

VDMA 24438-2



ICS ...

Vorgesehen als Ersatz für  
VDMA 24438-2:1994-09

## **Anlagen zur Behandlung von belastetem Grundwasser – Teil 2: Behandlung organischer Inhaltsstoffe**

Plant for the treatment of contaminated ground water –  
Part 2: Treatment of organic substances

### **Anwendungswarnvermerk**

Dieser Entwurf wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil das beabsichtigte VDMA-Einheitsblatt von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise als Datei per E-Mail an [hans.birle@vdma.org](mailto:hans.birle@vdma.org)
- oder in Papierform an den Fachverband Verfahrenstechnische Maschinen und Apparate im VDMA Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V., Postfach 71 08 64, 60498 Frankfurt.

Fortsetzung Seite 2 bis 25

Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA)

## Inhalt

	Seite
<b>Vorwort</b> .....	<b>4</b>
<b>Einleitung</b> .....	<b>4</b>
<b>1 Anwendungsbereich</b> .....	<b>4</b>
<b>2 Normative Verweisungen</b> .....	<b>6</b>
<b>3 Begriffe</b> .....	<b>6</b>
<b>4 Chemische Oxidation</b> .....	<b>7</b>
4.1 Wirkprinzipien der chemischen Oxidation.....	7
4.2 Gefahrenpotential / Hinweise zu chemischen Oxidationsmitteln.....	9
4.3 Grundlagen der Dimensionierung von Anlagen zur chemischen Oxidation.....	10
4.4 Hinweise zur Ausrüstung von Anlagen zur chemischen Oxidation.....	11
4.4.1 Sauerstoff .....	11
4.4.2 Kaliumpermanganat .....	11
4.4.3 Ozon .....	12
4.4.4 Wasserstoffperoxid .....	12
4.4.5 Photoreaktor zur Erzeugung von Radikalen.....	13
4.5 Elektro-, Mess-, Steuer- und Regelungstechnik (EMSR) von Anlagen zur chemischen Oxidation .....	13
4.5.1 Sauerstoff .....	13
4.5.2 Ozon .....	13
4.5.3 Wasserstoffperoxid .....	14
4.5.4 Photoreaktor.....	14
4.6 Betrieb und Wartung von Anlagen zur chemischen Oxidation .....	14
4.6.1 Sauerstoff .....	14
4.6.2 Kaliumpermanganat .....	14
4.6.3 Ozon .....	14
4.6.4 Wasserstoffperoxid .....	15
4.6.5 Photoreaktor.....	15
<b>5 Adsorptionsverfahren</b> .....	<b>15</b>
5.1 Aktivkohle.....	15
5.1.1 Wirkprinzipien .....	15
5.1.2 Grundlagen der Dimensionierung von Adsorptionsanlagen .....	16
5.1.3 Hinweise zur Ausrüstung von Adsorptionsanlagen .....	16
5.1.4 Erfahrungen.....	17
5.2 Polymere Adsorberharze .....	17
5.2.1 Adsorptions-Prinzip der Adsorberharze .....	17
5.2.2 Polarität, Porengrösse und Oberfläche.....	17
5.2.3 Regeneration der Adsorberharze.....	18

<b>5.2.4</b>	<b>Die Wahl des Regeneriermittels.....</b>	<b>18</b>
<b>5.2.5</b>	<b>Anwendung von Adsorberharzen.....</b>	<b>18</b>
<b>6</b>	<b>Membranverfahren .....</b>	<b>19</b>
<b>6.1</b>	<b>Nanofiltration (NF) / Umkehrosiose (UO).....</b>	<b>19</b>
<b>6.2</b>	<b>Hinweise zur Ausrüstung von Membrananlagen .....</b>	<b>19</b>
<b>6.3</b>	<b>Elektro-, Mess-, Steuer- und Regelungstechnik (EMSR) von Membrananlagen.....</b>	<b>20</b>
<b>6.4</b>	<b>Betrieb und Wartung von Membrananlagen.....</b>	<b>20</b>
<b>6.5</b>	<b>Entsorgung/Behandlung des Konzentrats .....</b>	<b>20</b>
<b>6.6</b>	<b>Erfahrungen mit Membrananlagen .....</b>	<b>20</b>
<b>7</b>	<b>Be- und Entgasungsanlagen.....</b>	<b>20</b>
<b>7.1</b>	<b>Allgemein .....</b>	<b>20</b>
<b>7.2</b>	<b>Verfahren zur Be- und Entgasung .....</b>	<b>21</b>
<b>7.2.1</b>	<b>Profilbahnen-Riesler (Wellbahnbelüfter).....</b>	<b>21</b>
<b>7.2.2</b>	<b>Füllkörperriesler .....</b>	<b>23</b>
<b>7.2.3</b>	<b>Kreuzstrombelüftung .....</b>	<b>24</b>
	<b>Erläuterungen .....</b>	<b>24</b>
	<b>Literaturhinweise.....</b>	<b>25</b>

## Vorwort

Dieses VDMA-Einheitsblatt ist Bestandteil der Einheitsblattreihe „Anlagen zur Behandlung von belastetem Grundwasser“ mit folgenden Teilen:

- Teil 1: Allgemeines
- Teil 2: Behandlung organischer Inhaltsstoffe
- Teil 3: Behandlung anorganischer Inhaltsstoffe

Das vorliegende VDMA-Einheitsblatt befasst sich vorwiegend mit Anlagen zur Behandlung von organisch belastetem Grundwasser. Die hier beschriebenen Behandlungsverfahren sind jedoch auch für die Lösung vergleichbarer anderer Aufgabenstellungen einsetzbar. Die in diesem VDMA-Einheitsblatt beschriebenen Behandlungsverfahren erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Bei der Errichtung und Erneuerung von Grundwasserreinigungsanlagen ist ein besonderes Augenmerk auf die Verfahrens- und Maschinenteknik zu richten. Planer und Betreiber sollten sich möglichst frühzeitig von Fachfirmen über den neuesten Stand der Technik informieren lassen. So können Verfahren und Komponenten ausgewählt und eingebaut werden, die einen sicheren und zuverlässigen Betrieb gewährleisten.

Gegenüber VDMA 24438-2:1994-09 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- Abschnitt 1 „Anwendungsbereich“ ergänzt um Tabelle 1 „Verfahren zur Behandlung von organisch belastetem Grundwasser“;
- Abschnitt 4 „Chemische Oxidation“ ergänzt um Tabelle 2 „Redoxpotenziale ausgewählter Oxidationsmittel“, Tabelle 3 „Matrix von Oxidationsmitteln“ und Bild 1 „Abhängigkeit der Korrosionsrate von Stahl vom Redoxpotenzial“;
- Weiterhin wurden in Abschnitt 4 unter Hinweise zur Ausrüstung von Anlagen zur chemischen Oxidation die Oxidationsmittel „Sauerstoff“ und „Kaliumpermanganat“ aufgenommen;
- Abschnitt 5 „Aktivkohle“ ergänzt um Tabelle 4 „Regeneriermittel für Adsorberharze“;
- Abschnitt 6 „Membranverfahren“ wurde neu aufgenommen und um Bild 2 „Trenngrenzen und Rückhaltevermögen von Membranverfahren“ ergänzt;
- Abschnitt 7 „Be- und Entgasungsanlagen“ wurde neu aufgenommen und um Tabelle 4 „Henry Koeffizient für verschiedener Gase“ und Bild 3 „Einstufige Gleichstrom-belüftungsanlage“, Bild 4 „Zweistufiger Wellbahnbelüfter“, Bild 5 „Gegenstrombelüftungsanlage“, Bild 6 „Füllkörperkollonne“ und Bild 7 „Flachbelüfter“ ergänzt;
- Literaturhinweise wurden angepasst;
- Alte Abschnitte „Biologische Behandlung – Aerobe Verfahren“ und Abschnitt 3 „Anaerobe Verfahren“ wurden nicht mehr übernommen, da diese in der Praxis der Grundwasserbehandlung wenig Verbreitung finden.

## Einleitung

Dieses VDMA-Einheitsblatt dient als Anhaltspunkt und bietet einen Überblick zur Beurteilung von Komponenten und Systemen zur Grundwasserbehandlung. Es erhebt weder einen Anspruch auf Vollständigkeit, noch auf die exakte Auslegung der bestehenden Rechtsvorschriften. Es darf nicht das Studium relevanter Richtlinien, Gesetze und Verordnungen ersetzen. Weiterhin sind die Besonderheiten der jeweiligen Verfahren zur Grundwasserbehandlung sowie deren unterschiedliche Einsatzmöglichkeiten zu berücksichtigen. Von daher sind zu dem in diesem VDMA-Einheitsblatt angesprochenen Beurteilungen und Vorgehensweisen eine Vielzahl weiterer Konstellationen denkbar.

## 1 Anwendungsbereich

Dieses VDMA-Einheitsblatt beschreibt die in Tabelle 1 aufgeführten chemisch-physikalischen Behandlungsverfahren. Die wirtschaftliche Bearbeitung praktischer Problemstellungen erfordert oftmals die Kombination mehrerer Verfahren und setzt entsprechende Erfahrung in der Auswahl und Kombination der beschriebenen Verfahren voraus.

**Tabelle 1 – Verfahren zur Behandlung von organisch belastetem Grundwasser**

<b>Verfahren</b>	<b>Oxidation</b>	<b>Adsorption</b>	<b>NF/UO</b>	<b>Be-/ Entgasung</b>
<b>Prinzip</b>	Umwandlung von Schadstoffen durch Oxidation in weniger gefährliche und/oder besser abtrennbare bzw. abbaubare Stoffe	Abtrennung von Schadstoffen durch Adsorption an Festkörper (Aktivkohle, Adsorberharz)	Abtrennung von Schadstoffen durch semipermeable Membran/Osmose	Abtrennung von Schadstoffen durch Übergang in die Luft
<b>Zielprodukte</b>	Wasser mit weniger gefährlichen Inhaltsstoffen	Wasser mit weniger gefährlichen Inhaltsstoffen	gereinigtes Wasser	gereinigtes Wasser
<b>Abprodukte</b>	unerwünschte Zwischen- und/oder Nebenprodukte möglich	belastetes Adsorbens muss entsorgt oder aufbereitet werden.	hochbelastetes Abwasser muss u. U. aufbereitet werden	belastete Abluft muss u. U. nachbehandelt werden
<b>Berechnungsgrundlage</b>	Reaktionskinetik	Adsorptionsisotherme (z.B. nach LANGMUIR)	Osmotischer Druck	HENRY-Koeffizient
<b>Anwendungsbereich</b>	leicht oxidierbare organische Stoffe (funktionalisierte aliphatische Verbindungen)	schwach polare langkettige organische Stoffe (Aromaten, Halogenverbindungen)	höhermolekulare organische Stoffe	Leicht flüchtige organische Stoffe (kurzkettige Halogenkohlenwasserstoffe)

ANMERKUNG Für die weitergehende Betrachtung von Membranverfahren wird auf die VDMA-Einheitsblätter 24653 und 24655 verwiesen. Eigenständige biologische Behandlungsverfahren sind nicht Gegenstand dieses VDMA-Einheitsblattes.

## 2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

VDMA 24653, *Membrananlagen in der Wasser- und Abwassertechnik – Hinweise für die Auswahl, Planung und Ausführung*

VDMA 24655, *Membrananlagen – Vermeidung und Verminderung von Scaling und Fouling*

## 3 Begriffe

Für die Anwendung dieses VDMA-Einheitsblattes gelten die folgenden Begriffe.

**3.1 Grundwasser**  
Grundwasser ist das Wasser, das unter der Erdoberfläche in Hohlräumen einen Wasserkörper bildet. Es wird in der Regel über Brunnen sowie Quellen aus dem Boden entnommen und vorzugsweise als Trinkwasser oder auch als Betriebswasser genutzt.

**3.2 Grundwasserspiegel**  
Grenzfläche unterhalb derer der Boden wassergesättigt ist.

**3.3 Regenwasser**  
Wasser aus atmosphärischem Niederschlag, das noch keine Stoffe von Oberflächen aufgenommen hat.

**3.4 Fällung**  
Überführung von gelösten Abwasserinhaltsstoffen in ungelöste Formen durch chemische Reaktionen oder physikalische Reaktionen.

**3.5 Flockung**  
Bildung abscheidbarer Flocken durch Agglomeration kleiner Teilchen.

**3.6 Flotation**  
Aufschwimmen von suspendierten Stoffen in Flüssigkeiten mittels anhaftender Gasbläschen.

**3.7 Filtration**  
Filtration ist ein Verfahren zur Trennung oder Reinigung eines Mediums, meist einer Suspension oder eines Aerosols.

**3.8 Strippen**  
Austreiben flüchtiger Inhaltsstoffe aus Flüssigkeiten durch Gasaustausch.

**3.9 Ionenaustauscher**  
Ionenaustauscher sind quellbare, aber wasserunlösliche Polymere, die substituierte ionenaktive Gruppen enthalten.

**3.10 Membranverfahren**  
Verfahren zur Entfernung von feinsten Partikeln bis hin zu gelösten Stoffen aus Wasser oder Abwasser mittels eines auf einer Stützschrift aufgetragenen sehr feinen Filtervlieses.

**3.11 Sedimentation**  
Sedimentation ist das Ablagern/Absetzen von Teilchen aus Flüssigkeiten oder Gasen unter dem Einfluss der Schwerkraft und anderer Kräfte, wie zum Beispiel der Zentrifugalkraft („Fliehkraft“) in einer Zentrifuge.

## 4 Chemische Oxidation

### 4.1 Wirkprinzipien der chemischen Oxidation

Mit Hilfe starker Oxidationsmittel können oxidierbare Substanzen, im wesentlichen organischer Natur, im belasteten Grundwasser zerstört werden. In den meisten Fällen findet keine Mineralisierung der organischen Stoffe sondern eine Umwandlung schwer abbaubarer Substanzen in biologisch leicht abbaubare Stoffe statt, z. B. zu Karbonsäuren. Aus diesem Grund werden oft Ozonanlagen den biologischen Stufen vorgeschaltet um auch biologisch zunächst nicht oder schwer abbaubare Substanzen dem biologischen Abbau zuführen zu können. Bei oxidativen Prozessen können auch unerwünschte Nebenprodukte entstehen z.B. Chlorat, Chlorit, Bromat, Trihalomethane.

Als Oxidationsmittel stehen zur Verfügung:

- Sauerstoff (O<sub>2</sub>)
- Kaliumpermanganat (KMnO<sub>4</sub>)
- Ozon (O<sub>3</sub>)
- Wasserstoffperoxid (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)

**Tabelle 2 – Redoxpotentiale ausgewählter Oxidationsmittel  
(aus Kurzmann, Ozonanwendungen in der Wasseraufbereitung, Expert Verlag, 1984)**

Reaktion	Potential E In Volt (25 °C)
$F_2 + 2 e^- \leftrightarrow 2 F^-$	2,87
$O_3 + 2 H^+ \leftrightarrow O_2 + H_2O$	2,07
$H_2O_2 + 2 H^+ + 2 e^- \leftrightarrow 2 H_2O$ (sauer)	1,76
$MnO_4^- + 2 H^+ + 3 e^- \leftrightarrow MnO_2 + 2 H_2O$	1,68
$Cl_2 + 2 e^- \leftrightarrow 2 Cl^-$	2,87

Ozon, zu den stärksten Oxidationsmitteln zählend, ist nicht lagerfähig und muss für die Reaktion hergestellt werden. Die Herstellung kann aus trockener Luft oder Sauerstoff erfolgen. Bei Luft erreicht man etwa 10 Vol. % Ozon, bei Sauerstoff bis zu 20 Vol.%. Bei der Grundwasseraufbereitung kommen wegen der wesentlich geringeren Gasmengen und der vergleichsweise hohen Ozonkonzentration bevorzugt sauerstoffbetriebene Ozonanlagen zum Einsatz.

Wasserstoffperoxid ist als wässrige Lösung im Handel erhältlich und wird meist als 30 bis 50 % Lösung dem Wasser zudosiert. Unter dem Einfluss von UV-Strahlung entstehen Hydroxylradikale. Mit ihrem sehr hohen Oxidationspotential zählen sie zu den stärksten Oxidationsmitteln. Da Hydroxylradikale nur eine sehr kurze Lebensdauer haben, müssen sie direkt im Prozess hergestellt werden. Dies erfolgt primär durch Bestrahlung von Oxidationsmitteln (Ozon, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) mit UV-Strahlung im Wellenlängenbereich von 200 - 280 nm, dem sogenannten UV-C-Bereich. Hydroxylradikale können auch durch die Kombination von Ozon und Wasserstoffperoxid erzeugt werden. Kombinationen von Katalysatoren mit H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oder O<sub>3</sub> sind ebenfalls möglich.

Wird mit Ozon oder Wasserstoffperoxid in Kombination mit UV-Strahlung gearbeitet, so spricht man von einem Advanced Oxidation Process (AOP). Er zeigen eine sehr hohe Reaktivität gegenüber vielen chemischen Verbindungen.

Kaliumpermanganat ist sehr einfach zu handhaben und wird wegen seiner oxidativen und algiziden Wirkung zur Wasseraufbereitung eingesetzt. Aufgrund des hohen Preises wird Kaliumpermanganat aber nur für Anwendungen mit geringem Chemikalienverbrauch eingesetzt.

Chlor wird bevorzugt als Natriumhypochlorit oder als Chlorgas eingesetzt. Da Natriumhypochlorit bei höheren Lagertemperaturen einer Eigenzersetzung unterliegt wird alternativ auch das pulverförmige Kalziumhypochlorit verwendet. Handelsübliches Natriumhypochlorit wird in flüssiger Form mit ca. 13 Gew. % geliefert. Da sehr unerwünschte Reaktionsnebenprodukte auftreten wird Chlor als Oxidationsmittel praktisch nicht mehr eingesetzt.

**Tabelle 3 – Matrix zur Beurteilung von Oxidationsmitteln**

Oxidationsmittel	Redoxpotenzial [V]	MAK [ppm]	Schlamm-bildung	Volumen-zunahme beim Zerfall	Gefahr durch Bildung organischer Peroxide
Sauerstoff	+ 1,229 ( $O_2 + 4H^+ \leftrightarrow 2H_2O$ )	-	-	-	ja
Wasserstoffperoxid	+ 0,867 ( $H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- \leftrightarrow 2H_2O$ )	1,0	-	375 l/l Flüssigkeit	möglich
Ozon	+2,07 ( $O_3 + 2H^+ \leftrightarrow O_2 + H_2O$ )	0,1	-	1,5 l/l Gas	möglich
Hydroxylradikal (UV)	2,80	-	-	-	-
Kaliumpermanganat	+ 1,67 ( $MnO_4^- + 2H^+ + 3e^- \leftrightarrow MnO_2 + 2H_2O$ )	-	ca. 2/3 der eingesetzten Menge als Trockensubstanz	141 l/kg Feststoff	-



## 4.2 Gefahrenpotential / Hinweise zu chemischen Oxidationsmitteln

Bei der chemischen Oxidation mit Ozon, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, UV oder Kombinationsverfahren verbleiben bei vollständiger Oxidation Wasser, Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und anorganische Ionen als Reststoffe. Die Oxidation kann auch, je nach Prozessführung, bis zur Stufe der Alkohole, Aldehyde, Ketone oder organischen Säuren verlaufen.

### Allgemeines:

Oxidationsmittel sind Stoffe, die in der Lage sind, Elektronen aufzunehmen. Die Fähigkeit zur Elektronenaufnahme wird durch das Redoxpotenzial quantifiziert. Es gilt: Je höher das Redoxpotenzial, umso höher die Fähigkeit (und der Drang) zur Elektronenaufnahme (die Elektronenaffinität). Hierbei ist zu beachten, dass die Elektronenaffinität nicht nur auf das gewünschte Zielprodukt wirkt, sondern auch auf den Menschen (Giftwirkung, insbesondere Atemgift), auf Werkstoffe (Korrosion) und auf die Umwelt (u. a. Hydroxidschlämme).

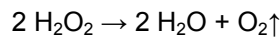
Hiervon ausgehend sollten zur Lösung einer bestimmten Aufgabe solche Oxidationsmittel/-systeme eingesetzt werden, die zur Lösung einer bestimmten Aufgabe hinreichend stark genug sind bei gleichzeitig möglichst geringen Nebenwirkungen.

Das **Redoxpotenzial** hängt nicht nur vom Oxidationsmittel und dessen Konzentration sondern auch vom pH-Wert, der Temperatur und den anderen Reaktanden ab und gilt somit immer nur für eine konkrete Reaktion unter konkreten Bedingungen.

Die Wirkung als **Atemgift** beruht vor allem auf der Fähigkeit zur Oxidation der Eisen(II)-Ionen im Hämoglobin, was dessen Umwandlung in Hämoglobin (Met-Hämoglobin) zur Folge hat.

Die **Hydroxidschlamm**bildung beim Einsatz von Kaliumpermanganat beruht auf der Bildung voluminöser Mangan(IV)-Oxid-Hydroxid-Schlämme.

Die **Volumenzunahme** beim Zerfall von Wasserstoffperoxid beruht auf folgender Reaktion:

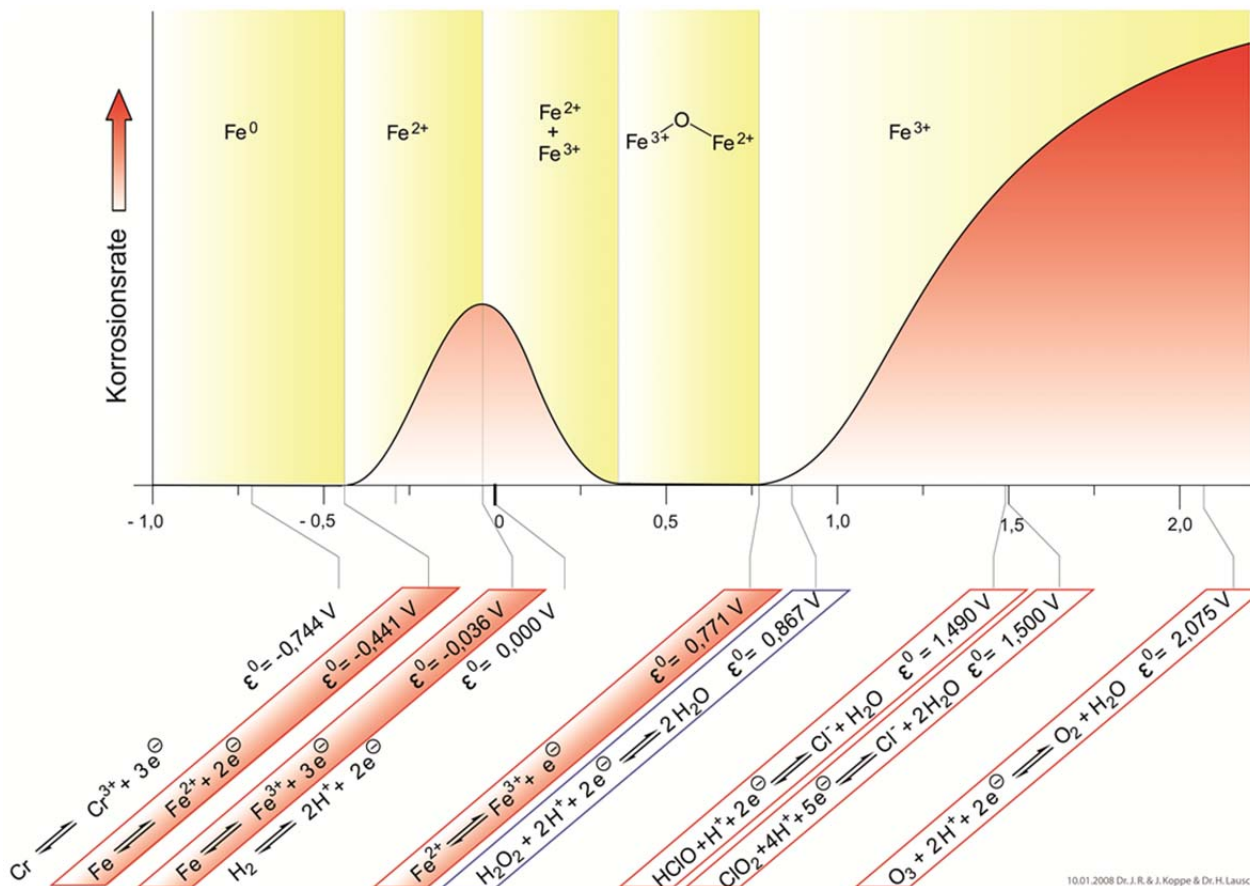


D.h. aus 2 Mol Wasserstoffperoxid (68 g, ca. 60 ml) wird 1 Mol Sauerstoff freigesetzt (22,4 Liter), was unter Normalbedingungen einer Volumenzunahme um den Faktor 375 (22,4/0,06 Liter) entspricht.

Zur Vermeidung dieses Zerfalls werden wässrige Wasserstoffperoxidlösungen stabilisiert. Das Stabilisatorsystem beeinflusst auch die Oxidationswirkung und die Nebenwirkungen des Wasserstoffperoxids. Da hierdurch die technologische Wirkung und die Sicherheit beeinflusst werden, sind nur die vom Hersteller/Lieferanten empfohlenen Lösungen einzusetzen. Der Eintrag von Fremdstoffen ist auszuschließen.

Der **Angriff auf Werkstoffe** beruht bei Werkstoffen mit Passivschicht (Stahl) auf der Zerstörung der Spinellstruktur [(Fe(II)-O-Fe(III))] durch Oxidation der Eisen(II)-Ionen in dieser Struktur zu Eisen(III)-Ionen. Nickelanteile in der Legierung mindern diesen Effekt; Chromanteile sorgen dafür, dass geschädigte Werkstoff-Oberflächen schnell wieder ausheilen (Cr-Ni-Stähle sind notwendig).

Bei organischen Materialien (Werkstoffe und Kleber) erfolgt der oxidative Angriff bevorzugt auf Doppelbindungen und polarisierbare funktionelle Gruppen.



**Bild 1 – Abhängigkeit der Korrosionsrate von Stahl vom Redoxpotenzial (die Angaben zum Redoxpotenzial beziehen sich auf die Normalwasserstoffelektrode und eine Temperatur von 25 °C)**

Die **Bildung organischer Peroxide** (insbesondere aus **Schmierstoffen**) durch Sauerstoff ist von besonderer Bedeutung, da hierbei organische Peroxide (R-O-O•) gebildet werden, die dann plötzlich sehr intensiv weiter reagieren können. Beim Einsatz anderer Oxidationsmitteln ist diese Wirkung weniger zu erwarten, da hier kein molekularer Sauerstoff (•O-O•) vorliegt. Beim Umgang mit Sauerstoff/Ozon (lagern, dosieren, Transport) dürfen keine organischen Substanzen (Fette, Öle) in Kontakt mit Sauerstoff/Ozonn kommen.

### 4.3 Grundlagen der Dimensionierung von Anlagen zur chemischen Oxidation

Für die Dimensionierung einer Oxidationsanlage ist die Art und Konzentration der abzubauenen Inhaltsstoffe, der angestrebte Durchsatz, das Sanierungsziel und die Art und Konzentration der übrigen Wasserinhaltsstoffe entscheidend. Die im Zuge der Aufbereitung des belasteten Grundwassers notwendigen Behandlungszeiten können, je nach Erfordernis, im Bereich von wenigen Sekunden bis hin zu vielen Minuten variieren.

Für die Behandlung von belastetem Grundwasser mittels Ozon sollte der Generator so ausgelegt sein, dass ein ökonomischer und ökologischer Betrieb gesichert ist. Die erforderliche Ozonmenge zum Abbau der Schadstoffe und das Betriebskonzept zur Behandlung des Grundwassers geben den Auslegungszielrahmen vor.

Bei der Auslegung sind zu beachten:

- Zu behandelnder Wasservolumenstrom [m<sup>3</sup>/h]
- Wasserinhaltsstoffe
- Benötigte Ozonkonzentration
- Zu erreichender Abbaugrad
- Reaktionsbecken oder -behälter

Die Ozonproduktion wird beeinflusst durch:

- Einsatzgas
- Volumenstrom
- Arbeitsdruck
- Benötigte Ozonkonzentration
- Netzseitige Spannung
- Frequenz
- Kühlmitteltemperatur
- Taupunkt des Einsatzgases

#### **4.4 Hinweise zur Ausrüstung von Anlagen zur chemischen Oxidation**

##### **4.4.1 Sauerstoff**

Sauerstoff wird zur Oxidation von verschiedenen Schwermetallen und anderen störenden Stoffen verwendet. Der Sauerstoff kann in reiner Form in Flaschen bzw. Tanks, oder auch als Luft zudosiert werden. Da der Sauerstoffanteil in der Luft nur ca. 20 Vol. % beträgt, werden hier größere Mengen zur Oxidation benötigt.

- Als Anlagenkomponenten dienen: Sauerstoffflaschen bzw. -tanks mit der entsprechenden Dosierstation
- Alternativ, ölfreie Kompressoren mit dem entsprechendem Armaturensatz
- Reaktionsbehälter mit Entlüftungssystem
- Induktive Durchflussmesser zur Messung der Sauerstoff- (alternativ: Luft-) und Wasservolumenströme
- Nachfolgende Filter zur Abtrennung der entstandenen Oxidantien

Dichtungs- und Rohrleitungsmaterialien:

Es sind nur die vom Lieferanten vorgegebenen Materialien zu verwenden.

Mess- und Regelgeräte:

Durchflussmessungen sowohl der Sauerstoff- oder Luftvolumenströme, als auch der aufzubereitenden Wasservolumenströme. Druckmessungen in allen Stoffströmen.

Betrieb und Wartung:

Eine zweimalige Wartung der Anlage pro Jahr ist zu empfehlen.

Sauerstoff-/Lufteintrag ist weiterhin mit den unter Abschnitt 7 genannten Verfahren (Be- und Entgasungsanlagen) möglich.

##### **4.4.2 Kaliumpermanganat**

Kaliumpermanganat bildet dunkelviolette, prismenähnliche Kristalle. Es kristallisiert ohne Kristallwasser und ist in reiner Form nicht hygroskopisch. Herstellungsbedingte geringe Anteile an Kaliumhydroxid oder Kaliumcarbonat können zum Verbacken und Verklumpen des Produktes führen. Rieselfähiges Kaliumpermanganat enthält geringe Silikatzusätze und eignet sich besonders für die Trockengutdosierung.

Im Wasserwerk werden Lösungen mit Massenanteilen von etwa 1 % eingesetzt, die zur Dosierung im Bedarfsfalle weiter verdünnt werden können. Die in Wasseraufbereitungsanlagen üblicherweise verwendeten Metalle, wie unlegierte Eisenwerkstoffe und hochlegierte Stähle, sind gegen wässrige Kaliumpermanganatlösungen dieser Konzentration beständig. Im „technischen Kaliumpermanganat“ können Alkalien enthalten sein, durch die Aluminium und seine Legierungen angegriffen werden. Kupferwerkstoffe sind anfällig gegen Lochkorrosion. Kunststoffe, wie PTFE, Polyethen, Polypropylen, PVC und Neopren, sind beständig, während Gummi und andere leicht oxidierbare Kunststoffe nicht verwendet werden können.

Die Herstellung der Dosierlösung kann manuell diskontinuierlich oder automatisch diskontinuierlich bzw. kontinuierlich erfolgen.

Zur diskontinuierlichen Herstellung wird eine abgewogene Menge Kaliumpermanganat in einem bestimmten Wasservolumen unter Rühren in einem Lösebehälter gelöst. Die Lösung wird in einen Vorratsbehälter über-

führt, in dem ungelöste Begleitstoffe durch Sedimentation abgeschieden und am Behälterboden entnommen werden können. Zweckmäßigerweise werden zwei Lösebehälter alternierend betrieben. Aus dem Dosierbehälter kann über entsprechend angeordnete Entnahmeleitungen eine feststofffreie Lösung dosiert werden.

Bei automatisch arbeitenden Anlagen wird Kaliumpermanganat mit Trockengutdosierern in einen Lösebehälter gegeben. Zur Einstellung einer bestimmten Konzentration müssen Kapazität und Laufzeit des Feststoffdosierers (z. B. Dosierschnecke) mit dem Volumen und der Füllzeit des Lösebehälters abgestimmt sein.

Aufgrund seiner geringen Löslichkeit werden üblicherweise Lösungen mit 1 – 2 Gew. % dosiert. Höher konzentrierte Lösungen können vielfach Probleme an Dichtungen von Pumpen und Armaturen verursachen.

#### 4.4.3 Ozon

Die wesentlichen Komponenten einer Gesamtanlage sind:

- Sauerstofftank mit Verdampfer oder Luftreinigungs- und -trocknungsanlage (Einspeisegas)
- Ozonanlage mit Zubehör (Ozongenerator)
- Stromversorgung
- Reaktionsbehälter mit Gaseintragungssystem (Diffusoren oder Injektorsystem)
- katalytischer Ozon Vernichter
- Kühlsystem

Es sind nur die vom Lieferanten vorgegebenen Materialien zu verwenden.

Als Kunststoff ist beispielsweise Polytetrafluorethylen (PTFE) geeignet; bei der Erzeugung von Ozon aus Luft auch Polyvinylidenfluorid (PVDF) oder weichmacherfreies Polyvinylchlorid (PVC-U).

Als Dichtungsmaterialien kommen ozonbeständige Polymere in Frage, z.B. PTFE. Unter besonderer Berücksichtigung der jeweiligen Einsatzbedingungen eignen sich auch Chlorsulfonylpolyethylen (CSM), Fluorkautschuk (FPM) und Silikone.

#### 4.4.4 Wasserstoffperoxid

Die Zugabe von Wasserstoffperoxidlösung kann vor einem Reaktor und an mehreren Stellen direkt in den Reaktor erfolgen. Je nach Qualität des Wassers kann zur Optimierung des Prozesses eine chemische oder physikalische Vorbehandlungsstufe erforderlich sein. Hierbei kann es sich beispielsweise um eine Filtration zur Entfernung störender Feststoffpartikel oder eine Enteisungsstufe handeln

Die wesentlichen Komponenten einer H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Anlage zur Grundwasseraufbereitung sind:

- Wasserstoffperoxidtank mit Dosieranlage
- Reaktionsbehälter.

Es sind nur die vom Lieferanten vorgegebenen Materialien zu verwenden.

Als Materialien für Behälter, Dosierleitungen und Ventile sind u.a. geeignet: PVDF, PTFE, PVC (bei geringerer Konzentration von H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) Cr-Ni-Stahl (1.4404 und 1.4571). Nicht geeignet sind: NBR, PA, Rotguss und Messing.

Tankanlagen sind nur vom Wasserstoffperoxid –Hersteller selbst oder von zertifizierten Fachbetrieben nach Wasserhaushaltsgesetz aufzustellen.

Jede Veränderung der Anlage sollte mit dem H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Lieferanten oder dem Ersteller der Anlage zuvor besprochen werden.

Weitere Hinweise finden Sie unter anderem im Merkblatt M009 der BG Chemie.

Bei der Lagerung von H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Lösungen ist vor allem darauf zu achten, dass Sonneneinstrahlung und starke Erwärmung vermieden wird.

Lagerung in Gebinden

Die Lagerung von Wasserstoffperoxid darf nur in Originalgebinden mit dem entsprechenden Originalverschlüssen erfolgen, deren Verschlusskappen Ventile haben, die ein Auslaufen verhindern, Gasaustritt jedoch zulassen. Wasserstoffperoxid darf bei der Lagerung nicht in Kontakt mit Fremdstoffen kommen.

#### 4.4.5 Photoreaktor zur Erzeugung von Radikalen

Der Photoreaktor kann in Verbindung mit Wasserstoffperoxid oder Katalysatoren zur Erzeugung von Hydroxylradikalen erfolgen. Je nach Volumenstrom und Wasserinhaltsstoffe können mehrere Photoreaktoren parallel oder in Reihe geschaltet werden. In den Photoreaktoren werden UV-C-Strahler, vorzugsweise Hg-Niederdruck oder Hg-Mitteldruckstrahler eingesetzt. Die Reaktionszeit für die Erzeugung der Radikale liegt im Nano-Sekundenbereich. Die Auswahl der Strahlenquellen, deren Anordnung und die Strömungsführung im Reaktor sind von entscheidender Bedeutung für die Effizienz der Methode. Das als Reaktionspartner notwendige Oxidationsmittel ist vor dem Reaktor zuzugeben und muss in gelöster Form vorliegen. Zu Herstellung und Eintrag wird auf die vorhergehenden Ausführungen verwiesen. Beim Ozon/UV-Verfahren ist darauf zu achten, dass kein gasförmiges Ozon in den Photoreaktor eingebracht wird.

- Die wesentlichen Komponenten einer Photooxidationsanlage sind Photoreaktor
- Strahlungsquelle
- Intensitätsmessung

Es sind nur die vom Lieferanten vorgegebenen Materialien zu verwenden.

Werkstoffe für den Photoreaktor: Cr-Ni-Stähle (z.B. Werkstoffnummer 1.4571), Glas oder UV- und oxidationsmittelbeständige Kunststoffe. Die Dichtungen müssen den Anforderungen bezüglich UV- und Oxidationsmittelbeständigkeit ebenfalls genügen.

Es ist in Gegenwart geeigneter Katalysatoren möglich, direkt aus Wasser unter Mitwirkung von sichtbarem Licht Hydroxylradikal-Species zu bilden.

#### 4.5 Elektro-, Mess-, Steuer- und Regelungstechnik (EMSR) von Anlagen zur chemischen Oxidation

Die Bedienungseinrichtungen von Oxidationsanlagen sind leicht zugänglich und übersichtlich anzuordnen. Die Schalteinrichtung für Bedienung, Wartung und Überwachung muss alle für einen sicheren Betrieb der Anlage erforderlichen Schalt-, Regel-, Steuer-, Mess- und Kontrollorgane beinhalten.

Die Chemikaliengabe erfolgt Mengen- und/oder Redoxpotenzial geregelt.

##### 4.5.1 Sauerstoff

Zur optimalen Zugabe von O<sub>2</sub> werden Sauerstoffgeneratoren eingesetzt. Die Hauptkomponenten sind dabei ein Kompressor und eine Luftvortrocknungsstufe. Der Sauerstoff wird ins System eingebracht, indem ein Teilstrom des zu behandelnden Wassers mit Hilfe einer Druckerhöhungspumpe und einem Injektor mit Sauerstoff angereichert und wieder in den Hauptwasserstrom eingebracht wird.

Zur Überwachung der Konzentration des Oxidationsmittels dienen Durchflussmesser in den Wasservolumenströmen als auch im Gasvolumenstrom. Die Zugabe des Sauerstoffs erfolgt volumenstromabhängig. Als weitere Kontrolleinrichtung sollten in Gas- als auch in den Wasservolumenströmen (Haupt- und Teilstrom) der Druck überwacht werden. Zur Messung der Sauerstoffkonzentration nach der Zugabe ins System kann eine turnusmäßige oder eine Online-Messung dienen.

##### 4.5.2 Ozon

Für den jeweiligen Anwendungsfall können unterschiedliche Steuerungskonzepte genutzt werden.

Die am Hochspannungstransformator primärseitig anliegende elektrische Spannung und Frequenz sollte zur Optimierung der Ozonerzeugung einstellbar sein. Es sind mindestens der Betriebszustand und die veränderbaren Betriebsparameter, die die Ozonproduktion beeinflussen, anzuzeigen.

Solche Betriebsparameter sind z.B.: Spannung, Stromstärke, Leistungsfaktor, Frequenz, Volumenstrom des Einsatzgases, Kühlmitteltemperatur, Ozongaskonzentration.

Die Ozonkonzentration sollte sowohl nach der Ozonanlage im Gasstrom zum Verbraucher als auch nach dem Ozonvernichter im Abgas zur Kontrolle gemessen werden.

Entsprechend dem Restozongehalt vor dem Restozonvernichter oder dem Wasserablauf kann die Aufbereitungsanlage geregelt werden. Der Ozongehalt in der Raumluft ist durch ein Gaswarngerät zu überwachen.

Im Falle der katalytischen Photoreaktion sind die Katalysatoren so zu platzieren, dass Licht und Wasser optimal zur Katalysatoroberfläche gelangen.

### 4.5.3 Wasserstoffperoxid

Es gibt verschiedene Verfahren zur Messung des  $H_2O_2$  Überschusses. Die Wasserstoffperoxidkonzentration kann zum Beispiel mittels manganometrischer, iodometrischer Verfahren oder cerometrisch bestimmt werden. Hohe Konzentrationen können auch über die Dichte bestimmt werden. Passende Überwachungseinheiten werden von verschiedenen Herstellern angeboten.

### 4.5.4 Photoreaktor

Das zu behandelnde Medium wird mittels der Pumpen durch die Photoreaktoren getrieben und dabei umgewälzt. Beim Einsatz von Mitteldruckstrahlern ist aufgrund der hohen Wärmeentwicklung sicherzustellen, dass diese nur in Betrieb sind, wenn auch Flüssigkeitsfluss im Photoreaktor besteht.

Dies gilt insbesondere für die Aufwärmphase der Strahler, während der noch keine volle Leistungsbereitschaft besteht und in der der Reaktor noch nicht vom zu behandelnden Hauptstrom durchflossen wird. In jedem Fall ist der Mindestdurchfluss gemäß Herstellerangabe sicherzustellen, um eine Überhitzung der UV-Strahler zu vermeiden. Entsprechende Sicherheitssteuerungen sind vorzusehen.

Da die Abbauleistung jedes Photoreaktors entscheidend von der UV Absorption durch das zu behandelnde Medium abhängt, ist eine Online-Transmissionsmessung zur Überwachung kontinuierlich durchzuführen. Im Falle der katalytischen Photoreaktion sind die Katalysatoren so zu platzieren, dass Licht und Wasser optimal zur Katalysatoroberfläche gelangen.

Die Funktion der UV-Strahler kann durch geeignete Messgeräte überwacht und angezeigt werden. Aufgrund der Reduktion der Bestrahlungsintensität der UV-Strahler im Laufe der Benutzungszeit ist eine Anzeige der Betriebsstunden vorzunehmen. Ein kontinuierlicher Betrieb begünstigt die Lebensdauer der UV-Strahler.

## 4.6 Betrieb und Wartung von Anlagen zur chemischen Oxidation

### 4.6.1 Sauerstoff

Beim Betrieb eines Sauerstoffgenerators sind die Drücke aller Stoffströme online zu überwachen oder mindestens täglich zu kontrollieren und zu protokollieren. Die Betriebsstunden des Sauerstoffgenerators sind zu dokumentieren (in der Soft- oder Hardware).

Außerdem empfiehlt sich eine zweimalige Wartung pro Jahr.

### 4.6.2 Kaliumpermanganat

Da Kaliumpermanganat ein reaktives Oxidationsmittel ist, muss der Kontakt mit brennbaren Materialien, z. B. Sägemehl, Stroh, Sackleinen, starken Säuren, Glycerin und anderen Gefrierschutzmitteln, pulverförmigen Metallen und Wasserstoffperoxid vermieden werden. Bei gleichzeitiger Anwendung mit Aktivkohlepulver ist besondere Vorsicht geboten.

In gut verschlossenen Behältern und bei Raumtemperatur ist Kaliumpermanganat praktisch unbegrenzt haltbar.

Unabhängig von der Art der Herstellung sollte das feste Kaliumpermanganat oder die Kaliumpermanganatlösung möglichst schnell und intensiv in das aufzubereitende Wasser eingemischt werden. Bei der Dosierung in Rohrleitungen sollen statische Mischvorrichtungen verwendet werden. Rohrleitungen ohne zusätzliche Einbauten erfordern zum turbulenten Mischen eine Rohrlänge, die etwa dem hundertfachen Rohrdurchmesser entspricht.

Die Reaktionsbedingungen für den Einsatz von Kaliumpermanganat, wie Konzentration, pH-Wert und Reaktionszeit, können durch Becherglasversuche ermittelt werden.

Für die Überwachung der Dosieranlagen ist eine kontinuierliche, photometrische Messung der Färbung der Permanganatlösung möglich. Überschüssiges Kaliumpermanganat wird bevorzugt durch Filtration über kohlenstoffhaltiges Filtermaterial (Aktivkohle, Koks usw.) entfernt oder kann durch den Zusatz von Natriumsulfit ( $Na_2SO_3$ ) reduziert werden.

### 4.6.3 Ozon

Jede Ozonanlage sollte einmal pro Jahr vom Hersteller geprüft und regelmäßig gewartet werden.

Die Umgebungsluft einer Ozonanlage sollte die Temperatur von 30 °C nicht übersteigen. Für eine wirksame Be- und Entlüftung ist zu sorgen.

#### **4.6.4 Wasserstoffperoxid**

Jede Wasserstoffperoxidanlage sollte einmal pro Jahr vom Hersteller geprüft und regelmäßig gewartet werden.

Beim Betrieb einer H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Oxidationsanlage ist im Zuge regelmäßiger Kontrollen auf den Zustand der Gesamtanlage und Rohrleitungen (z.B. Auftreten von Leckagen) zu achten. Ein ausreichender Füllstand der H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Vorlage ist sicherzustellen. Zur Vereinfachung des Betriebes ist die Installation einer kompletten Wasserstoffperoxid-Tankanlage ratsam.

#### **4.6.5 Photoreaktor**

Hierbei ist aus Gründen der Gewährleistung und der Verfahrenssicherheit auf den Einsatz von Originalersatzteilen zu achten.

Weiterhin sind die vom Hersteller vorgesehenen Wartungsmaßnahmen in den entsprechenden Intervallen vorzunehmen.

Im Betrieb des Photoreaktors muss durch entsprechende Anordnung von Ventilen eine vollständige Entgasung sicher gestellt werden, um etwaige Luftblasen zu entfernen.

Die Auslegung von Pumpen und Ventilen muss eine Bildung von abrupten Druckstößen ausschliessen, da ansonsten mechanische Beschädigungen der Photoreaktoren auftreten können.

Bei der Installation ist der für den Strahlerwechsel erforderliche Platzbedarf gemäß Herstellerangabe zu berücksichtigen.

Die Photoreaktoren sind spätestens nach der vom Hersteller angegebenen Frist für die Nutzungsdauer zu warten und Strahlungsquellen bzw. Katalysatoren zu wechseln.

## **5 Adsorptionsverfahren**

### **5.1 Aktivkohle**

#### **5.1.1 Wirkprinzipien**

Das Wirkprinzip beruht auf der Anlagerung von Wasserinhaltsstoffen an ein geeignetes Adsorbens, das zunächst in innigem Kontakt mit dem Grundwasser gebracht wird. Das beladene Adsorbens muß regeneriert oder entsorgt werden. Das Adsorbens kann in Form von Pulver oder in Form von Granulat zur Anwendung kommen, wobei sich von der Form des Adsorbens jeweils grundsätzliche Unterschiede in der Ausführung der Verfahrensstufe und im Hinblick auf die Reststoffsituation ergeben. Die Pulverform zeichnet sich durch ein sehr großes Oberflächen- zu Volumenverhältnis aus, die Granulatform durch günstigere Eigenschaften im Hinblick auf Abtrennung und Wiederaufbereitung.

Bei Anwendung des Adsorbens in Pulverform wird in aller Regel zunächst eine Suspension angesetzt, diese wird dem Wasser zudosiert und anschließend wird das Adsorbens abgetrennt. Die Adsorption findet somit in einem Mischbecken (Rührkessel) statt. Die Beladung des Adsorbens entspricht der Ablaufkonzentration des Wassers.

Die Abtrennung des Adsorbens kann durch Fällung/Flockung/Sedimentation, alternativ Flotation, zusammen mit Metallsalzen durchgeführt werden. Von Vorteil ist, dass eher schlecht adsorbierbare polare Inhaltsstoffe durch die Fällung/Flockung abgetrennt werden, so dass mit verhältnismäßig geringem Einsatz an Adsorbens eine gute Eliminationsleistung sowohl unpolarer als auch polarer Inhaltsstoffe zu erzielen ist. Grundsätzlich ist aber auch eine Abtrennung des Adsorbens durch Flotation oder Filtration meist in Kombination mit einer Flockung denkbar.

Im Hinblick auf die Eluierbarkeit des Adsorbens gilt, daß eine Desorption der adsorbierten Schadstoffe in das Eluat allenfalls bis zu der Konzentration stattfinden kann, die im Ablauf der Adsorptionsstufe vorliegt. Das heißt, daß das Eluat im ungünstigsten Fall die Konzentrationen aufweisen kann, die auch im Ablauf der Wasserbehandlung auftreten.

Bei Anwendung des Adsorbens als Granulat bzw. Extrudat werden üblicherweise Einschichtfilter eingesetzt. Durch das Hintereinanderschalten mehrerer Filter mit in Fließrichtung abnehmender Beladung kann bei hoher Ablaufqualität gleichzeitig eine hohe Beladung des Adsorbens erreicht werden. Bei einem Anstieg der Konzentrationen im Ablauf wird die erste Filterstufe entleert, frisch mit Adsorbens beschickt und als letzte

Filterstufe geschaltet. Es wird somit das beladene Adsorbens der ersten Stufe entsorgt und frisches Adsorbens am Ende zugeschaltet, so dass wieder optimale Ablaufwerte erreicht werden.

Als Adsorbens zur Entfernung unpolarer AOX-Verbindungen und unpolarer nicht oder schwer abbaubarer CSB-verursachender Stoffe aus Grundwasser hat sich in der Praxis vorwiegend Aktivkohle bewährt. Alternativ zur Aktivkohle wurde auch schon Braunkohle eingesetzt. Braunkohlekoks ist preiswerter, aber die Adsorptionsleistung ist geringer, so dass Einsatz und Entsorgung erheblich aufwändiger sind. Andere Adsorbentien wie Aktivtonerden, Adsorberharze u.a.m. haben sich zur Reinigung von Grundwasser bisher nicht bewährt.

Eine Reaktivierung von Pulverkohle ist nicht möglich.

Granulierte Aktivkohle wird üblicherweise in Abhängigkeit von der Art und Menge der Beladung thermisch reaktiviert. Dabei entsteht ein gewisser Abbrandverlust. Bei Beladung mit Problemstoffen wird die Aktivkohle verbrannt.

### 5.1.2 Grundlagen der Dimensionierung von Adsorptionsanlagen

Zielsetzung der adsorptiven Grundwasserbehandlung ist die Entfernung der adsorbierbaren organischen Halogenkohlenwasserstoffe (AOX), wie z.B. Chlorphenol, Trichlorethen, polychlorierte Biphenyle (PCB), perfluorierte Tenside (PFT) und des refraktären CSB sowie die Entfernung von Kohlenwasserstoffen, wie z.B. BTX-Aromaten (Benzol, Toluol, Xylol) Als weitere Zielsetzung der adsorptiven Grundwasserbehandlung ist die Entfernung von Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmitteln (PBSM) sowie Spurenstoffen allgemein zu nennen.

Der Bedarf an Adsorbens kann überschlägig durch die Aufnahme von Adsorptionsisothermen abgeschätzt werden. Auf diese Art und Weise kann auch das geeignetste Adsorbens ermittelt werden, wobei dies allerdings streng genommen jeweils nur für die untersuchte Momentansituation gilt.

Im Folgenden sollen einige Auslegungskriterien für Aktivkohlefilter ( AKF) genannt werden.

Für das Verhältnis von Durchmesser zu Höhe von AKF gibt es keine starren Regeln. Bei geschlossenen Behältern dominieren schlanke Bauweisen mit  $D:H= 1:1$  bis  $1:3$ ; offene Beton-Filter weisen bei oft großen Flächen Schichthöhen von  $1,5 - 2,5$  m auf.

Generell werden AKF nach ihrem Kohlevolumen ( $m^3$ ) charakterisiert. Für die Festlegung dieses Volumens sind der zu reinigende Volumenstrom und die für die Reinigung erforderliche Kontaktzeit wesentlich. Darüber hinaus spielen der Aktivkohlebedarf und die Anpassung des Kohlevolumens an Transportmöglichkeiten eine große Rolle. In der Praxis wird ausschließlich die theoretische Kontaktzeit verwendet, die sich aus dem auf das leer gedachte Festbettvolumen bezogenen Volumenstrom errechnet.

Als typische Kontaktzeiten findet man in der Praxis:

- Geruchs- und Geschmacksverbesserung Trinkwasser: 10 – 20 min.
- Mikroverunreinigungen aus Grundwasser: 20 – 40 min.
- Mikroverunreinigungen aus Oberflächenwasser: 30 – 60 min.
- Abwässer (z. B. Deponien): 60 – 300 min.

Üblicherweise besitzen Aktivkohlen eine Jodzahl von größer/gleich 900 mg/g Aktivkohle sowie eine BET-Oberfläche von größer gleich  $900 m^2$  pro g Aktivkohle. Beide Messgrößen dienen zur Beurteilung der Eigenschaften von Aktivkohlen.

Bei Einsatz von pulverförmiger Aktivkohle kann im Zusammenhang mit Fällung/Flockung/Sedimentation, alternativ Flotation in aller Regel von einem Bedarf an Aktivkohle im Bereich bis  $30 g/m^3$  ausgegangen werden. Der Adsorptionstank sollte zur Verbesserung der Adsorptionsleistung belüftet sein und für geeignete Aufenthaltszeiten ausgelegt sein.

### 5.1.3 Hinweise zur Ausrüstung von Adsorptionsanlagen

#### 5.1.3.1 Adsorption mit pulverförmiger Aktivkohle

Für die Lagerung der pulverförmigen Aktivkohle sollten Siloanlagen vorgesehen werden. Die einschlägigen Ex-Schutzbestimmungen sind zu beachten.

Aufgrund der geringen Benetzbarkeit der Aktivkohleoberflächen ist den Dosieranlagen besondere Aufmerksamkeit zu widmen.



Üblicherweise werden 2 bis 4 %-ige Suspensionen eingesetzt. Die Adsorptionsbecken oder -tanks sollten durch Belüftung und/oder Rührwerken umgewälzt werden. Es ist darauf zu achten, dass sich keine Ablagerungen bilden.

Bei der Ausrüstung ist zu beachten, dass Aktivkohlesuspensionen und Aktivkohleschlämme extrem abrasiv sind.

### **5.1.3.2 Adsorption mit Aktivkohlegranulat**

Der Aktivkohlefiltration sollte ein rückspülbarer Kies- oder Membranfilter zur Feststoffabtrennung, falls erforderlich, vorgeschaltet sein.

Die einzelnen Filterstufen einer Aktivkohlefiltration sind so zu schalten, dass sie in beliebiger Reihenfolge unter Umfahrung einzelner Stufen betrieben werden können. Es ist dafür zu sorgen, dass ein Adsorbensaustausch in den einzelnen Stufen möglichst einfach durchgeführt werden kann.

### **5.1.4 Erfahrungen**

Als Adsorptionsstufen zur Grundwasserreinigung werden größtenteils Festbettadsorber eingesetzt. Die einfache, sichere Betriebsweise und die Möglichkeit zur Reaktivierung der beladenen Aktivkohle haben sich durchgesetzt.

Nach erfolgter Wasseranalyse kann der Aktivkohleverbrauch bzw. die Standzeit eines Aktivkohlefilters recht zuverlässig abgeschätzt werden. Hilfreich können auch Laborversuche sein.

## **5.2 Polymere Adsorberharze**

Polymere Adsorberharze bilden eine einheitliche Klasse von Produkten da es möglich ist aus einem bestimmten chemischen System, z. B. der Styrol-Divinylbenzolklasse ein grosses Angebot an Porenstrukturen abzuleiten. Solche Adsorberharze sind mit Oberflächen von 30 – 800 m<sup>2</sup>/g und Porendurchmessern zwischen 5 – 100.000 nm erhältlich. Die Oberflächen der polymeren Adsorberharze verfügen über einheitliche chemische Strukturen, die durch den Herstellungsprozess anwendungsspezifisch beeinflusst werden können.

### **5.2.1 Adsorptions-Prinzip der Adsorberharze**

Eine der wichtigsten Eigenschaften der Adsorberharze ist ihre Vielzahl an verschiedenen Oberflächengrößen. Das Phänomen der Adsorption auf feste Körper beruht unter anderem auf den Van-der-Waals'schen Bindungskräften, die das Adsorbat an eine feste Oberfläche binden. Dazu kommen Wechselwirkungen, wie z. B. die Wasserstoff-Brückenbindung. Es ist nicht möglich, das Ausmass der Adsorption eines Stoffes an ein ganz bestimmtes Adsorberharz genau vorherzusagen. Jedoch kann man grundsätzlich davon ausgehen, dass hydrophobe oder nichtpolare Moleküle oder Teile von Molekülen von hydrophoben Oberflächen angezogen werden, und dass hydrophile oder polare Stoffe von hydrophilen oder polaren Oberflächen angezogen werden.

Stellt man sich jedes organische Molekül mit einem hydrophoben und einem hydrophilen Ende vor, so wird das hydrophobe Ende von hydrophoben Adsorberharzen adsorbiert. Das trifft besonders bei einer Adsorption aus wässrigen Lösungen zu. Die Adsorberharze mit einer intermediären Polarität können beide anziehen, entweder die hydrophobe oder die hydrophile Seite eines Moleküls. So wird man finden, dass diese Adsorberharze in beiden Fällen gut funktionieren, beim Adsorbieren hydrophober Stoffe aus Wasser und hydrophiler Stoffe aus nichtpolaren Medien. Z.B. können diese Materialien entweder aus Wasser oder aus Hexan adsorbieren, indem die Adsorption durch eine Assoziation mit dem hydrophoben Benzol-Ring während der Adsorption aus Wasser und dem hydrophilen Hydroxyl-Teil während der Adsorption aus Hexan geschieht. Ein hochpolares oder hydrophiles Adsorbens ist normalerweise am geeignetsten für die Adsorption polarer oder hydrophiler Stoffe aus nichtpolaren Lösungsmitteln.

### **5.2.2 Polarität, Porengrösse und Oberfläche**

Die Adsorberharze können bezüglich ihrer Polarität nach der Stärke des Dipolmoments der jeweiligen aktiven Oberfläche geordnet werden (siehe Spezifikation der Adsorberharzhersteller).

Ein zweites wichtiges Charakteristikum der Adsorberharze ist ihre Porengrösse. Der Porendurchmesser des Adsorbens muss gross genug sein, um dem Adsorbat die Diffusion in das Innere des Harzpartikels zu ermöglichen. Dabei muss beachtet werden, dass die spezifizierten durchschnittliche Porengrößenwerte an trockenen Harzmustern ermittelt wurden, so dass die Porenverteilung der gequollenen Form unterschiedlich sein kann.

Eine weitere wichtige Eigenschaft des Adsorbens ist seine spezifische Oberfläche. Bei einem Adsorbens mit gleicher Porosität nimmt die Quantität des theoretisch adsorbierbaren Teiles mit der Zunahme der Oberfläche zu. Das Verhältnis zwischen der Oberfläche und der Porengrösse ist ein umgekehrtes, d.h. die Adsorberharze mit der kleineren Porengrösse haben die grössere Oberfläche. wie gesagt, ist also die Porengrösse für die Auswahl eines Adsorbens für einen bestimmten Trennungsvorgang sehr wichtig.

### 5.2.3 Regeneration der Adsorberharze

Der hauptsächliche Unterschied zwischen den Adsorptionseigenschaften polymerer Adsorberharze und Aktivkohle besteht darin, dass die ersteren eine geringere Bindungsaffinität besitzen. Während die Bindung mit Aktivkohle oft irreversibel ist, ist die Regeneration von Adsorberharzen mit Säuren, Basen, mit in Wasser mischbaren Lösungsmitteln, Heisswasser oder Dampf sehr erfolgreich. Das ermöglicht oft die Isolierung, Separation und Reinigung organischer Komponenten aus allen Arten von Lösungen. Wegen der engen Netzstruktur des polymeren Adsorbens ist ein Anschwellen oder Zusammenschrumpfen während der Beladung oder Regenerierung, entweder sehr geringfügig oder überhaupt nicht vorhanden. Deshalb besitzen diese Harze eine ausgezeichnete physikalische Stabilität, und im Säulenbetrieb tritt somit ein nur unwesentlicher Abrieb auf. Adsorberharze sind wie Ionenaustauscharze unlöslich in Wasser.

### 5.2.4 Die Wahl des Regeneriermittels

Um ein Adsorbens wirksam anwenden zu können, muss das adsorbierte Material völlig eluierbar sein. Das kann auf verschiedene Weise erfolgen, wie aus Tabelle 4 ersichtlich wird.

**Tabelle 4 – Regeneriermittel für Adsorberharze**

1. Methanol oder andere Lösungsmittel	meist sehr erfolgreich
2. Lauge	schwache Säuren
3. Säuren	schwache Basen
4. Heißwasser oder Dampf	flüchtige Stoffe

Bei den meisten Adsorberharzen genügt ein geeignetes organisches Lösungsmittel. Es sollte ein Mittel sein, das das adsorbierte Material gut herauslöst, und das mit der Oberfläche des Adsorbens in Wechselwirkung steht (z.B. Phenol regeneriert mit Methanol). Polare Lösungsmittel wie Aceton, Methanol oder Isopropanol sind gute Lösungsmittel für hydrophobe Substanzen. Ein Grossteil des Lösungsmittels kann zurückgewonnen und für die nächste Regeneration eingesetzt werden. Regenerationen mit Lösungsmitteln können auch bei externen Regenerier-Dienstleistern durchgeführt werden.

Wenn ionisches oder potentiell ionisches Material verwendet wird, wird das zu lösende Material stärker in der nicht ionischen als in der ionischen Form adsorbiert. Deshalb werden saure Stoffe am besten aus sauren Lösungen adsorbiert und meist mit Base eluiert (z.B. Huminsäure, regeneriert mit NaOH). Umgekehrt werden natürlich basische Stoffe am besten aus basischen Lösungen adsorbiert und mit Säuren eluiert. Wenn ein Stoff von einer Lösung mit einem hohen Salzgehalt adsorbiert wird, kann man ihn oft mit Wasser eluieren. Falls es sich um einen flüchtigen Stoff handelt ist Dampf zur Eluierung geeignet (z.B. Ethylendichlorethan regeneriert mit Dampf).

### 5.2.5 Anwendung von Adsorberharzen

Für die Entfernung der folgenden Stoffgruppen aus Wasser sind Adsorberharze gut geeignet.

- Tenside
- Phenole
- BTX
- Pestizide
- Öl
- Chlorkohlenwasserstoffe (CKW)
- Farbstoffe

## 6 Membranverfahren

### 6.1 Nanofiltration (NF) / Umkehrosmose (UO)

Wie bei allen Membranverfahren erfolgt die Abtrennung der Schadstoffe bei der Nanofiltration/Umkehrosmose durch Filtration über eine halbdurchlässige (semipermeable) Membran. Durch Druckbeaufschlagung auf der Konzentratseite wird der osmotische Druck und der Membranwiderstand überwunden und unter Umkehr der natürlichen Fließrichtung teilentsalztes und von bestimmten organischen Inhaltsstoffen gereinigtes Wasser aus der konzentrierten Lösung abgepresst.

In den VDMA-Einheitsblättern 24653 und 24655 sind detaillierte Hinweise und Empfehlungen zur Planung, Projektierung, Beschaffung und Betrieb enthalten.

logarithmisch Mikrometer $\mu\text{m}$ Molekulargew. CutOff	>Rastertunnel- mikroskop	>Rasterelektronen- mikroskop	>optisches Mikroskop		>sichtbar ohne Hilfsmittel		
	Ionen	Moleküle	Makromoleküle	Mikropartikel	Partikel		
	0,001 200	0,01 20000	0,1 100000	1,0 500000	10	100	1000
	Gelöste Salze	Endotoxine Viren	Ruß Farben Pigmente Tabakrauch Gelatine Asbest	Indigo-Blau	Giardia Hefe Zellen Bakterien Kohlenstaub rote Blutkörper Getreide Mehl	Menschen Haar Flusssand	
<b>Filtrations- Prozess</b>	Umkehrosmose	Nanofiltration Ultrafiltration	Mikrofiltration	Partikelfiltration			

Hager + Elsässer GmbH, 70565 Stuttgart Ausgabe 2011

**Bild 2 – Trenngrenzen und Rückhaltevermögen von Membranverfahren**

### 6.2 Hinweise zur Ausrüstung von Membrananlagen

Hauptkomponenten einer Umkehrosmose-/Nanofiltrationsanlage sind:

- Vorbehandlung (Verhinderung von Scaling und Fouling gemäß VDMA-Einheitsblatt 24655)
- Feinfilter
- Druckpumpe
- Membranmodule
- Mess- und Steuertechnik
- sofern erforderlich Spüleinrichtung als CIP-Station

Als Druckpumpen werden mehrstufige Kreiselpumpen, Boostermodule oder Verdrängerpumpen eingesetzt.

Die Membranmodule sind in Druckrohren eingebaut, die meist aus glasfaserverstärktem Polyester gefertigt sind. Das Rohrleitungssystem ist je nach Druckstufe in Cr-Ni-Stahl und permeatseitig in Kunststoff ausgeführt.

### 6.3 Elektro-, Mess-, Steuer- und Regelungstechnik (EMSR) von Membrananlagen

Zur Überwachung und Steuerung einer NF/VO-Anlage werden folgende Einrichtungen empfohlen:

- Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)
- Durchflussmessung im Konzentrat- und Permeatstrom
- Leitfähigkeitsmessung im Permeatstrom
- Druckmessung
- Temperaturmessung
- Trübungsmessung (optional)
- pH-Wert-Messung (optional)
- Trockenlaufsicherung für die Pumpen

### 6.4 Betrieb und Wartung von Membrananlagen

Beim Betrieb einer NF/VO-Anlage ist vor allem auf den Druckverlust der Membranen zu achten. Steigt dieser an, so gibt dies einen Hinweis auf eine mögliche Verblockung. Gleichermäßen deutet ein Nachlassen des Permeatflusses auf Verblockung hin.

In der Regel können Verblockungen durch geeignete Reinigungsmaßen beseitigt oder minimiert werden, wobei die mechanische und chemische Verträglichkeit mit dem Prozessmedium und dem Reinigungsmittel zu beachten ist.

### 6.5 Entsorgung/Behandlung des Konzentrats

Der an der NF/VO-Anlage austretende Stoffstrom, in dem die abgetrennten Inhaltstoffe konzentriert im Faktor 3-10 vorliegen, wird als Konzentrat bezeichnet.

Das Filtrat oder Permeat stellt das gereinigte Grundwasser dar.

In Abhängigkeit von den Inhaltsstoffen wird das Konzentrat in einen Vorfluter oder eine kommunale bzw. industrielle Abwasserreinigungsanlage eingeleitet.

### 6.6 Erfahrungen mit Membrananlagen

NF/VO-Anlagen werden zur Entfernung von organischen Inhaltsstoffen wie z. B.

- Huminstoffen und anderen gelösten Kohlenwasserstoffen (z.B. Trinkwassergewinnung in Norwegen)
- organischen Spurenstoffen wie Arzneimittelrückständen, Röntgenkontrastmitteln PBSM, Komplexbildnern ( z.B. EDTA, NTA) etc.

eingesetzt.

## 7 Be- und Entgasungsanlagen

### 7.1 Allgemein

Be- und Entgasungsanlagen dienen u. a. zur Entfernung von anorganischen Gasen oder von leichtflüchtigen organischen Inhaltsstoffen wie z. B. Tri- und Tetrachlorethen.

Unter Gasaustausche versteht man den Übertritt von gelösten Gasen oder leichtflüchtigen Substanzen aus der wässrigen Phase in die gasförmige Phase (Desorption, Entgasung) oder umkehrt von der gasförmigen in die wässrige Phase ( Absorption, Begasung).

Die Gasaustauschreaktionen folgen den Gesetzen von Dalton und Henry.

#### Gesetz von Dalton:

Der Gesamtdruck einer Mischung an Gasen ist gleich der Summe der Teil (Partial)-drücke der einzelnen Gase in der Mischung

$$P_{\text{total}} = P_1 + P_2 + P_3 + P_n$$

Der Partialdruck eines einzelnen Gases ergibt sich aus der Molzahl des Gases im Verhältnis zur Gesamtanzahl, d. h. aus dem Volumenanteil.

Gesetz von Henry:

Die Löslichkeit eines Gases in Wasser ist direkt proportional zum Partialdruck dieses Gases in der Gasphase

$$C = P_n \times H$$

C	Konzentration in der Flüssigkeit	mg/l
P <sub>n</sub>	Partialdruck des Gases	bar
H	Henry-Koeffizient = f(T)	mg/l/bar

Der Henry Koeffizient gilt streng genommen nur für Gase die mit der wässrigen Phase keine chemischen Reaktionen eingehen und die in sehr kleinen Konzentrationen vorliegen.

**Tabelle 4 – Henry Koeffizient für verschiedene Gase (Quelle: Hager + Elsässer GmbH – 2012)**

Temperatur	°C	10	20	25	30	40	50	60	70	90
Stickstoff	mg/l/bar	23	20	18	17	15	14	13	13	12
Sauerstoff	mg/l/bar	54	44	40	37	33	30	28	26	25
Kohlendioxid	mg/l/bar	2367	1735	1503	1314	1046	854	709	599	

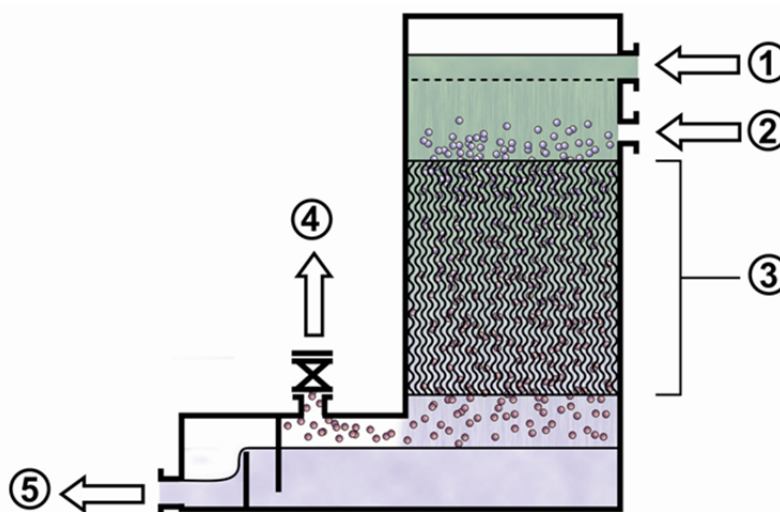
**7.2 Verfahren zur Be- und Entgasung**

Nachfolgend werden beispielhafte Ausführungen gezeigt.

**7.2.1 Profilbahnen-Riesler (Wellbahnbelüfter)**

Das zu belüftende Wasser (1) wird, unabhängig vom Gleich- oder Gegenstrombetrieb, in einer im oberen Teil der Anlage vorgesehenen Wasserverteilung (z. B. Lochblech) gleichmäßig auf den Rieselerquerschnitt verteilt (siehe Bild 3, 4).

Bei einer Belüftungsanlage, die im Wasser-Luft-Gleichstrom arbeiten soll, sind unterhalb dieser Wasserverteilung Lufteintrittsöffnungen vorgesehen. Durch diese wird die benötigte Luft (2) (Wasser: Luft etwa 1:6) selbsttätig durch das im Riesler abwärts strömende Wasser angesaugt.



**Bild 3 – Einstufige Gleichstrom-Belüftungsanlage**  
Quelle: VWS Deutschland GmbH, Krüger WABAG/Jan Koppe, Schkopau

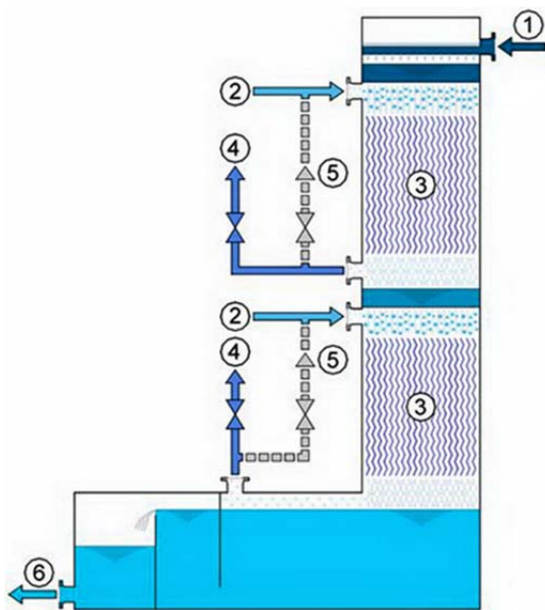
Das Wasser-Luft-Gemisch strömt dann durch die darunter angeordneten Kunststoffprofilbahnen (3), wobei ein intensiver Gasaustausch erfolgt.

Diese Kunststoffprofilbahnen sind durch ihre Formgebung für diese Stoffaustauschvorgänge besonders geeignet. Sie sind aus z. B. PVC- oder PP-Folien hergestellt, und zwar so, dass 30 mm tiefe Wellen nach beiden Seiten vorstehen. Dadurch wird die für den Stoffaustausch wichtige Oberfläche des Materials erheblich vergrößert. Die Abstände zwischen den Bahnen sind genau definiert, weil Welle auf Welle liegt. Die Wellenform bewirkt eine hohe Wasserturbulenz und somit eine sich dauernd schnell erneuernde Oberfläche zwischen Wasser und Luft.

Die Abluft (4) wird unterhalb der Rieslerbahnen aus einem mittels einer Tauchwand luftdicht abgeschlossenen Wasser-Auffangbehälter abgeführt, aus dem das aufbereitete Wasser (6) abfließt. Durch Regelung dieser Abluftmenge (5) kann man z. B. bei der CO<sub>2</sub>-Entsäuerung den Entsäuerungs-Wirkungsgrad beeinflussen.

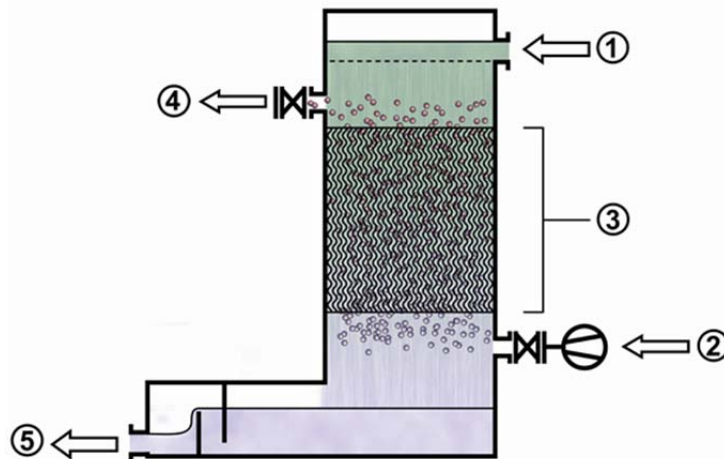
Eine Belüftungsanlage, die im zweistufigen Wasser-Luft-Gleichstrom (Bild 4) arbeitet, ist so aufgebaut, dass unterhalb einer bestimmten Rieselhöhe das Wasser-Luft-Gemisch aufgefangen, die verbrauchte bzw. beladene Luft abgeführt und unterhalb einer erneuten Wasserverteilung wieder Frischluft angesaugt werden kann. Der weitere Aufbau ist wie bei einer einstufigen Anlage. Profilbahnen-Riesler im Gleichstrombetrieb werden im praktischen Betrieb zum Sauerstoffeintrag mit 600-800 l/m<sup>2</sup>xh und zur CO<sub>2</sub>-Entgasung, in Abhängigkeit vom Rohwasser-CO<sub>2</sub>-Gehalt und dem Zielwert mit 400-800 l/m<sup>2</sup>xh, betrieben.

Bild 4 zeigt das Funktionsschema eines 2-stufigen Wellbahnbelüfters.



**Bild 4 – Zweistufiger Wellbahnbelüfter, Quelle:VWS Deutschland GmbH, Krüger WABAG**

Eine Gegenstrom-Belüftungsanlage ist im Wesentlichen wie folgt aufgebaut: Das Wasser (1) wird wie bei einer Gleichstromanlage aufgegeben und verteilt, während die benötigte Luft (2) (Masseverhältnis Wasser: Luft etwa 1:20) im Gegenstrom mittels Ventilator oder Gebläse unterhalb der Kunststoff-Profilbahnen (3) eingebracht wird. Die Abluft (4) wird hierbei unterhalb der Wasserverteilung abgeführt, das aufbereitete Wasser (5) wird abgeleitet. Auch hier ist es möglich, durch Regelung der Abluft oder auch evtl. der Frischluft den Entsäuerungs-Wirkungsgrad zu beeinflussen, Bild 5.

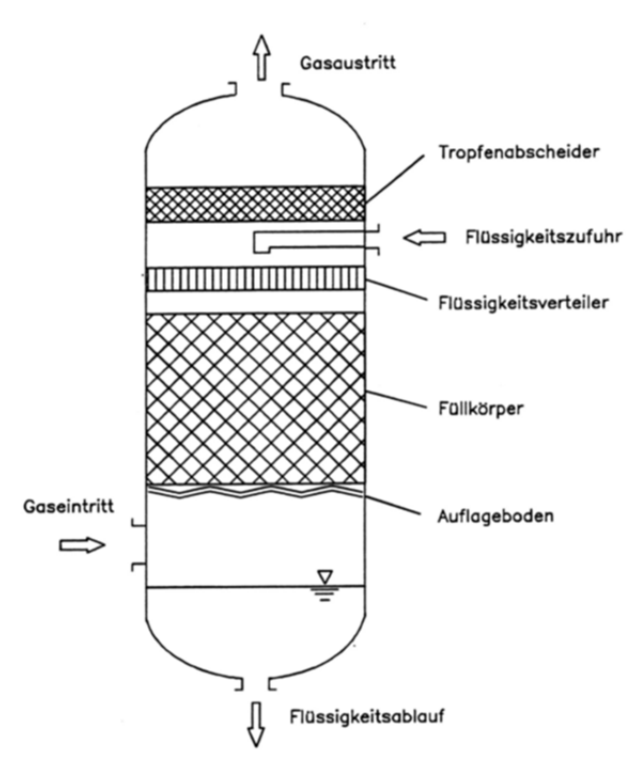


**Bild 5 – Gegenstrom-Belüftungsanlage**  
Quelle: VWS Deutschland GmbH, Krüger WABAG/Jan Koppe, Schkopau

### 7.2.2 Füllkörperriesler

Hierunter versteht man unter Normaldruck betriebene, geschlossene Behälter, die mit Füllkörpern verschiedener an die Aufgabenstellung angepasster Formgebung auf einem oder mehreren Böden aufliegend gefüllt sind und mit dem Stripppgas meist im Gegenstrom durchströmt werden, Bild 6. Als Stripppgas wird Luft, Dampf oder in Sonderfällen ein Inertgas wie Stickstoff verwendet. Unter Beachtung der Henry-Konstanten lassen sich in Abhängigkeit der Füllkörperart- und Höhe, des Gas/Wasser-verhältnisses und unter Beachtung des Flutpunktes jede gewünschte Konzentrationsänderung für CO<sub>2</sub> erreichen. Die gangbaren Flächenbelastungen liegen zwischen 50 und 150 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>x h.

Typisches Luft-Wasser-Volumenverhältnis ist 30 : 1 bis 50 : 1, Bild 6



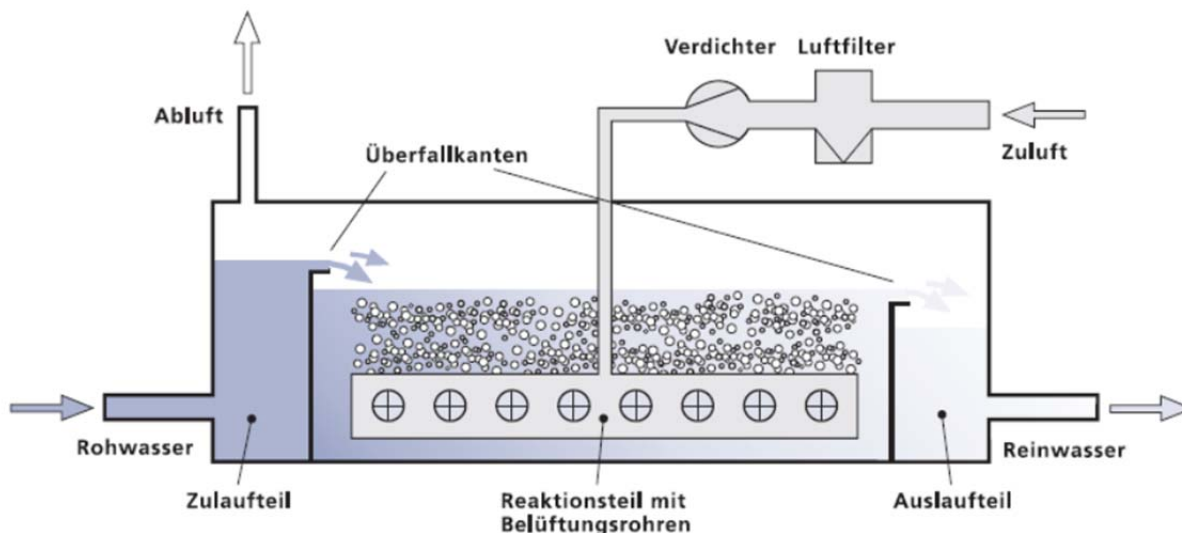
**Bild 6 – Füllkörperkolonne**  
Quelle: VWS Deutschland GmbH, Krüger WABAG/TU Dresden

### 7.2.3 Kreuzstrombelüftung

Ein weiteres Be- und Entgasungssystem, das sich vor allem anbietet, wenn wenig Höhe zur Verfügung steht, ist die sog. Kreuzstrombelüftung, Bild 7.

Das Wasser läuft z. B. über ein Lochblech oder Belüftungsrohre, die von unten belüftet werden und so die Be- oder Entgasung bewirken. Mittels Überfallkanten lässt sich der Wirkungsgrad zusätzlich zur Luftmenge beeinflussen. Typische Flächenbelastungen liegen bei  $15 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{h}$ .

Im Vergleich zu den anderen Verfahren liegt der Energiebedarf höher, bei ca.  $90 \text{ Wh}/\text{m}^3$ .



**Bild 7 – Flachbettbelüfter**

Quelle: VWS Deutschland GmbH, Krüger Wabag, Bayreuth/Aquadosil, Essen

### Erläuterungen

Dieses VDMA-Einheitsblatt wurde von Mitgliedsfirmen der Fachabteilung Wasser- und Abwassertechnik des VDMA Fachverbandes Verfahrenstechnische Maschinen und Apparate erarbeitet, mit der Zielsetzung, die Planung, Projektierung und Ausschreibung zu versachlichen, insbesondere was die Maschinen- und Anlagentechnik betrifft.

Sollten sich bei der Anwendung dieses VDMA-Einheitsblattes Hinweise oder Stellungnahmen ergeben, so bitten wir, diese an den VDMA Fachverband Verfahrenstechnische Maschinen und Apparate, Lyoner Str. 18, 60528 Frankfurt, zu richten. Diese Ausgabe ersetzt die Textfassung aus dem Jahr 1995

Bei der Überarbeitung dieses VDMA-Einheitsblattes haben mitgewirkt:

- Armin Eisenhofer, Grünbeck Wasseraufbereitung GmbH, Höchstädt
- Rolf Nagel, Hager + Elsässer GmbH, Stuttgart
- Dr. Tim Pühmeier, Xylem Watersolutions Herford GmbH, Herford
- Peter Kleinert, Oberursel
- Dr. Jürgen Koppe, MOL Katalysatortechnik GMBH, Schkopau
- Hartwig Gohr, Schweitzer-Chemie GmbH, Freiberg
- Dr. Klaus Hagen, VWS Deutschland GmbH, Celle, Bayreuth



## Literaturhinweise

- DIN 19633, *Ionentauscher, Adsorberharze und Hybridadsorber zur Wasseraufbereitung – Technische Lieferbedingungen*
- DIN EN 1085, *Abwasserbehandlung – Wörterbuch*
- DIN 4045, *Abwassertechnik Grundbegriffe*
- DIN 2000, *Zentrale Trinkwasserversorgung; Leitsätze für Anforderungen an Trinkwasser; Planung, Bau, Betrieb und Instandhaltung der Versorgungsanlagen*
- DIN EN 38402 – DIN EN 38414, *Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung*
- DIN 19627, *Ozonerzeugungsanlagen zur Wasseraufbereitung*
- DIN 31051, *Instandhaltung*
- DIN 40041, *Zuverlässigkeit, Begriffe*
- VDMA-24439, *Anlagen zur Reinigung von Deponiesickerwasser*
- VDMA 24651, *Verfahren zur Wasserwiederverwendung – Auswahlkriterien, Einsatzbereiche*
- Richtlinie 98/8/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Februar 1998 über das Inverkehrbringen von Biozid-Produkten
- Richtlinie 2010/75/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. November 2010 über Industrieemissionen (integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung) (Neufassung)
- Richtlinie 98/83/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 3. November 1998 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch
- Richtlinie 98/8/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Februar 1998 über das Inverkehrbringen von Biozid-Produkten
- Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik vom 23.12.2000 (Wasser-Rahmenrichtlinie) zuletzt durch Richtlinie 2008/105/EG vom 24.12.2008, geändert.
- Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17.05.2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG
- Richtlinie 2006/118/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Dezember 2006 zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung (Grundwasserrichtlinie)
- Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts vom 31. Juli 2009 (Wasserhaushaltsgesetz – WHG), am 1. März 2010 in Kraft getreten
- Grundwasserverordnung – GrwV Verordnung zum Schutz des Grundwassers vom 9. November 2010
- Gesetz über Abgaben für das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserabgabengesetz) in der Fassung vom 18.01.2005
- Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserverordnung - AbwV), "Abwasserverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Juni 2004 (BGBl. I S.1108, 2625), die zuletzt durch Artikel 20 des Gesetzes vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S.2585) geändert worden ist".
- Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung - TrinkwV 2001)
- Erste Verordnung zur Änderung der Trinkwasserverordnung vom 1. November 2010
- VDMA-Recht: Die Instandhaltung als produktbegleitende Dienstleistung, VDMA-Verlag 2008
- VDMA-Recht: Die Abnahme von Lieferungen und Leistungen, Reihe Focus Recht“
- BG-Chemie Merkblatt M 009, Berufsgenossenschaft Chemie
- Veolia Handbuch Wasser, Verfahrenstechnologien der Aufbereitung, 10. Auflage, Vulkan-Verlag, Essen