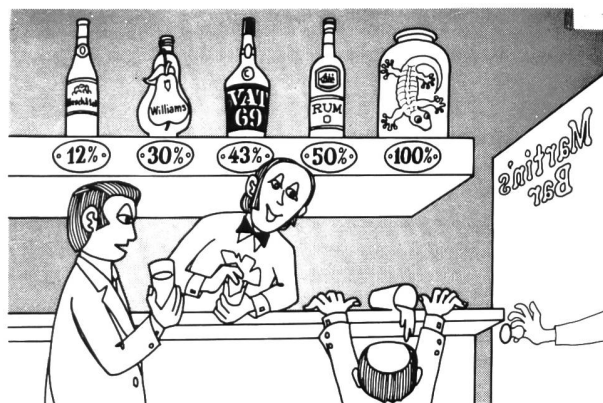
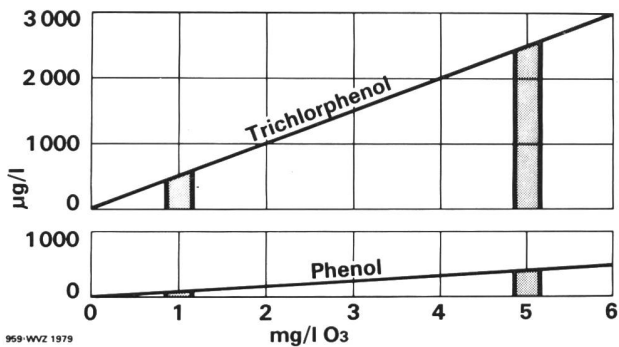


Bild 30. Illustration zum Vergleich von Alkoholprozenten.





959-WVZ 1979

Bild 35. Reduktion von Trichlorphenol und Phenol durch Ozon in Funktion der Zugabemengen.

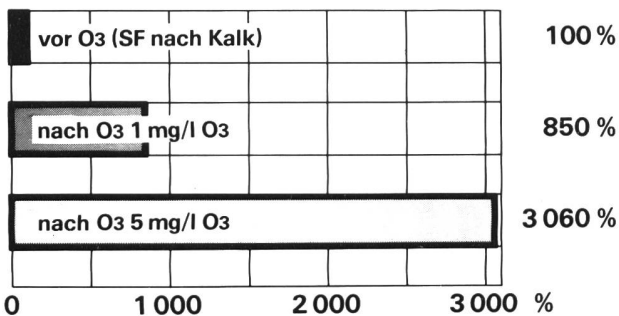


Bild 36. Zunahme der Aldehyde nach Ozonung des Wassers.

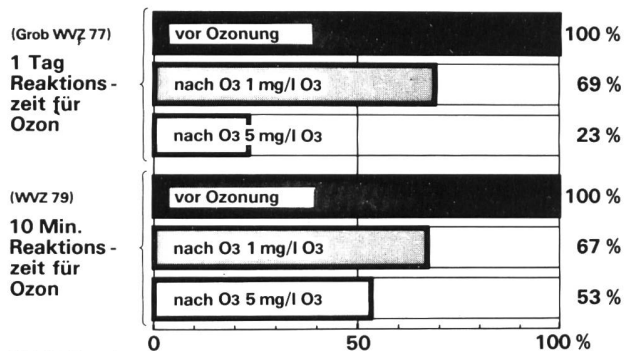


Bild 37. Verminderung der Haloforme durch Ozonung des Wassers.

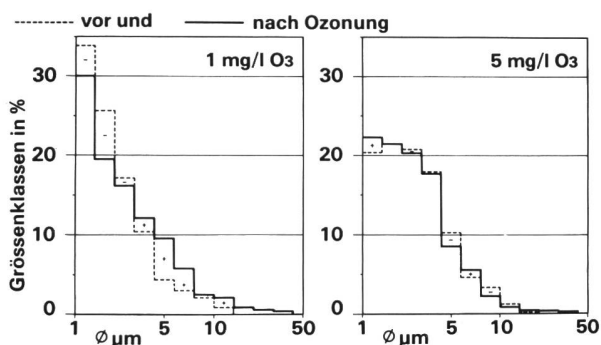


Bild 38. Flockungseffekt, Veränderung der Partikelzahl und -grösse durch Ozonung.

	1 mg/l	5 mg/l
Phenol	++	+++++
Viren - Inaktivierung	+++++	+++++
Haloforme bei 24 h Wirkzeit	++	++++
Haloforme bei 10 Min. Wirkzeit	+	++
UV - Extinktion 254 nm	++	+++
Farbe	++	+++
KMnO <sub>4</sub>	+	++
Flockung	+	-
Wiederverkeimung	--	--
Aldehyde	--	---

+ positiv      - negativ  
 +++ gut      --- schlecht  
 +++++ sehr gut      ----- sehr schlecht

Bild 39. Wirkung von Ozon auf verschiedene Parameter.

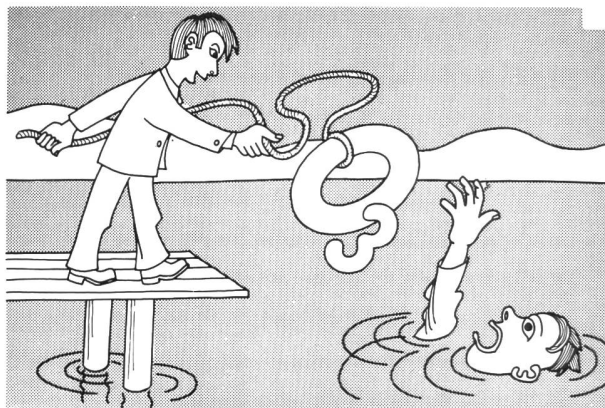


Bild 40. Der Rettungsring Ozon.



Bild 41. Zweischicht-Aktivkohlefilter. Unten die Stützsicht aus Quarzsand, Durchmesser 1 bis 2 mm, oben die Aktivkohle.

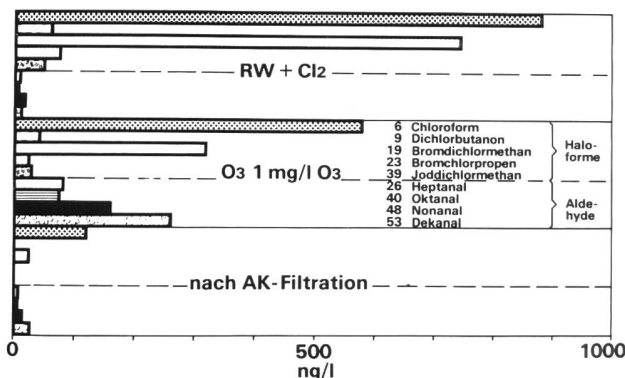


Bild 42. Organische Inhaltstoffe im chlorierten Rohwasser (RW), im Wasser nach der Ozonung und im Wasser nach der Aktivkohlefiltration.

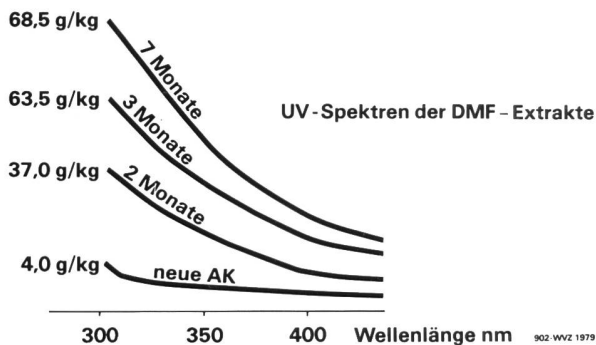


Bild 43. Die Beladung der Aktivkohle, neu sowie nach 2, 3 und 7 Monaten Laufzeit. DMF steht für Dimethyl-Formamid.

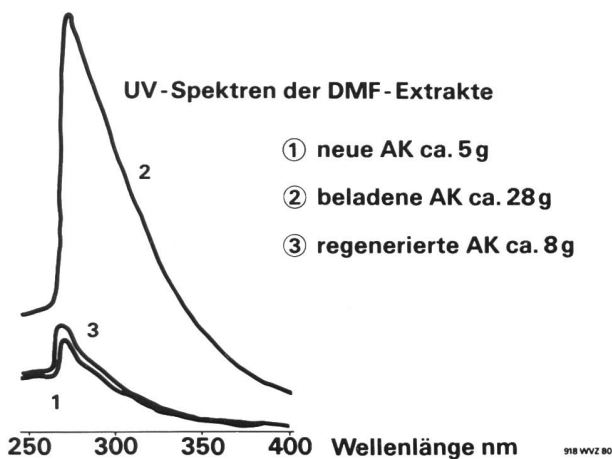


Bild 44. Resultat der Aktivkohle-Regenerierung. UV-Spektren der DMF-Extrakte.

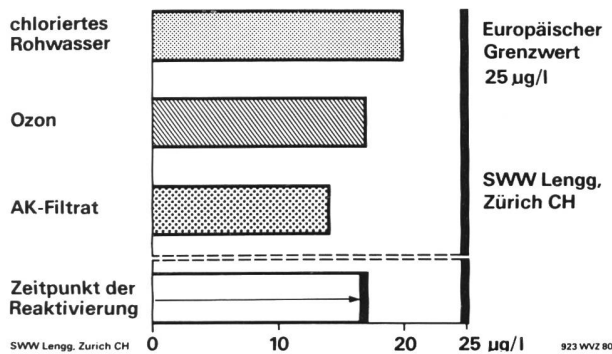


Bild 45. Halogenisierte Kohlenwasserstoffe im Rohwasser und im Trinkwasser der Stadt Zürich.

### 3. Stufe: Neutralisation

Nach der Filtration wird das Wasser neutralisiert, das heisst entsäuert (Bild 27). Die meisten Seen befinden sich nicht mehr im Kohlensäuregleichgewicht. Der pH-Wert sollte ungefähr 8,2 sein, beträgt jedoch je nach See und Fassungstiefe 7 bis 7,8. Durch die Flockung mit Aluminiumsulfat wird der pH-Wert zudem noch etwas herabgesetzt. Er muss daher, um Korrosionen in Hausinstalltionen und Wassertransportleitungen zu verhindern, nach oben korrigiert werden. Er wird auf etwa 10% über dem Gleichgewicht-pH korrigiert. Einen guten Erfolg mit dieser Entsäuerung haben die Wasserversorgungen St. Gallen, Basel und Zürich zu verzeichnen. Vergleichsuntersuchungen der Eidgenössischen Materialprüfungs-Anstalt (EMPA) zwischen neutralisiertem Seewasser und nicht-entsäuertem Grundwasser gehen aus Bild 28 hervor.

### 4. Stufe: Ozonung

Luft, schon wenn sie kleinste Mengen Ozon enthält, empfindet man beim Einatmen als frische Bergluft. In diesem Sinne wäre das Bergland Schweiz ein sehr ozonfreundliches Land, um so mehr ist es ozonfreundlich, als es auf eine Million Einwohner 24 Ozonanlagen aufweist. Das sind gut zweimal mehr als in Frankreich. Damit steht die Schweiz mit Abstand an erster Stelle in der Welt (Bild 29).

Vorerst soll auch auf die Fragen «Warum Ozonanwendung?» und «Ozon in welcher Konzentration?» eingegangen werden. Um diese besser beantworten zu können, wurde die Wirksamkeit bei einer Dosierung mit 1 bzw. 5 mg O<sub>3</sub>/l verglichen. Die meisten Resultate der Untersuchungen beziehen sich auf Seewasser in der Schweiz. Sie können daher nicht ohne allfällige Korrektur weiterverwendet werden.

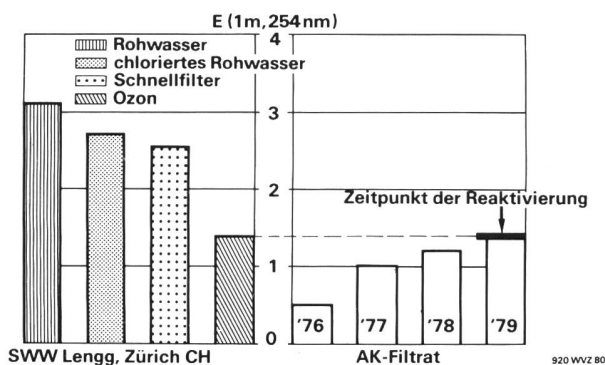


Bild 46. Reduktion der UV-Extinktion während der Wasseraufbereitung. Jahresmittel 1976/1979.

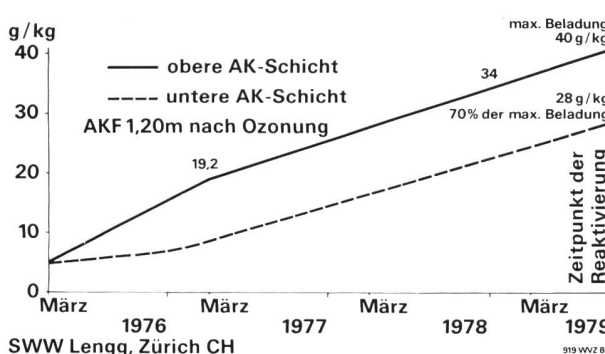


Bild 47. Beladung der oberen und der unteren Aktivkohleschicht in g/kg Dimethyl-Formamid und Dioxan-Extrakt in Funktion der Zeit.

So wie man gebrannte Wasser mit verschiedenen Konzentrationen an Alkohol zu sich nehmen kann (Bild 30), besteht auch die Möglichkeit, mit kleineren oder grösseren Ozonmengen zu dosieren. Viele Leute nehmen, um frisch zu bleiben, ein leicht alkoholisches Getränk zu sich. Um zum Beispiel eine Erkältung zu verhindern, greifen manche zu Alkoholgetränken mit höherer Konzentration. Welche Wirkungen verschiedene Ozonkonzentrationen haben können, soll nachstehend behandelt werden. Vorerst einige Worte über das Verhalten der Bakterien. Wenn man Rohwasser aus dem Zürichsee mit 1 oder 5 mg O<sub>3</sub>/l behandelt, ist zumindest anfangs in der Keimentwicklung kein Unterschied festzustellen (Bild 31). Erst nach drei Wochen beginnt die Keimentwicklung, und ab der vierten Woche bewegen sich die Keimzahlen bereits zwischen 10<sup>4</sup> bis 10<sup>5</sup> pro ml. Wenn aber 1 bzw. 5 mg O<sub>3</sub>/l dem Wasser zudosiert wird, das vorher mit 1 mg Chlorgas pro l behandelt wurde, beginnt die Wiederverkeimung erst ab der 6. statt ab der 3. Woche.

Im weiteren ist es wichtig zu wissen, wie sich die Viren bei verschiedenen Ozondosierungen verhalten. Aus Bild 32 geht hervor, dass nach den Versuchen von E. Katzenelson und H. I. Shuval, 1975, die Inaktivierung von Viren bei verschiedenen Ozonkonzentrationen, das heisst 0,3, 0,8 und 1,5 mg/l, praktisch gleich gut ist. Zusammenfassend kann somit gesagt werden, dass hinsichtlich des Abtötens von Bakterien und der Inaktivierung von Viren bei Verwendung von nicht allzusehr verschmutztem Wasser eine höhere Ozonkonzentration als 1,0 bis 1,5 mg/l nicht notwendig ist. Bild 33 zeigt die Entfärbung als Folge der Ozonung mit verschiedenen Konzentrationen. So geht bei einer Ozondosierung von 1,0 mg/l die Farbintensität um 50% und bei 5,0 mg/l um 70% zurück. Eine bessere Entfärbung könnte mit einer noch höheren Ozonkonzentration erreicht werden.



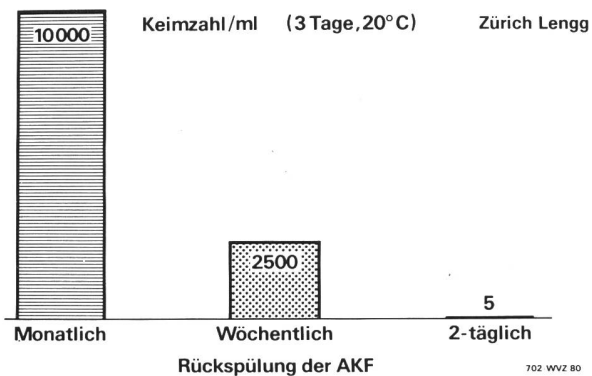


Bild 48. Wiederverkeimen von Aktivkohlefiltern (AKF). Verbesserung durch häufiges Rückspülen.

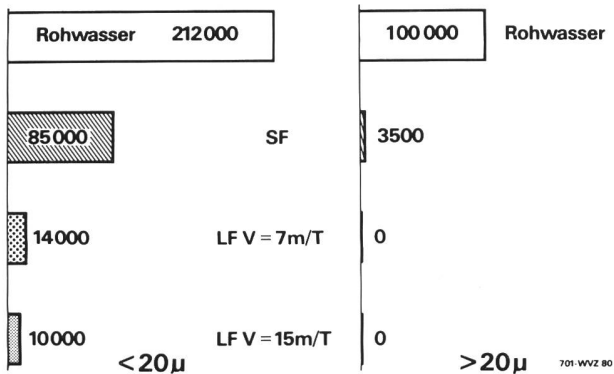


Bild 49. Die Reinigungswirkung der Langsamfilter in Bezug auf Phytoplankton. Zellen pro Liter.

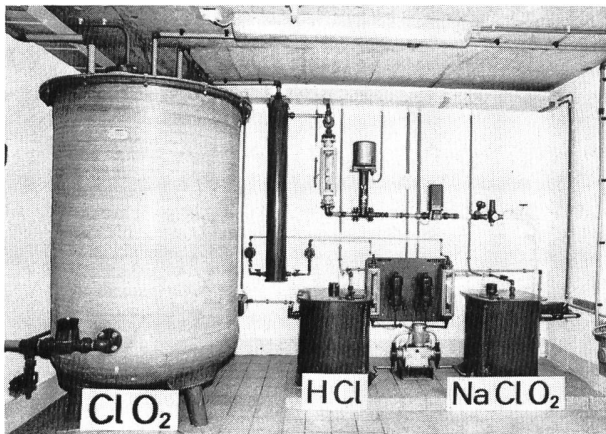


Bild 50. Die  $\text{ClO}_2$ -Installation im Seewasserwerk Lengg.

Im Gegensatz zu den DOC-Werten, wo mit verschiedenen Ozonkonzentrationen keine messbare Veränderung erreicht wird, sieht man bei den  $\text{KMnO}_4$ -Werten zumindest eine Verminderung von 14% bei einer Ozonzugabe von 1,0 mg/l und eine solche von 18% bei 5,0 mg/l. Bei der UV-Extinktion (Bild 34) werden die Anfangswerte bei einer Dosierung von 1,0 mg  $\text{O}_3$ /l um 33% und bei einer solchen von 5,0 mg  $\text{O}_3$ /l um 57% vermindert. Dies bedeutet, dass unter anderem bei vermehrtem Huminsäuregehalt dieser mit einer höheren Ozondosierung besser vermindert werden kann.

Um den Geschmack, verursacht durch Trichlorphenol oder Phenol, beseitigen zu können, ist Ozon ebenfalls hervorragend geeignet, wie folgende Zahlen belegen (Bild 35). 1,0 mg  $\text{O}_3$ /l oxidiert zum Beispiel 100  $\mu\text{g}$  Phenol/l bzw. 500  $\mu\text{g}$  Trichlorphenol/l, währenddem 5,0 mg  $\text{O}_3$ /l 500  $\mu\text{g}$  Phenol/l bzw. 2500  $\mu\text{g}$  Trichlorphenol/l abbauen.

Bei Phenol-Unfällen ist es also sehr vorteilhaft, eine hohe Ozondosierung anwenden zu können.

Einerseits vermindert Ozon auch halogenierte Kohlenwasserstoffe, andererseits bildet es grössere Mengen an Aldehyden und Ketonen. Wenden wir uns vorerst den Aldehyden zu (Bild 36). Versuche im Labor der Wasserversorgung Zürich bestätigen die ersten Versuche von Grob. So wird bei einer Reaktionszeit von 10 Minuten bis zu einem Tag die Konzentration der Aldehyde bei einer Dosierung von 1,0 mg Ozon/l 9,5mal und bei 5 mg/l 30,6mal grösser. Da die Aldehyde wie auch die Ketone durch Oxidation entsprechende Säuren bilden, welche den Keimen als Nahrung dienen, kann vor einer biologischen Aufbereitungsstufe eine höhere Konzentration an Ozon von Vorteil sein. Wenn hingegen das Ozon als letzte Aufbereitungsstufe eingesetzt wird, soll die Konzentration wegen der Wiederverkeimung möglichst klein gehalten werden. Bild 37 zeigt, wie Ozon bei sehr langer Reaktionszeit die halogenierten Kohlenwasserstoffe vermindert, und zwar bei einer Dosierung von 1,0 mg/l um 31% und bei 5,0 mg/l um 77%. Diese lange Kontaktzeit von einem Tag ist jedoch nur möglich, wenn sich nach der Ozonung ein Zwischenspeicher befindet, wie dies zum Beispiel bei der Bodenseewasserversorgung der Fall ist. Bei einer 10minütigen Reaktionszeit – so arbeiten die Anlagen Lengg und Moos – werden die Halogenderivate bei einer Ozondosierung von 1,0 mg/l um praktisch gleichviel, bei 5 mg/l jedoch nur um 47% vermindert, das heisst weniger als dies bei den längeren Reaktionszeiten der Fall ist. Betrachtet man in Bild 38 den Flockungseffekt bei einer Ozondosierung von 1,0 und 5,0 mg/l, so kann gesagt werden, dass das Optimum bei der Zugabe von 1,0 bis 1,5 mg/l liegt. Bei einer Zugabe von 5,0 mg/l ist praktisch kein Flockungseffekt mehr festzustellen. Bevor man die Wahl der richtigen Dosierung treffen kann, muss daher zuerst festgelegt werden, wofür die Ozonung dienen soll. Dazu ist eine ganze Reihe von Laborversuchen nötig. Eine hohe Dosierung ist in vielen Fällen von grossem Vorteil, in anderen Fällen jedoch kann sie von Nachteil sein. Bild 39 zeigt zusammenfassend, in welchen Fällen eine kleinere bzw. höhere Ozondosierung von Vorteil oder Nachteil sein kann. Eine erhöhte Dosierung ist zum Beispiel sehr von Vorteil bei der Verminderung von Phenolverbindungen und halogenierten Kohlenwasserstoffen sowie bei der Verbesserung der UV- und Farbwerte. Sie wirkt sich jedoch auf eine Flockung ungünstig aus und, sofern keine Nachfiltration erfolgt, auch negativ auf die Wiederverkeimung. Zur Abtötung von Bakterien und zur Inaktivierung von Viren sowie zur Flockung braucht es also keine erhöhten Ozonkonzentrationen. Im Pannenfall, zum Beispiel bei einem Phenol-Unfall, wäre es jedoch von Vorteil, für einmal höher dosieren zu können. Nachdem bei vielen Wasserwerken nur während ein bis zwei Wochen pro Jahr Spitzenverbräuche auftreten, welche doppelt so hoch liegen als der normale, mittlere Bedarf, bestünde in einem Pannenfall durchaus die Möglichkeit, sofern er nicht zufällig in einer solchen Spitzenzeit auftritt, mit höheren Ozonmengen zu dosieren, das heisst durch Reduzierung der Werkleistung. Jeder Werkleiter sollte daher seine Ozonanlagen so bauen, dass durch Reduzierung der Werkleistung eine erhöhte Ozondosierung möglich ist. Dies gilt besonders für eine Anlage, die lediglich für eine Normaldosierung ausgelegt worden ist. Überall dort, wo Ozon eingesetzt wird, müssen auch dessen Konzentrationen im Wasser und in der Abluft kontinuierlich überwacht werden. Für diejenigen, welche noch keine Ozonanlagen besitzen, gilt folgendes: Ozon kann nicht alles, aber recht viel. Ozon

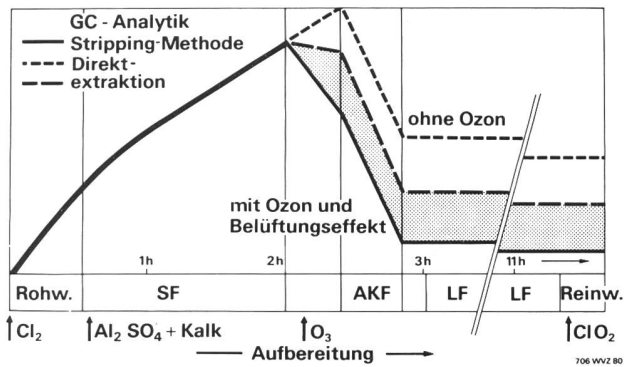


Bild 51. Haloforme im Aufbereitungsprozess des Seewasserwerks Lengg. GC steht für Gaschromatographie.

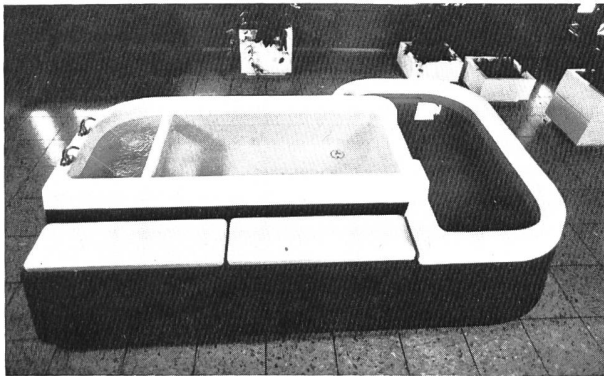


Bild 52. Die Wirkung der Aufbereitung. Rechts Rohwasser, links Trinkwasser.



Bild 53. Die Fernwirkzentrale Hardhof der Wasserversorgung der Stadt Zürich.

hat schon viele Werkleiter in letzter Not gerettet (Bild 40). Heute sollte keine Wasseraufbereitungsanlage mehr ohne Ozonstufe gebaut werden.

##### 5. Stufe: Aktivkohlefiltration

Um überschüssiges Chlor und Ozon aus dem Wasser zu entfernen, wird es über Aktivkohlefilter geleitet. Die Aktivkohlefilter-Geschwindigkeiten liegen zwischen 10 und 20 m je Stunde bei einer Höhe des Filterbettes von 1,20 m. Die Aktivkohlefilter sind meistens über einem Sandbett von mindestens 50 cm Höhe angeordnet (Bild 41). Neben der Eliminierung des überschüssigen Chlors und Ozons werden dem Wasser dank dem Aktivkohlefilter grosse Mengen organischer Substanzen entzogen (Bild 42). Es ist in einem Wasserwerk zum Beispiel festgestellt worden, dass die oberste Kohleschicht mit Pittsburgh F 400 nach einer Laufzeit von zwei Monaten bereits eine Beladung von 37 g/kg aufwies. Die neuen Aktivkohlen hatten zu Beginn eine Beladung von 4 g/kg. Nach drei Monaten Laufzeit be-

trug die Beladung bereits 63,5 g/kg, und nach einer Laufzeit von sieben Monaten wurde die höchste Beladung mit 68,5 g/kg Kohle gemessen (Bild 43).

Diese Untersuchungen zeigen, dass sich ohne Aktivkohlefiltration noch viele organische Substanzen im Trinkwasser befinden würden. Untersuchungen haben ferner gezeigt, dass bei einwandfreiem, zum Beispiel nicht belastetem Quellwasser diese Stoffe nicht zu finden sind. Da es zu den Aufgaben einer Wasserversorgung gehört, für eine einwandfreie Qualität zu sorgen, ob nun Quell-, Grund- oder Oberflächenwasser verwendet wird, ist in der Schweiz die Aktivkohlefiltration insbesondere für die Aufbereitung von Oberflächenwasser unbedingt erforderlich.

Die Aktivkohlefilterschicht ist nach ein bis zwei Jahren so stark mit organischer Substanz beladen, dass sie ersetzt beziehungsweise reaktiviert werden muss. Die Reaktivierung geschieht nach einem sogenannten «Fluidbed-Verfahren», System Norit. In diesem Ofen wurden, neben der Aktivkohle Norit ROW 08 Super, welche aus den letzten Vergleichs-Untersuchungen als beste Kohle hervorgegangen ist, auch Norit PKST, eine leichte Kohle, sowie Pittsburgh 400 reaktiviert. Die Verluste betragen nur 50% gegenüber dem herkömmlichen Reaktivierungsverfahren. Die Aktivkohle Norit PKST zum Beispiel war mit nur 28 g/kg beladen; die frische Kohle wies 5 g/kg Beladung auf und die reaktivierte Kohle lediglich 8 g/kg (Bild 44). Der Aktivkohlenverlust beträgt zirka 10%, und zwar gemessen vom Filter über Silo–Ofen–Silo zum Filter. Die Resultate zeigen, dass die Wirksamkeit der Reaktivierung als ausgezeichnet gewertet werden darf.

Es gibt drei wichtige Kriterien, um die Aktivkohle auszuwechseln bzw. zu regenerieren: erstens, wenn die halogenierten Kohlenwasserstoffe (Bild 45) und zweitens, wenn die UV-Extinktion (Bild 46) im Trinkwasser höher sind als die zugelassene Konzentration oder drittens, wenn einerseits die oberste Schicht des Aktivkohlefilters maximal (Dimethylformamid und Dioxan-Extrakt) und andererseits die unterste Schicht des Filterbettes mit 70% der Maximalkonzentration an Dimethylformamid und Dioxan-Extrakt der obersten Schicht beladen ist (Bild 47).

Obwohl in den verschiedenen Aktivkohlefiltern der Zürcher Versuchsanlage bei monatlicher Spülung drei- bis vierstellige Keimzahlen auftraten, wurde damals schon festgestellt, dass bei einer wöchentlichen Spülung die Keimzahlen viermal kleiner sind. Heute können bei den im Betrieb stehenden Aktivkohlefiltern keine höheren als einstellige Keimzahlen mehr nachgewiesen werden, das heisst sie betragen 0 bis 5 je cm<sup>3</sup>; allerdings gilt dies nur, wenn die Filter mindestens alle zwei Tage mittels Luftspülung gereinigt werden. Erfolgt die Reinigung in längeren Abständen und ohne Luftspülung, so steigt die Keimzahl wieder an (Bild 48).

##### 6. Stufe: Langsamfiltration

In der Schweiz wird noch in fünf Seewasserwerken die Langsamfiltration angewendet. Diesem Verfahren kommt bei der künstlichen Grundwasseranreicherung vermehrte Bedeutung zu. Versuche haben gezeigt, dass bei guter Voraufbereitung in Zukunft die Langsamfiltration mit einer mittleren Geschwindigkeit von 15 m/Tag, statt wie bis anhin mit 3 bis 7,5 m/Tag betrieben werden können. In der Praxis zeigte es sich auch, dass als Folge der guten Voraufbereitung die Laufzeiten ohne Reinigung jetzt mindestens drei Jahre betragen. Früher mussten die Filter alle sechs bis neun Monate gereinigt werden. Die Reinigungswirkung ist sowohl bezüglich der Abfiltrierung der Phytoplankter Detritus als auch der Eliminierung der Keimzahl

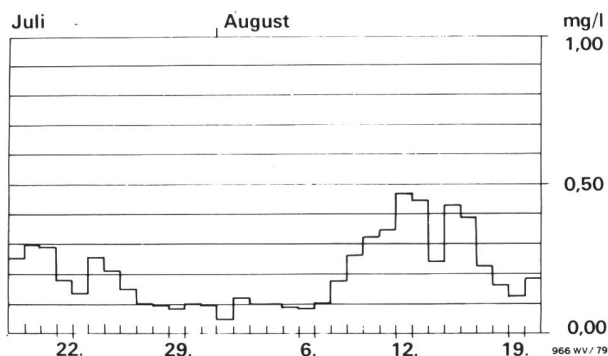


Bild 54. Display-Diagramm der Restozonmengen (Tagesmittel) im Juli und August 1979.

und der coliformen Bakterien in jeder Beziehung, ob der Langsamfilter nun schnell oder langsam betrieben wird, gleich gut (Bild 49). Die Untersuchungen ergaben, dass der Langsamfilter hinsichtlich der bakteriologischen und biologischen Reinigungswirkung eindeutig zu den Raumfiltern zählt und nur hinsichtlich der mechanischen Reinigung ein Oberflächenfilter ist.

Trotz der höheren Geschwindigkeit ist ein Langsamfilter bei gleicher Wasseraufbereitungsmenge nicht teurer als ein Schnellfilter, sofern der Bodenpreis nicht einkalkuliert werden muss.

#### 7. Stufe: Netzschutz

Die Chlordioxidzugabe dient nicht mehr der Wasseraufbereitung, sondern nur noch als Netzschutz, damit das Wasser auch in den Transport- und Verteilungen hygienisch einwandfrei bleibt (Bild 50). Die Zugabemenge beträgt höchstens  $0,05 \text{ mg ClO}_2/\text{l}$ , so dass die Chloritbildung dabei keine Rolle spielt.

Aus Bild 51 geht die Zunahme bzw. Abnahme der halogenierten Kohlenwasserstoffe während der Aufbereitungsstufe mit oder ohne Ozon hervor. Es ist ersichtlich, dass ohne Ozon, infolge der Chlorzehrung, die halogenierten Kohlenwasserstoffe bis zur Aktivkohlefiltration zunehmen und nachher durch diese und durch die Langsamfiltration stark reduziert werden. Wenn ozoniert wird, steigen die halogenierten Kohlenwasserstoffe nach der Ozonung mindestens nicht mehr an, zum Teil vermindern sie sich sogar, so dass mit Ozon in jedem Fall im Endeffekt ein besseres Resultat erreicht wird.

Wie hervorragend die Reinigungswirkung der hier beschriebenen Aufbereitung hinsichtlich Huminsäure ist, geht aus folgendem hervor: Diese organischen Substanzen werden um 90% vermindert, das heisst die UV-Extinktion, gemessen bei 254 nm, beträgt beim Rohwasser 0,040 und beim Reinwasser noch 0,004. Wie wirksam die Aufbereitung ist, geht auch aus Bild 52 hervor.

Die schweizerischen Seewasserwerke weisen neben dem hohen Wasseraufbereitungsstandard auch einen solchen hinsichtlich der baulichen und technischen Ausführung auf. Im weiteren sind die meisten Werke als Folge des Personalmangels automatisiert, und auch die Qualitätswerte werden in eine Fernwirkzentrale gemeldet, daselbst überwacht und ausgewertet (Bilder 53 und 54).

#### 7. Schlussbetrachtung

Die Wasserversorgungen haben alles in ihrer Möglichkeit Stehende getan, um stets ein einwandfreies Trinkwasser abzugeben. Die Grenzen einer noch weitergehenden Reinigung auf der Trinkwasserseite sind heute erreicht. Auf

der Seite der Abwasserreinigung kann hingegen noch recht viel getan werden. Einer diesbezüglichen Gefährdung der Zukunft der Bewohner des Kontinents kann ohne Zweifel Einhalt geboten werden, allerdings müssen entsprechende Opfer gebracht werden. Bei der Trinkwasserversorgung des Kontinents ist dies geschehen. Wenn dies nun auch bei den Entsorgungsunternehmungen der Fall sein wird, werden auch in Zukunft unsere Kinder noch Wasser trinken können.

#### Literatur

- [1] Die Wirksamkeit von schnell betriebenen Langsamfiltern; *Maarten Schalekamp* (aus «Gas, Wasser, Abwasser» 1971/6)
- [2] Erweiterung des Seewasserwerks Lengg (aus «Gas, Wasser, Abwasser» 1975/9, 41 Autoren)
- [3] Arbeitstagung über die Aufbereitung von Oberflächenwasser (aus «Gas, Wasser, Abwasser» 1977/1, 22 Autoren)
- [4] Sauberer Rhein – eine politische Aufgabe; *Maarten Schalekamp* (aus «Gas, Wasser, Abwasser» 1977/5)
- [5] Die Erfahrungen mit Ozon in der Schweiz, speziell hinsichtlich der Veränderung von hygienisch bedenklichen Inhaltsstoffen; *Maarten Schalekamp* (Wasser Berlin '77)
- [6] Arbeitstagung über moderne Fernwirktechnik und Prozess-Steuerung in der Gas- und Wasserversorgung (aus «Gas, Wasser, Abwasser» 1978/9, 23 Autoren)
- [7] Bedrohtes Wasser – Gefährdete Zukunft am Beispiel des Rheins; *Maarten Schalekamp* (aus «Gas, Wasser, Abwasser» 1979/4)
- [8] Granular Activated Carbon (GAC) in the treatment of drinking water «Swiss experiences»; *Maarten Schalekamp* (Brüssel Mai 1979) IWSA-Specialised Conference on the Use of Activated Carbon in Water Treatment
- [9] Vorschlag der IAWR zur Bewertung der Gewässerqualität am Beispiel des Rheins (7. IAWR-Arbeitstagung in Basel, Mai 1979) (aus «Gas, Wasser, Abwasser» 1979/9) und aus dem Rheinbericht '78 (IAWR-Jahresbericht 78)
- [10] Vergleiche zwischen zwei Ozon-Anlagen mit normaler und erhöhter Frequenz sowie zwischen der Wirkung bei einer Dosierung von 1 mg bzw. 5 mg pro Liter  $\text{O}_3$ ; *Maarten Schalekamp* (aus «Gas, Wasser, Abwasser» 1980)
- [11] Eliminierung von überschüssigem Ozon in der Luft mittels thermisch-katalytischen Verfahrens; *Maarten Schalekamp* (aus «Gas, Wasser, Abwasser» 1980)

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

