

**Zeitschrift:** Plan : Zeitschrift für Planen, Energie, Kommunalwesen und Umwelttechnik = revue suisse d'urbanisme

**Herausgeber:** Schweizerische Vereinigung für Landesplanung

**Band:** 31 (1974)

**Heft:** 12

**Artikel:** Ozon für die Aufbereitung von Wasser und Luft

**Autor:** Blankenfeld, Dietmar

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-782325>

### 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:** 13.02.2026

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

# Ozon für die Aufbereitung von Wasser und Luft

Von Ing.-Chem. (grad.) Dietmar Blankenfeld

## Erzeugung von Ozon

Ozon ( $O_3$ ) wird durch stille elektrische Entladung in Ozonerzeugern aus reiner trockener Luft oder aus reinem Sauerstoff nach folgender Gleichung gewonnen:



Hierbei müssen alle Faktoren ausgeschlossen werden, die einen Zerfall des Ozons in Umkehrung der Bildungsreaktion begünstigen. So zerfällt zum Beispiel Ozon bei hoher Temperatur. Man muss deshalb die zur Ozonbildung notwendige elektrische Energie in wassergekühlten Ozonrohren bei möglichst niedriger Gastemperatur zuführen. Auch katalytisch wirkende Substanzen müssen ausgeschlossen sein, die den Zerfall der metastabilen Ozonmoleküle beschleunigen. Die heute erreichbaren Ausbeuten betragen etwa 25 bis 35 g Ozon je  $m^3$  Luft bzw. 50 bis 70 g Ozon je  $m^3$  Sauerstoff.

## Technische Einzelheiten von Anlagen zur Ozonerzeugung

Als Ozonerzeuger bietet die Demag leistungsstarke Röhrenapparate mit waagrecht liegenden Rohrbündeln an, deren Kessel aus Edelstahl gefertigt sind. Die Konstruktion garantiert bei niedrigem Energiebedarf eine hohe Leistung sowie Gasdichtheit, lange Lebensdauer, Betriebssicherheit und leichte Bedienbarkeit durch angelerntes Personal (für die Wartung sind keine Spezialkräfte erforderlich).

### Sicherungssystem

Das zur Ozonerzeugung notwendige Dielektrikum bilden Glasröhren, die auf der Innenseite einen dauerhaften Belag als Hochspannungselektroden tragen.

Diese Ozonröhre sind mit speziellen Abstandhaltern versehen und werden in die geerdeten zylindrischen Elektroden des Röhrenkessels eingeschoben. Im Luftspalt zwischen den Glasröhren und den geerdeten Elektroden bildet sich die ozonerzeugende stille elektrische Entladung aus.

Der Bruch eines Glasrohrs — vor allen Dingen aufgrund thermischer Belastungen — bewirkt einen Kurzschluss zwischen Hochspannungselektrode und Erde und würde zum Ausfall des gesamten Apparats führen, wenn man nicht einen wirkungsvollen Schutz vorgesehen hätte: Jedes einzelne Ozonrohr ist durch eine eingebaute gasdichte Hochspannungssicherung ge-

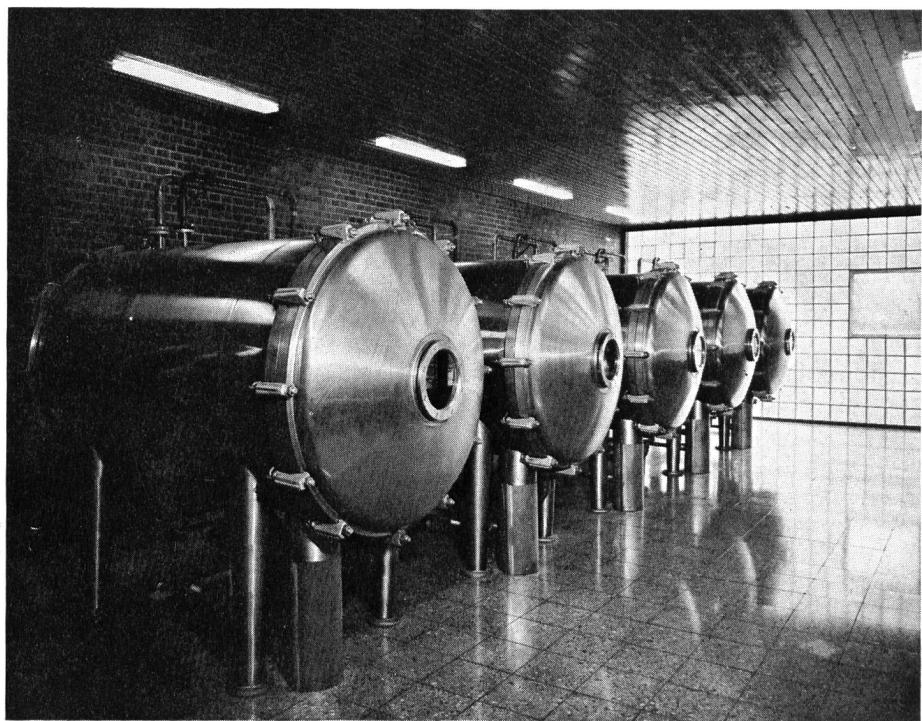


Abb. 1. Ozonanlage für etwa 6 kg  $O_3/h$

schützt, die bei Ueberlastung (Kurzschluss) die betreffende Hochspannungselektrode abschaltet, ohne den Betrieb der andern — parallel liegenden — Ozonrohre zu stören. Defekte Glasrohre müssen erst ausgetauscht werden, wenn die Leistung des gesamten Apparats merklich nachlässt.

### Kühlung

Durch ein wirkungsvolles Verteilungssystem im Röhrenkessel wird eine wirkungsvolle Wasserkühlung aller Erdelektroden gewährleistet. Der erzwungene Kühlwasserstrom hat dabei die gleiche Richtung wie der sich durch die Erwärmung einstellende Wasserstrom. Zur Bestimmung des Kühlwasserstroms kann man folgende Gleichung verwenden:

$$v = \frac{0,86 N A_o}{d_m c_m (t_{m,a} - t_{m,e})}$$

N Ozonleistung ( $g O_3/h$ )

$A_o$  spezifischer Energiebedarf ( $W/h O_3$ )

$d_m$	Dichte des Kühlmediums ( $kg/m^3$ )
$c_m$	spezifische Wärme des Kühlmediums ( $cal/g \text{ } ^\circ C$ )
$t_{m,a}$	Austrittstemperatur des Kühlmediums ( $^\circ C$ )
$t_{m,e}$	Eintrittstemperatur des Kühlmediums ( $^\circ C$ )

### Aufbereitung der Ausgangsluft

#### Bedeutung der Luftaufbereitung

Leistung, Wirkungsgrad und Betriebssicherheit der Ozonerzeuger hängen wesentlich von der Reinheit, Trockenheit und Temperatur der Ausgangsluft ab.

Lagert sich beispielsweise Staub im Entladungsbereich ab (ähnlich wie bei Elektrofiltern), so verengt sich der Entladungsspalt; dies kann zu örtlichen Ueberlastungen des Dielektrikums führen. Der Temperatureinfluss wurde bereits eingangs gestreift. Den ungünstigen Einfluss der Luftfeuchte zeigt folgendes Beispiel: Setzt man die Ozonausbeute bei einem Wasser gehalt von 1 g  $H_2O$  je  $m^3$  Luft gleich 100 %, so sinkt die Ausbeute unter sonst gleichbleibenden Bedingungen auf 50 %,

wenn sich der Feuchtigkeitsgehalt auf 6,3 g je m<sup>3</sup> Luft erhöht. Feuchtigkeit bedingt ausserdem die Bildung von Salpetersäure, die zu erheblichen Störungen führen kann.

**Vergleich zwischen drucklos arbeitenden Absorberanlagen und Drucktrocknungsanlagen (Heatless-Dryer)**

Die zur Trocknung der Ausgangsluft eingesetzten sog. Heatless-Dryer mit Vor- und Nachschaltfilter für Öl/Wasser (bzw. Staub) haben gegenüber den gewöhnlich drucklos arbeitenden Adsorberanlagen (sog. Silicagel-Anlagen) einige Vorteile. Eine Drucktrocknungsanlage besteht dabei im wesentlichen aus dem Drucklufterzeuger (Kompressor) und dem Drucklufttrockner; vielfach kann die Druckluft unmittelbar dem vorhandenen Druckluftnetz entnommen werden.

- c) Drucktrockner bieten erheblich höhere Leistungen: Beim Vergleich zweier Anlagen erreichte der Silicagel-Typ bei Vorkühlung der Luft auf 5 °C einen Trocknungsgrad von minus 40 °C Taupunkt und eine Temperatur der austretenden Luft von 20 bis 25 °C; beim Heatless-Dryer dagegen lag der Trocknungsgrad bei minus 75 °C (und besser) bei einer Eintrittstemperatur der Trockenluft von nur 45 °C und einer Austrittstemperatur der Trockenluft von nur 5 °C.
- d) Da die beim Trocknungsprozess freiwerdende Adsorptionswärme kompensiert werden muss, muss bei der Trocknung mit körnigem Silicagel die Feuchtlufttemperatur bei etwa 5 °C liegen, wenn man eine Trockenlufttempe-

rer Teilstrom entnommen, auf atmosphärischen Druck entspannt und über das beladene Trockenmittelbett geführt; hierdurch muss das Trockenmittel den adsorbierten Wasserdampf an den übertröckneten, drucklosen Reaktivierungsluftstrom abgeben, um das Beladungsgleichgewicht einzustellen.

#### Transformatoren

Die Ozonapparate werden mit hochgespanntem Einphasen-Wechselstrom als kapazitive Verbraucher betrieben; sie arbeiten einphasig gegen die am metallischen Gehäuse liegende Erde.

Die Transformatoren sind stufenlos im Bereich zwischen 20 % und 100 % Ozonleistung regelbar; die Zündspannung liegt bei etwa 4 kV.

#### Bestimmung der erzeugten Ozonmenge (Anlagenleistung)

Entscheidend für die Beurteilung der Leistung der besprochenen Anlagen ist eine einwandfreie Messung der erzeugten Ozonmenge. Da hierfür die verschiedensten Methoden gebräuchlich sind, hat es sich der Arbeitskreis «Ozon» im DVGW (Deutscher Verein von Gas- und Wasserfachmännern) zur Aufgabe gemacht, ein allgemeinverbindliches, im Ergebnis vergleichbares Verfahren zu erarbeiten. Die Demag verwendet seit Jahren die sogenannte «neutrale» Kaliumjodid-Methode: Das Gasgemisch wird über Gasfilterplatten in Waschflaschen eingeleitet, die mit gepufferter KJ-Lösung (pH 6,8—7,0) gefüllt sind; die Lösung titriert man nach Zusatz von Stärke als Indikator bis zum Verschwinden der Blaufärbung mit Thiosulfat und rechnet dessen Verbrauch auf Ozon um. Dieses Verfahren zur Ozonbestimmung gilt als hinreichend zuverlässig.

#### Einbringen und Vermischen des Ozons mit Wasser bzw. wässrigen Lösungen

Zum sicheren Einbringen des Ozons und seiner guten Vermischung mit Wasser sind Injektoren (auch Wasserstrahl-Lufsauger genannt) besonders geeignet. Entscheidend für die Reaktionen sind hohe Anfangskonzentration und eine möglichst feine Verteilung der Gasbläschen.

Zum sicheren Betrieb benötigen die Injektoren bei einem Gegendruck von 1 bis 2 bar einen Betriebswasserdruk von 3 bis 5 bar.

#### Trinkwasseraufbereitung

Der zunehmende Bedarf an Trinkwasser kann in Zukunft nur durch erhöhte Verwendung von Oberflächenwasser gedeckt werden. Hier lässt sich Ozon neben den herkömmlichen Aufbereitungsverfahren besonders gut zur Qualitätsverbesserung einsetzen, da es Geruchs- und Geschmacksstoffe einschliesslich Phenol und Huminsäuren oxidativ abbaut und Eisen sowie Mangan zu den für die Entfernung notwendigen höheren Oxidationsstufen oxidiert. Das Wasser wird völlig entfärbt und einwandfrei desinfiziert.

Als Faustregel kann man mit 1 bis 5 g Ozon je m<sup>3</sup> Wasser rechnen; in speziellen Fällen ist der exakte Bedarf durch Versu-

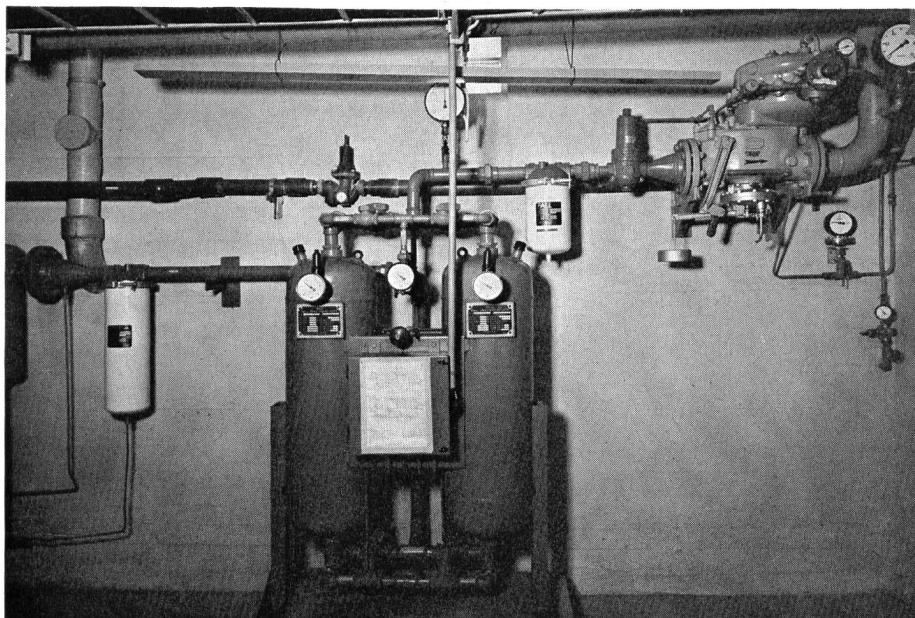


Abb. 2. Drucklufttrocknungsanlage System Heatless

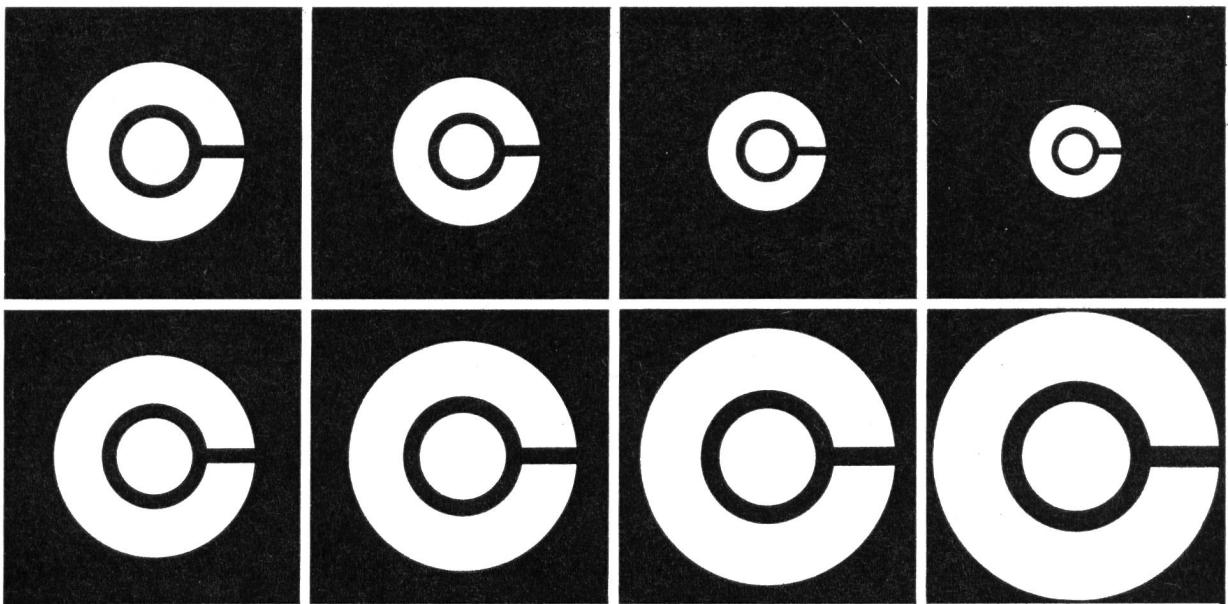
- a) Während die drucklose Trocknung zum Beispiel für eine bestimmte Luftmenge bei zehnstündigem Betrieb und 75 % Leistung etwa 700 kg Trockenmittel erfordert, hat ein entsprechender Heatless-Dryer nur eine Füllmenge von 150 kg. Dies bedeutet ein erheblich geringeres Volumen des Adsorbers einer Drucktrocknungsanlage. Ausserdem entfallen grossvolumige Umsteuerorgane und Kühlschlängen im Adsorber für den Regenerationsprozess, Regenerationsgebläse, Ueberwachungsinstrumente für die Erhitzer und dergleichen.
- b) Silicagel ist gegenüber Wassertropfen empfindlich; während man die körnige Füllung gegenüber dem Wassergehalt der durchströmenden Luft mit einer Pufferschicht schützen kann, ist durch die im Adsorber eingebauten Kühlschlägen immer die Gefahr eines Wassereinbruchs und damit einer Zerstörung des Gels gegeben. Zu einer Verkürzung der Betriebsperioden kann es kommen, wenn die vorgeschaltete Kühlanlage versagt; der Ausfall von Heizstäben verlängert die Regenerationszeit.

ratur von 20 °C erreichen will; zur Vorkühlung müssen also geeignete Kühlsätze installiert werden. Die Ueberwachung solcher Kühl- und Trocknungsanlagen ist — wie der Vergleich zwischen beiden Trocknertypen in eigenen Anlagen ergab — aufwendig, zumal auch die Heizstäbe der Silicagel-Trockner mit Relais überwacht und zusätzliche Sicherheitseinrichtungen eingebaut werden müssen.

- e) Der Heatless-Dryer erfordert wegen der geringen Anzahl überwachungsbedürftiger Aggregate eine Ueberprüfung nur in grossen Zeitabständen. Seit mehreren Jahren arbeiten Drucklufttrockner in Demag-Anlagen ohne grössere Wartung und Störung.

**Arbeitsweise der Drucktrocknungsanlagen**  
Heatless-Dryer arbeiten nach dem sogenannten Druckwechselverfahren, wobei die Druckabhängigkeit der Wasserbeladung des hochporösen Adsorptionsmittels (in den meisten Fällen aktivierte Tonerde) ausgenutzt wird.

Während der Trocknungsperiode absorbiert das Trockenmittel Feuchtigkeit aus der einströmenden, unter Druck stehenden Luft. Während der Regenerationsperiode wird der Trockenseite der Anlage ein klei-



**Die führende Spezialfirma für Planreproduktionen seit 1928.**

Grossformat-Vergrösserungen, Verkleinerungen, Planzusammensetzungen. Druck ein- und mehrfarbig von Plänen in Kleinauflage bis Format 93x132 cm.

**Spezialität:** Leitungskataster-Plangrundlage auf jedes Material. Entzerren und Umkopieren alter Pläne auf masshaltige Mattfilme.

**E. COLLIoud+CO**

Repro-Anstalt  
Techn. Papiere + Zeichenfilme

**3000 BERN**

Weissensteinstrasse 87  
Telefon 031/45 32 60

**Imeth AG**

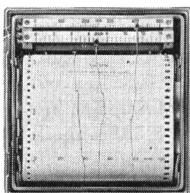
Instrumente für Messungen — elektrisch, thermisch, hydraulisch

**IMETH**

Forchstrasse 112 — CH-8132 Egg/ZH — Telefon 01 / 86 00 96



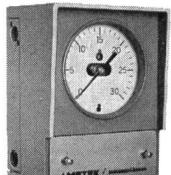
Analog- und  
Digital-Anzeiger  
Wandler-Shunts  
Umformer  
Verstärker  
Totalisator



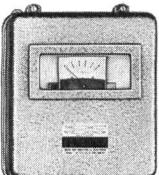
potentiometrischer- und  
galvanometrischer Schreiber



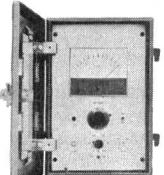
Widerstandselemente  
Thermoelemente  
Kcal-Messanlage  
Messumschalter  
Scanner  
Data-Logger



Durchfluss- und  
Druckumformer  
Venturirohr  
Venturikanal  
Messblende



Rauchdichtemesser  
CO<sub>2</sub>-Prüfgerät für Rauchgas



pH-Meter  
Lichtschranken  
Dämmerungsschalter  
Membranschalter  
Betriebs- und Labor-  
Messgeräte

che zu ermitteln. Nach der Reaktion sollte — entsprechend DIN 2000 — ein Restozongehalt von 0,2 bis 0,3 g Ozon je m<sup>3</sup> Wasser enthalten sein.

#### Mineralwasseraufbereitung

Viele Mineralwässer enthalten Eisen und Mangan, und zwar oft bei gleichzeitiger Anwesenheit von grossen Mengen gelösten Kohlendioxids. Das herkömmliche Verfahren zur Entfernung des Eisens bedient sich der Oxidation mit Luft, was aber vorher eine weitgehende Austreibung des CO<sub>2</sub> erfordert.

Hier bietet Ozon einen besonders grossen Vorteil: Die Oxidation des Eisens und Mangans läuft selbst bei hohen Konzentrationen an gelöstem Kohlendioxid einwandfrei ab; Eisenhydroxid wird anschliessend

wendung von Ozon auch eine «optische» Verbesserung der Wasserqualität; außerdem entfällt der typische Geruch des gechlorten Wassers. Das Ozon wird im Bereich der Wasserumwälzanlagen (oft mit nachgeschaltetem Aktivkohlefilter) eingesetzt. Mit Ozon behandeltes Wasser hat praktisch keine Chlorzehrung mehr, und die allgemein übliche Nachchlorung benötigt nur noch max. 0,2 ppm Chlor (gegenüber 0,3 bis 0,6 ppm ohne Ozon).

#### Abwasserbehandlung

Ozon eignet sich ausgezeichnet zur Nachbehandlung von biologisch gereinigtem Abwasser. Erste Ergebnisse von umfangreichen Untersuchungen — die in Zusammenarbeit mit der Bayrischen Biologischen Versuchsanstalt in München durchgeführt



Abb. 4. Mineralwasseraufbereitungsanlage für etwa 20 m<sup>3</sup>/h zur Enteisenung und Entmanganung

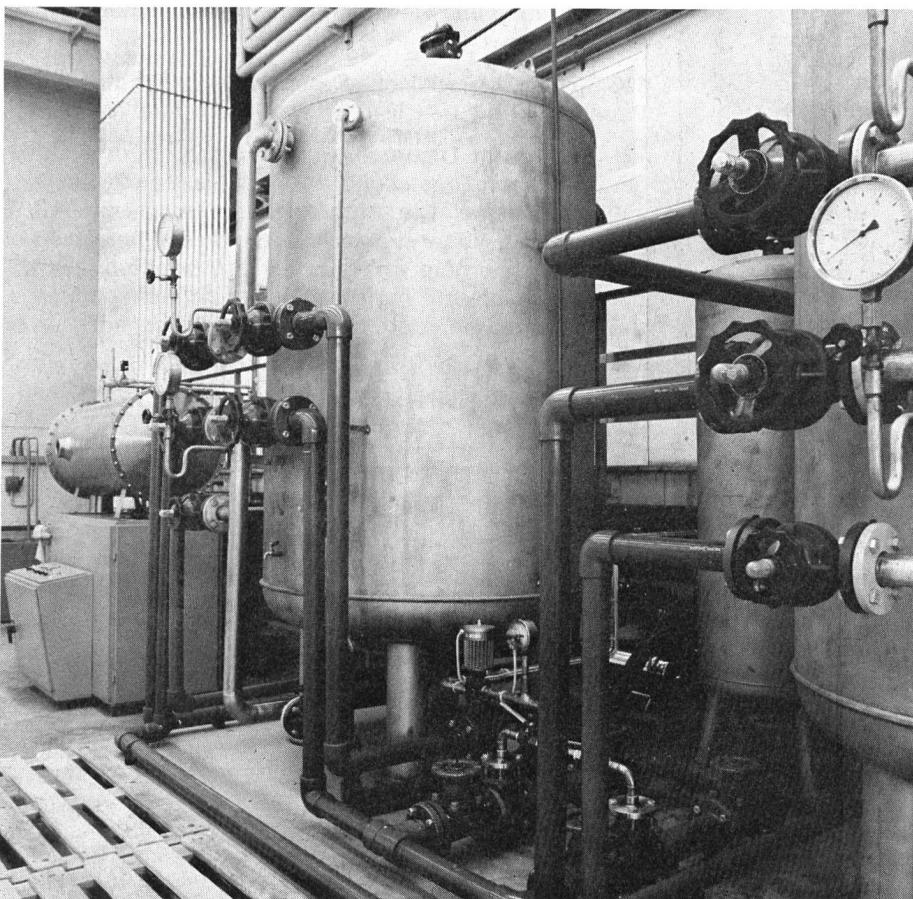


Abb. 3. Wasseraufbereitungsanlage für etwa 25 m<sup>3</sup>/h

durch Kiesfilter zurückgehalten, bei der Ozonisation gebildetes Permanganat wird durch Aktivkohlefilter entfernt.

Abschliessend sei auf die besonders günstige Möglichkeit der Sterilisierung von Rohrleitungen, Filtern und Flaschen in Brauereien und in der Getränkeindustrie durch ozonhaltiges Wasser hingewiesen.

#### Badewasseraufbereitung

Für das Wasser der Hallen- und Freibäder setzt man eine einwandfreie Qualität voraus. Als Entkeimungsmittel dienen Chlor und in letzter Zeit in zunehmendem Masse Ozon.

Neben einer ausgezeichneten Desinfektionswirkung beobachtete man bei der An-

werden — zeigen, dass durch die bakterizide Wirkung des Ozons eine starke Reduzierung der Keime (etwa 99,5 bis 99,7 %), also eine entsprechende Eliminierung der Krankheitserreger eintritt (bestimmt wurden die Koloniezahl, die Aeromonaszahl sowie der E-Coli-Titer).

Auch mit den andern Inhaltsstoffen reagiert Ozon; so werden organische (teilweise sogar abbauresistente) Stoffe zerstört bzw. in ihrer Konzentration herabgesetzt, Farb- und Geruchsstoffe beseitigt und die «optischen» Eigenschaften des Abwassers wesentlich verbessert. Vorteilhaft wirkt sich zudem aus, dass nach der Ozonbehandlung überschüssiges Ozon nicht zu unerwünschten Nebenprodukten zerfällt, sondern im Gegenteil die sehr erwünschte Anreicherung des Gehalts an gelöstem Sauerstoff resultiert.

In Zukunft wird Ozon in steigendem Masse für die Nachbehandlung von biologisch gereinigtem Abwasser eingesetzt werden, da bei steigendem Trink- und Brauchwasserbedarf mehr Oberflächenwasser benötigt wird.

#### Abluft

Die Verwendung von Ozon zur Desodorierung der Abluft von Viskosefabriken, Seifenfabriken, Kadaververwertungsanstalten, grossen Ställen usw. beseitigt in Verbindung mit ein- oder mehrstufigen Gaswäscheren alle Geruchsbelästigungen. Hier empfehlen sich allerdings Voruntersuchungen im halbtechnischen Massstab, um den Ozonbedarf exakt ermitteln und die verfahrenstechnischen Möglichkeiten voll auszuschöpfen zu können.

#### Ozoneinsatz bei Verfahren der chemischen Industrie

Bei chemischen Prozessen bietet sich Ozon als besonders «sauberes» Oxidationsmittel an, das selbst keine Nebenprodukte bildet und schnelle und sichere Reaktionen ermöglicht. So lässt sich zum Beispiel Vanillin durch Oxidation von Eugenol herstellen, oder es lassen sich Fett säuren erzeugen; bei Kaolin und Wachs kann man vorteilhaft die bleichende Wirkung des Ozons ausnutzen. — Der Anwendungsbereich ist hier sehr vielseitig, und man sollte allgemein bei Oxidationsprozessen auch an den Einsatz des nur Sauerstoff hinterlassenden Ozons denken.

#### Rückblick

Es wurden die Erzeugung von Ozon sowie die zugehörige Vorbehandlung der Ausgangsluft beschrieben und als seine Anwendungsgebiete die Abluftreinigung, die Aufbereitung von Trink-, Brauch-, Bade- und Abwasser und die Möglichkeiten beim Einsatz in chemischen Verfahren kurz behandelt. Aufgrund seines hohen Oxidationspotentials kann Ozon als sehr vielseitiges Oxidationsmittel dienen, dem sich noch umfangreiche Anwendungsgebiete erschliessen werden, besonders wenn die bei andern Chemikalien zurückbleibenden Nebenprodukte unerwünscht sind.