

VDMA 24438-3



ICS ...

Vorgesehen als Ersatz für
VDMA 24438-3:1995-04

Anlagen zur Behandlung von belastetem Grundwasser – Teil 3: Behandlung anorganischer Inhaltsstoffe

Plant for the treatment of contaminated ground water –
Part 3: Treatment of inorganic 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
- 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 23

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

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
Einleitung.....	4
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweisungen.....	6
3 Begriffe	6
4 Chemisch-physikalische Verfahren	7
4.1 Ionenaustauscher	7
4.1.1 Wirkprinzipien von Ionenaustauschern	7
4.1.2 Grundlagen der Dimensionierung von Ionenaustauschern.....	7
4.1.3 Hinweise zur Ausrüstung von Ionenaustauschern	7
4.1.4 Elektro-, Meß-, Steuer- und Regelungstechnik (EMSR) von Ionenaustauschern	8
4.1.5 Betrieb und Wartung von Ionenaustauschern.....	8
4.1.6 Entsorgung/Behandlung des Regenerats	8
4.1.7 Anwendung von Ionenaustauschern.....	8
4.2 Membranverfahren.....	9
4.2.1 Allgemeines.....	9
4.2.2 Wirkprinzipien von Membranverfahren	9
4.2.3 Grundlagen der Dimensionierung von Membrananlagen	9
4.2.4 Hinweise zur Ausrüstung von Membrananlagen	10
4.2.5 Elektro-, Meß-, Steuer- und Regelungstechnik (EMSR) von Membrananlagen.....	10
4.2.6 Betrieb und Wartung von Membrananlagen	11
4.2.7 Behandlung/Entsorgung der Konzentrate/Retentate.....	11
4.3 Fällungs- und Flockungsverfahren.....	11
4.3.1 Wirkprinzipien von Fällungs- und Flockungsverfahren	11
4.3.2 Grundlagen der Dimensionierung von Fällungs- und Flockungsverfahren.....	13
4.3.3 Hinweise zur Ausrüstung von Fällungs- und Flockungsanlagen.....	13
4.3.4 Elektro-, Meß-, Steuer- und Regelungstechnik (EMSR) von Fällungs- und Flockungsanlagen .	13
4.3.5 Betrieb und Wartung von Fällungs- und Flockungsverfahren	13
4.3.6 Erfahrungen mit Fällungs- und Flockungsverfahren	13
4.4 Sedimentationsverfahren.....	14
4.4.1 Wirkprinzipien von Sedimentationsverfahren	14
4.4.2 Grundlagen der Dimensionierung von Sedimentationsverfahren.....	14
4.4.3 Sedimentationssysteme.....	14
4.4.4 Elektro-, Meß-, Steuer- und Regelungstechnik (EMSR) von Sedimentationsverfahren	17
4.4.5 Betrieb und Wartung von Sedimentationsverfahren	17
4.4.6 Erfahrungen.....	17

4.5	Flotation	17
4.6	Filtrationsverfahren.....	17
4.6.1	Festbettfiltration	17
4.6.2	Membranfiltration (Ultra- und Mikrofiltration).....	19
5	Biologische Behandlung - Denitrifikation.....	22
	Erläuterungen	22
	Literaturhinweise.....	23

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

Dieser Teil des VDMA-Einheitsblattes befasst sich vorwiegend mit Anlagen zur Behandlung von anorganisch 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 24438:1995-04 wurden folgende wesentlichen Änderungen vorgenommen:

- Abschnitt 1 „Anwendungsbereich“ wurde um Tabelle 1 „Verfahren zur Behandlung von anorganisch belastetem Grundwasser“ ergänzt;
- Abschnitt 4.1 „Ionenaustauscher“ wurde an den Stand der Technik angepasst;
- Abschnitt 4.2 „Membranverfahren“ wurde an den Stand der Technik angepasst;
- Abschnitt 4.2.3 „Grundlagen der Dimensionierung von Membrananlagen“, Formel wurde angepasst;
- Abschnitt 4.3 „Fällungs- und Flockungsverfahren“ wurde ergänzt um Bild 1 „Fällungs-pH-Bereiche der wichtigsten Schwermetalle“;
- Abschnitt 4.4 „Sedimentationsverfahren“ wurde an den Stand der Technik angepasst und ergänzt um Bild 2 „Schlammkontaktreaktor mit Rundklärbecken“ und Bild 3 „Schlammkontaktreaktor mit Schrägklärer“;
- Abschnitt 4.5 „Flotation“ wurde neu aufgenommen;
- Der frühere Abschnitt „Biologische Verfahren – Anoxische Verfahren“ wurde überarbeitet und gekürzt. Details zu „Fließbett“, „Rotierendes Festbett“ und „Abstromwirbelbett“ sind nicht mehr aufgeführt, da diese Verfahren bei der Behandlung von Grundwasser wenig Verbreitung finden.
- Literaturhinweise wurden angepasst.

Einleitung

Dieses VDMA-Einheitsblatt dient als Anhaltspunkt und bietet einen Überblick zur Beurteilung von Anlagen zur Behandlung von belastetem Grundwasser. 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 Anlagen 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. Sauerstoffbasierte Oxidationsverfahren zur Enteisung/Entmanganung mittels Luft, Ozon, Kaliumpermanganat werden in diesem Einheitsblatt nicht im Detail behandelt.

Tabelle 1 – Verfahren zur Behandlung von anorganisch belastetem Grundwasser

Verfahren	Ionentausch	Umkehrosmose	Fällung/Flockung	Sedimentation/Flotation	Filtration
Prinzip	Ionentausch an entgegengesetzt geladenen aktiven Gruppen	Selektiver Wasserdurchtritt durch Membranen unter Zurückhaltung von Salzen	Bildung schwerlöslicher Stoffe (Fällung) und Zusammenlagerung derselben (Flockung)	Stofftrennung nach Fallgeschwindigkeit bei der Sedimentation bzw. Aufschwimmen der Feststoffe durch anhaftende feinste Gasblasen bei der Flotation.	Stofftrennung nach Teilchengröße, bei der die abzutrennenden Teilchen größer sind als der Porendurchmesser in der Filterschicht
Zielprodukte	Wasser mit einer deutlich verminderten Belastung an unerwünschten Ionen (z. B. Uran, Arsen, Nitrat)	entsalztes Wasser	Wasser mit einer deutlich verminderten Belastung an unerwünschten Stoffen	Wasser mit vermindertem Feststoffgehalt	Wasser mit vermindertem Trübstoffgehalt
Restprodukte	mit unerwünschten Ionen belastetes Ionentauscherharz und/oder Regenerierabwasser	Abwasser mit erhöhtem Salzgehalt	Fällungs- / Flockungsprodukte mit unerwünschten Stoffen	Schlamm	Filterspülabwasser
Berechnungsgrundlage	Massenwirkungsgesetz und Ladungsdichte	Osmotischer Druck	Zeta-Potenzial und Gesetzmäßigkeiten der Koagulation/Adsorption	STOKES'sches Gesetz (Sedimentation). Eintrag der Menge an feinsten Gasblasen entsprechend der abzuscheidenden Feststofffracht (Flotation)	HAGEN-POISSEUILLE'sches Gesetz
Anwendungsbereich	Abtrennung unerwünschter Ionen	Entfernung und Aufkonzentrierung unerwünschter Salze	Abtrennung unerwünschter Stoffe	Abtrennung unerwünschter Stoffe aus vorgeschalteten Prozessstufen (z.B. Fällung/Flockung)	Behandlung von Fällungs- / Flockungsprodukten und / oder Schlamm

ANMERKUNG: Alle in dieser Tabelle aufgeführten Verfahren verursachen Restprodukte, die ggf. einer sachgerechten Behandlung zu zuführen sind. Für die weitergehende Betrachtung von Flotations- und Membranverfahren wird auf die VDMA-Einheitsblätter 24430, 24653 und 24655 verwiesen.

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 Aggregation kleiner Teilchen.
- 3.6 Filtration**
Filtration ist ein Verfahren zur Trennung oder Reinigung eines Mediums, meist einer Suspension oder eines Aerosols.
- 3.7 Ionenaustauscher**
Ionenaustauscher sind quellbare, aber wasserunlösliche Polymere, die substituierte ionenaktive Gruppen enthalten.
- 3.8 Membranverfahren**
Verfahren zur Entfernung von feinsten Partikeln bis hin zu gelösten Stoffen aus Wasser oder Abwasser mittels eines auf einer Stüttschicht aufgebrauchten sehr feinen Filters
- 3.9 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.
- 3.10 Flotation**
Trennverfahren, bei dem in Wasser dispergierte oder suspendierte Stoffe durch anhaftende Gasblasen an die Wasseroberfläche transportiert und dort mit einer Räumrichtung entfernt werden.

4 Chemisch-physikalische Verfahren

4.1 Ionenaustauscher

4.1.1 Wirkprinzipien von Ionenaustauschern

Ionenaustauscher sind quellbare, aber wasserunlösliche Polymere, die substituierte ionenaktive Gruppen enthalten. Sie sind in der Lage, Ionen aus einer Lösung aufzunehmen und äquivalente Mengen gleichgeladener Ionen an diese abzugeben. Durch eine Regeneration der beladenen Ionenaustauscher ist es möglich, die Austauscherharze nahezu beliebig oft einzusetzen. Die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Ionenaustauscher werden durch folgende Größen charakterisiert:

- Festionenkonzentration (austauschaktive Gruppen)
- Vernetzung (Mikroporosität)
- Makroporosität
- Art der Festionen
- Art der Harzmatrix

In Abhängigkeit von der Art der eingesetzten Festionen unterscheidet man zwischen

- schwach sauren Kationenaustauschern
- stark sauren Kationenaustauschern
- schwach basischen Anionenaustauschern
- stark basischen Anionenaustauschern.

4.1.2 Grundlagen der Dimensionierung von Ionenaustauschern

Um Ionenaustauschanlagen auslegen zu können, sollten dem Planer folgende Daten bekannt sein:

- Volumenstrom
- Herkunft und Zusammensetzung des eingesetzten Rohwassers
- Verwendungszweck und geforderte Qualität des aufbereiteten Wassers
- Art und Qualität der Regeneriermittel
- Entsorgung von Abfallstoffen und Regeneraten
- Aufstellungsort und Platzverhältnisse

Anhand der Wasseranalyse wird die erforderliche Harzmenge als Quotient aus der relevanten Ionenkonzentration und der nutzbaren Kapazität des eingesetzten Harzes ermittelt. Unter Berücksichtigung des zulässigen Druckverlustes und der Harzschichthöhe kann dann der Behälterdurchmesser bestimmt werden. Bewährt haben sich Harzschichthöhen zwischen 0,8 m bis 2,5 m. Die Beaufschlagungsgeschwindigkeit des Harzes sollte < 40 m/h sein, abhängig von der Problemstellung und der Art der Regeneration.

Bei der Auslegung der Anlage sollte darauf geachtet werden, daß die Regeneriermittel so angesetzt werden, daß sich z.B. bei Vollentsalzungsanlagen (VE-Anlagen) die abfließenden Überschüsse an Säure und Lauge gegenseitig neutralisieren.

4.1.3 Hinweise zur Ausrüstung von Ionenaustauschern

Damit eine Ionenaustauschanlage kontinuierlich und störungsfrei arbeiten kann, muß sie mindestens über folgende Anlagenkomponenten verfügen:

- Austauscherkolonnen für jede zum Einsatz kommende Ionenaustauscherart, sofern nicht kontinuierlich arbeitende Kolonnen oder Mischbettfilter eingesetzt werden
- Regenerierstation (nur bei vor Ort Regeneration)
- Chemikalienlager optional
- Abwasserneutralisation optional

Wegen der mechanischen und chemischen Beanspruchungen ist es vorteilhaft, wenn die Ionenaustauscherkolonnen aus beschichtetem Stahl oder druck- und chemikalienbeständigem Kunststoff, z. B. GfK gefertigt sind.

An den Austauscherkolonnen müssen Anschlußmöglichkeiten für die Zu- und Abführung des zu behandelnden Wassers, Regeneriermittels, Regenerats, Spül-, Verdrängungs- und Waschwassers vorhanden sein. Zusätzlich sind Entlüftungsvorrichtungen im oberen Raum der Kolonnen und unterhalb der Düsenböden sowie Öffnungen für die Reinigung und Befüllung der Kolonne erforderlich. Schaugläser in Höhe der Harzschüttung sind ebenso empfehlenswert wie Probenahmestellen am Ablauf aller Kolonnen.

4.1.4 Elektro-, Meß-, Steuer- und Regelungstechnik (EMSR) von Ionenaustauschern

Für die Überwachung und Steuerung der Anlage sollten folgende Einrichtungen vorhanden sein:

- Durchflußmessungen für Rohwasser- und Regenerierflüssigkeit
- Druckmessung Manometer an der Zulaufseite aller Kolonnen
- Leitfähigkeitsmessung
- pH-Messung
- Temperatur

4.1.5 Betrieb und Wartung von Ionenaustauschern

Beim Betrieb von Ionenaustauscheranlagen ist vor allem auf folgende Punkte zu achten:

- Die Temperatur sollte, falls erforderlich, überwacht werden, um die zulässigen Werte nicht zu überschreiten.
- Der Druckverlust als Indiz für Feststoffablagerungen sollte gemessen werden.
- Es sollte kein freies Chlor auf die Austauscher gebracht werden.
- Das Auswasch-, Regenerier- und Spülverhalten sollte beobachtet werden, um evtl. Änderungen zu erkennen und ggf. die Harze zu behandeln.
- Die Rohwasserqualität muß überwacht werden, um die Laufzeiten richtig einzustellen.
- Die Harze selbst sollten durch Probenahme in gewissen Zeitabständen z.B. auf Fe-, Mn-Ablagerungen oder organische Rückstände sowie auf mechanische Stabilität untersucht werden.

4.1.6 Entsorgung/Behandlung des Regenerats

Werden zur Entfernung von unerwünschten Inhaltsstoffen im Grundwasser Ionenaustauscher eingesetzt, so entstehen neben dem sauberen Wasser auch Regenerate, in denen die ausgetauschten Stoffe enthalten sind. Die Konzentration der verschiedenen Inhaltsstoffe liegt je nach Verfahren um ein vielfaches höher als in dem ursprünglichen belasteten Grundwasser.

Die Entsorgung des Regenerats ist abhängig von der Konzentration und der Art der Inhaltsstoffe und ist entsprechend zu klären.

4.1.7 Anwendung von Ionenaustauschern

4.1.7.1 Nitrat- und Sulfatentfernung (zur Trinkwasseraufbereitung aus Grundwasser)

Ionenaustauscher zur Behandlung von belastetem Grundwasser werden beispielsweise zur Entfernung von Nitraten und Sulfaten eingesetzt.

Das Verfahrensprinzip basiert z. B. auf einem Mischbett aus stark basischen Anionenaustauscherharzen und schwach sauren Kationenaustauscherharzen, die gemeinsam mit Kohlenstoffdioxid regeneriert werden. Neben der Reduzierung des Nitrat – und Sulfatgehaltes findet eine Reduzierung der Härte und des Chloridgehaltes statt.

Weiterhin können nitratselektive stark basische Anionenaustauscher in der Chloridform eingesetzt werden. Diese tauschen Nitrat gegen Chlorid aus. Die Chloridkonzentration im aufbereiteten Wasser ist entsprechend erhöht.

Die Ionenaustauscher werden nach der Beladung vor Ort mit Natriumchlorid regeneriert.

4.1.7.2 Schwermetallentfernung

Schwermetalle wie Kupfer, Vanadium, Blei, Nickel, Zink, Kobalt und Cadmium können mittels schwach sauren makroporösen Selektivionenaustauschern mit chelatbildenden Iminodiessigsäure-Gruppen aus Grundwasser entfernt werden. In Anwesenheit von starken Komplexbildnern wie EDTA oder NTA werden Schwermetalle nicht aufgenommen. In Anwesenheit von Cyanid wird nur Cadmium aufgenommen. Sehr hohe Konzentrationen an Calcium oder verschiedene Tenside können den Prozess stören.

Selektivaustauscher können mit Säure regeneriert und mit Natronlauge konditioniert werden. Die Regeneration kann vor Ort oder in speziellen Regenerieranlegern extern erfolgen.

4.1.7.3 Quecksilberentfernung

Quecksilber kann sehr gut mit Selektivionenaustauschern, die chelatbildende Thioharnstoff-Gruppen tragen, entfernt werden. Um festzustellen, ob der Prozess durch weitere Wasserinhaltsstoffe gestört wird, ist es empfehlenswert, Vorversuche mit Originalwasser im Labor durchzuführen.

Eine Regeneration vor Ort wird in der Regel nicht durchgeführt. Es ist üblich, den Austauscher nach der Beladung zu entsorgen.

4.1.7.4 Chromat-, Uran- und Cyanidentfernung

Chromate, Uran und freie oder komplexierte Cyanide lassen sich gut mit schwach oder stark basischen Austauschern in der Basen- oder Salzform entfernen.

Die Regeneration erfolgt z.B. mit Natronlauge entweder vor Ort, oder extern in spezialisierten Regenerierstationen.

4.2 Membranverfahren

4.2.1 Allgemeines

Grundsätzlich handelt es sich bei Membranverfahren um Filtrationsprozesse, bei denen das Rohwasser in ein schadstoffreiches Konzentrat und ein schadstoffarmes Permeat getrennt wird. Je nach Art und Größe der abzuscheidenden Stoffe werden zur Reinigung anorganisch belasteter Grundwässer vor allem folgende Verfahren eingesetzt:

- Nanofiltration
- Umkehrosmose

4.2.2 Wirkprinzipien von Membranverfahren

Wie bei allen Membranverfahren erfolgt die Abtrennung der Schadstoffe bei der Nanofiltration und Umkehrosmose durch Filtration über eine halbdurchlässige (semipermeable) Membran. Durch Druckbeaufschlagung auf der Konzentratseite wird der osmotische Druck überwunden und unter Umkehr der natürlichen Fließrichtung, reines Wasser aus der konzentrierten Lösung abgepreßt.

Bei der Umkehrosmose werden Lösungs-Diffusions-Membranen eingesetzt. Es handelt sich dabei um homogene Membranen, die aus hydrophilen Polymeren bestehen. Die Selektivität der Membranen beruht im wesentlichen auf den verschiedenen Diffusionskoeffizienten und Konzentrationen der Komponenten in der Polymermatrix.

Das Wirkprinzip der Nanofiltration entspricht im wesentlichen dem der Umkehrosmose, jedoch liegt hier eine ausgeprägte Ionenselektivität im Hinblick auf ein- oder mehrwertige Ionen vor. Salze mit einwertigen Anionen können die Membran in hohem Maße (allerdings nicht ungehindert) passieren, während Salze mit mehrwertigen Anionen (z.B. Sulfate, Carbonate) zurückgehalten werden. Die Permeabilität eines Salzes wird somit durch die Wertigkeit des Anions bestimmt.

Die Ionenselektivität der Nanofiltration basiert auf negativen Ladungsgruppen auf bzw. in der Membran.

4.2.3 Grundlagen der Dimensionierung von Membrananlagen

Zur Abtrennung niedermolekularer Stoffe vom Lösungsmittel Wasser muß mindestens die Differenz der osmotischen Drücke zwischen Konzentrat und Permeat durch statischen Druck überwunden werden.

Wie bei allen kolligativen Eigenschaften hängt der osmotische Druck nur von der Konzentration, nicht von der Art der Moleküle bzw. Ionen ab.

Typische Druckbereiche liegen bei der Umkehrosmose bei 5 bis 15 bar und bei der Nanofiltration bei 3 bis 10 bar.

Die erforderliche Membranfläche (Anzahl der Membranmodule) lässt sich gemäß folgender Formel berechnen:

$$A = \frac{\dot{V}_p}{P}$$

A = erforderliche Membranfläche (m^2)

\dot{V}_p = Permeatvolumenstrom l/h

P = spezifische Permeatleistung $\text{l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$

Die spezifische Permeatleistung P ist abhängig vom Foulingpotenzial des zu behandelnden Wassers und wird nach empirischen Regeln bestimmt. In einigen Fällen ist die genaue Zusammensetzung des Wassers unbekannt, so daß die zur Anlagenauslegung benötigte spezifische Permeatleistung P durch Versuche ermittelt wird.

Bestimmte Substanzen im Rohwasser die zur Ausfällung neigen, wie Calciumcarbonat (CaCO_3), Bariumsulfat (BaSO_4), Strontiumsulfat (SrSO_4), Calciumsulfat (CaSO_4), Calciumfluorid (CaF_2), und Kieselsäure (SiO_2) können zu einer irreversiblen Schädigung der Membranen führen. Dies gilt auch für Foulingbildner wie Mikroorganismen, Eisen, Mangan, Trübung oder abfiltrierbare Stoffe im Wasser. Die meisten Membranen sind nicht beständig gegen starke Oxidationsmittel wie Ozon, Chlor, Chlordioxid etc. Daher ist es im Regelfall notwendig, das aufzubereitende Grundwasser einer Vorbehandlung zu unterziehen. Diese Vorbehandlung kann je nach Anwendungsfall mit bekannten chemisch/physikalischen bzw. mechanischen Verfahren wie beispielsweise der Flockung /Fällung, der Adsorption oder der chemischen Desinfektion erfolgen.

4.2.4 Hinweise zur Ausrüstung von Membrananlagen

Hauptkomponenten einer Umkehrosmose-/Nanofiltrationsanlage sind:

- Vorbehandlung (Verhinderung von Scaling und Fouling gemäß VDMA 24655)
- Feinfilter
- Druckpumpe
- Modulblock
- Meß- und Steuertechnik
- CIP-Station (sofern erforderlich)

Als Druckpumpen werden mehrstufige Kreiselpumpen, Boostermodule oder Verdrängerpumpen eingesetzt.

In der Umkehrosmose werden heute grundsätzlich asymmetrische Membranen eingesetzt. Diese Membranen sind nicht homogen zusammengesetzt, sondern aus einer dünnen Membranschicht und einer porösen Stützschiicht aufgebaut. Die Membranen werden als dünne Kapillaren oder als Flachmodule hergestellt und in Membranmodulen untergebracht. In der Grundwasseraufbereitung finden überwiegend Wickelmodule Anwendung.

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

4.2.5 Elektro-, Meß-, Steuer- und Regelungstechnik (EMSR) von Membrananlagen

Zur Überwachung und Steuerung einer Umkehrosmose-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

4.2.6 Betrieb und Wartung von Membrananlagen

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

Als Arten der Verblockung können auftreten:

- Eisenhydroxide/Mangandioxide
- Calciumcarbonat
- Calcium-, Barium-, Strontiumsulfat
- Biofouling
- Kieselsäure

Rückstände von Eisenhydroxiden und Calciumcarbonat lassen sich meist mit Zitronensäure oder verdünnter Salzsäure beseitigen.

Sulfatrückstände sind schwieriger zu entfernen, am besten noch durch Kreislaufbetrieb mit Lösungen von Komplexbildnern.

Biofouling läßt sich z.B. durch alkalische Tenside weitgehend beseitigen.

Kieselsäure läßt sich mit warmer Lauge im Kreislaufbetrieb in Lösung bringen.

Besser ist es jedoch, eine Umkehrosmoseanlage durch Wasserspülung und chemische Reinigung in definierten Abständen (abhängig von den Betriebsparametern) vor irreversiblen Verblockungen zu schützen. Sollten trotz mehrfacher Reinigung die Auslegungswerte nicht mehr erreicht werden, so müssen die Membranen ausgewechselt werden.

Einen weiteren wichtigen Parameter, der beim Betrieb zu beachten ist, stellt die Salzurückhaltung dar. Diese sollte während des Betriebs konstant bleiben bzw. nur geringfügig zurückgehen.

Hinsichtlich der Wartung gilt es vor allem, die Einsatzfähigkeit der Hochdruckpumpen zu sichern.

4.2.7 Behandlung/Entsorgung der Konzentrate/Retentate

Bei der Aufbereitung mittels Membranverfahren entstehen Stoffströme, in dem die abzutrennenden Inhaltsstoffe konzentriert vorliegen (Konzentrat).

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

4.3 Fällungs- und Flockungsverfahren

4.3.1 Wirkprinzipien von Fällungs- und Flockungsverfahren

Unter Fällung versteht man die Überführung von im Wasser gelösten Inhaltsstoffen in unlösliche Substanzen.

Beispiele für Fällungsverfahren sind:

- Oxidation von zweiwertigem Eisen oder Mangan mit nachfolgender Fällung als Eisenhydroxid ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) oder Mangandioxid (MnO_2)
- Fällung von gelösten Anionen, wie Phosphat oder Arsenat mit Eisenionen (Fe^{3+}) zu Eisenphosphat (FePO_4) oder Eisenarsenat (FeAsO_4)

- Fällung von Calciumhydrogencarbonat ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$) mit Laugen wie Calciumhydroxid/Kalkmilch ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) oder Natriumhydroxid/Natronlauge (NaOH) zu Calciumcarbonat (CaCO_3)
- Schwermetallfällung als Hydroxide
- Schwermetallfällung mit Natriumsulfid oder Organosulfid

An die Fällung kann sich eine Flockung anschließen. Dies gilt auch, wenn andere Inhaltsstoffe im Wasser vorliegen, z.B. Huminsäuren.

So weisen kontaminierte Grundwässer häufig neben dem Schwebstoffgehalt eine starke organische Verschmutzung auf, wobei die organischen Substanzen zum Teil echt gelöst, zum anderen aber auch in kolloidaler Form vorliegen. Gleiches beobachtet man bei Grundwässern in Gegenden mit moorigem Untergrund. In den meisten Fällen ist dann eine einfache Filtration über Kiesfilter nicht mehr ausreichend. Man setzt dem Wasser geringe Mengen an Fe- oder Al-Verbindungen, wie z.B. FeCl_3 , FeClSO_4 oder $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ zu. Diese Salze bilden im Wasser Flocken von Eisenhydroxid oder Aluminiumhydroxid, welche organische Substanzen oder feine suspendierte Teilchen einschließen bzw. sorbieren und somit filtrierfähig machen (Flockung).

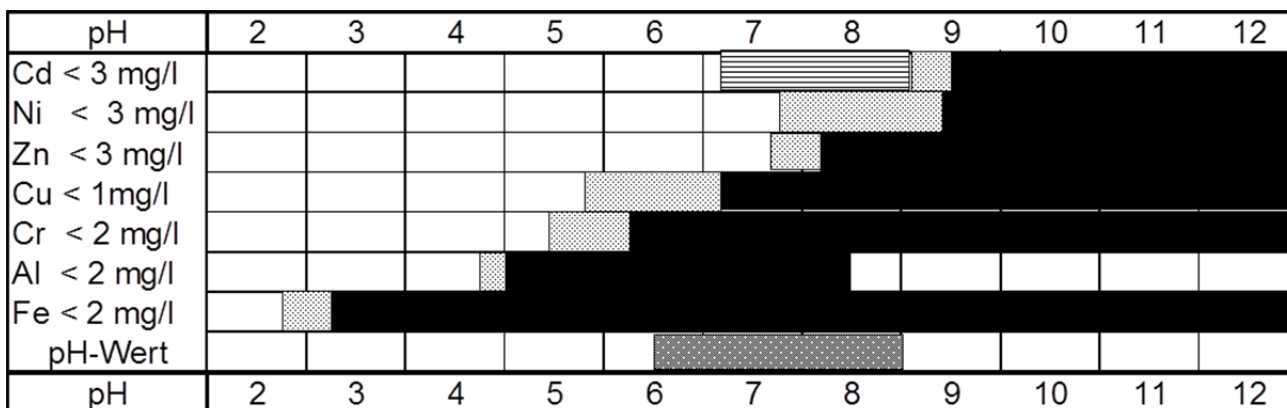
Wenn die Ansprüche an die Qualität des aufbereiteten Wassers nicht sehr hoch sind, kann die Dosierung der Flockungsmittel unmittelbar in die Rohrleitung vor einer Kiesfilteranlage erfolgen.

Die Ausflockung mit $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ verläuft am günstigsten bei einem pH-Wert von 5,5 - 6,5. carbonatarme Wässer benötigen Zugaben von Kalk, Natronlauge oder Soda, wobei die Einstellung des Flockungs-pH-Wertes mit diesen Chemikalien nach der Zugabe des Flockungsmittels erfolgt.

Werden dreiwertige Eisenverbindungen verwendet, so liegt der günstigste pH-Bereich bei ca. 5 - 7, in bestimmten Fällen auch höher. Der optimale Flockungs-pH-Wert muß (eine ausreichende Zugabemenge an Flockungsmittel vorausgesetzt) bei unterschiedlichen Wässern jeweils ermittelt werden.

Entscheidend für eine gute Flockenbildung ist das schnelle, gleichmäßige Einbringen des Flockungsmittels unter hinreichend hohem Energieeintrag (z.B. Rührwerk) sowie eine ausreichende Reaktionszeit für die Flockung, wobei auch die Wassertemperatur zu beachten ist.

An die Fällungs-/Flockungsreaktion schließen sich üblicherweise Sedimentation, Flotation und/oder Filtration an. Polymere Flockungshilfsmittel (FHM) unterstützen die Flockenausbildung.



- pH Bereiche bei denen die Löslichkeit der Metallhydroxyde bei der Fällung mit Natronlauge unter den angeführten Werten liegt
- /// Erweiterung dieser Bereiche bei der Verwendung von Kalk oder Soda zur Fällung
- ▨ Beginn der Ausfällung
- ▩ zulässiger pH-Bereich für die Abwassereinleitung

Bild 1 – Fällungs-pH-Bereiche der wichtigsten Schwermetalle
 (Quelle: Hager + Elsässer Ausgabe 2012 – nach Hartinger, Taschenbuch der Abwasserbehandlung, Band 1, Hanser Verlag 1976)

4.3.2 Grundlagen der Dimensionierung von Fällungs- und Flockungsverfahren

Folgende Daten sollten dem Planer von Fällungs- und Flockungsverfahren bekannt sein:

- Volumenstrom
- Rohwasserzusammensetzung und hier vor allem pH-Wert, Carbonathärte, Fe-, Mn-, Al-Konzentrationen, organische Inhaltsstoffe (DOC, Oxidierbarkeit, SAK 254 nm etc.)
- Temperatur, da diese eine entscheidende Auswirkung auf die Dauer der Flockungsreaktion ausübt
- Ablaufgrenzwerte
- Art und Bereitstellungsform der Behandlungskemikalien

4.3.3 Hinweise zur Ausrüstung von Fällungs- und Flockungsanlagen

Beim Bau einer Flockungsanlage sind vor allem folgende Dinge zu beachten:

- Flockungspolymere können in Pulverform oder als flüssige Emulsion bezogen werden. Geeignete Misch- und Dosierstationen sind vorzusehen.
- Gutes und schnelles Einmischen der Chemikalien wie Fe- oder Al-Salze ggf. des Flockungshilfsmittels sowie einer Chemikalie zur pH-Wert-Einstellung
- Ausreichende Reaktionszeit für die Ausbildung der Flocken unter Vermeidung von Totzonen in den Reaktionskammern, abhängig z.B. von Wassertemperatur, Rohwasserzusammensetzung und Flockungsmittel
- Schonender Transport der gebildeten Flocken in der Flockung sowie zur nachgeschalteten Stufe
- Einsatz geeigneter, regelbarer Dosierpumpen
- Geeignete Lagerung von Chemikalien, sowie richtiges Aufstellen der Dosierstationen

4.3.4 Elektro-, Meß-, Steuer- und Regelungstechnik (EMSR) von Fällungs- und Flockungsanlagen

Für die Überwachung und Steuerung der Anlage sollten folgende Einrichtungen vorhanden sein:

- Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)
- pH-Wert-Messung und ggf. pH-Wert-gesteuerte Dosierung von Säuren oder Laugen
- Durchflußmessungen für Rohwasser
- Mengenproportionale Dosierung von Flockungs- und ggf. Flockungshilfsmitteln

4.3.5 Betrieb und Wartung von Fällungs- und Flockungsverfahren

Beim Betrieb von Fällungs- und Flockungsanlagen ist vor allem durch gezielte Probenahme darauf zu achten, daß die Fällungs- und Flockungsreaktionen abgeschlossen sind.

Ferner ist in bestimmten Abständen in Leitungen und Reaktoren zu überprüfen, ob sich Ablagerungen gebildet haben.

Ein wichtiger Punkt ist weiterhin, daß vor allem die Ansetzkonzentrationen der Metallsalze nicht zu niedrig sind, da sonst vorzeitige Hydrolyse im Dosierbehälter einsetzt; bei Flockungshilfsmitteln ist eher eine niedrige Ansetzkonzentration einzustellen.

Bei der Dosierung von Chemikalien zur pH-Wert-Einstellung ist entscheidend, daß keine Schwankungen des pH-Wertes im behandelten Wasser vorliegen.

4.3.6 Erfahrungen mit Fällungs- und Flockungsverfahren

Fällungs- und Flockungsreaktionen haben sich bewährt zur Ausfällung von Eisen als $\text{Fe}(\text{OH})_3$, von Mangan als MnO_2 , von Arsenaten und Phosphaten mittels Zugabe von Fe-Salzen als FeAsO_4 und FePO_4 sowie von $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ mit Laugen zu CaCO_3 .

Flockungsreaktionen dienen der Entfernung von suspendierten Stoffen und organischen Inhaltsstoffen wie Huminstoffen durch Adsorption an den gebildeten Flocken. Bei den suspendierten Stoffen kann es sich um Tontrüben oder auch um pulverisierte Aktivkohle handeln.

4.4 Sedimentationsverfahren

4.4.1 Wirkprinzipien von Sedimentationsverfahren

Unabhängig von dem zur Sedimentation eingesetzten System oder Verfahrensprinzip arbeitet diese nach dem Prinzip der Schwerkraft. Hierbei ist die Sinkgeschwindigkeit des Teilchens entscheidend, der wiederum bei der Sedimentation die Widerstandskraft, die Auftriebskraft und die Trägheitskraft entgegenwirken.

4.4.2 Grundlagen der Dimensionierung von Sedimentationsverfahren

Folgende Daten sollten dem Planer einer Sedimentation bekannt sein:

- Volumenstrom
- Herkunft und Zusammensetzung des eingesetzten Rohwassers
- Verwendungszweck und geforderte Qualität des aufbereiteten Wassers
- Entsorgung von Abfallstoffen
- Aufstellungsort und Platzverhältnisse
- Verfügbarkeit von Chemikalien

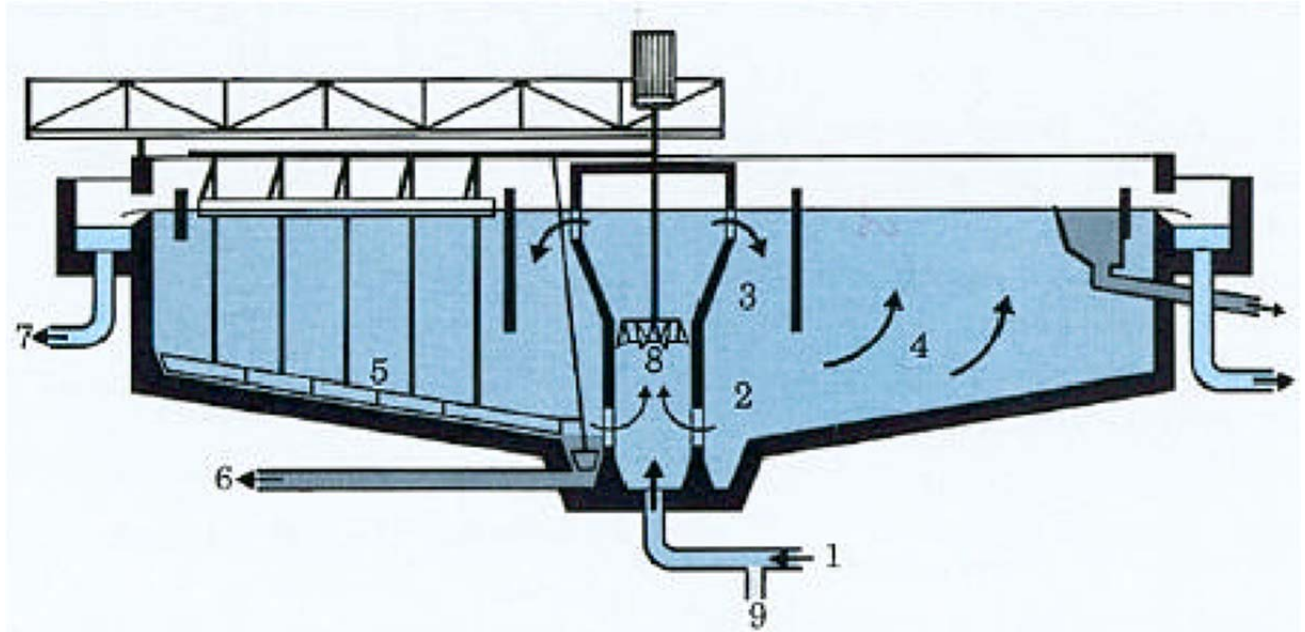
Für die Auslegung einer Sedimentation ist aufgrund der o.a. Parameter zunächst wichtig, welches System zur Sedimentation eingesetzt wird. Für alle Konstruktionen gilt, daß nur nach einer abgeschlossenen Flockungsreaktion und der Bildung einer gut sedimentierbaren Flocke eine erfolgreiche Sedimentation möglich ist.

4.4.3 Sedimentationssysteme

4.4.3.1 Absetzbecken

Hier kann es sich um Längsabsetzbecken oder um Rundklärbecken handeln (Flächenbelastungen von jeweils $0,5 - 3,0 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$). Die Entschlammung des Absetzbeckens erfolgt über Bodenräumer, mit Pumpen über Konen oder im freien Gefälle.

4.4.3.2 Schlammkontaktreaktoren mit Rundklärbecken



Legende

- 1 Rohwassereintritt
- 2 Schlammrückführung
- 3 Flockenreifung
- 4 Absetzzone
- 5 Räumern
- 6 Überschussschlamm
- 7 Klarwasseraustritt
- 8 Mischturbinen
- 9 Chemikalieneintritt

Bild 2 – Schlammkontaktreaktor mit Rundklärbecken
(Quelle: Hager + Elsässer Ausgabe 2012, Degrémont Water Treatment Handbook Band 2, Lavoisier Publishing 1991)

Das Prinzip dieser Feststoffabtrennung besteht darin, daß das geflockte Wasser durch ein in der Fließgeschwindigkeit nach oben abnehmendes Schlammbett läuft. Der Überschussschlamm wird über die Schlammfallrohre im konischen Teil kontinuierlich abgezogen. Die Flächenbelastungen, bezogen auf die Oberfläche, liegen bei Hydroxidflocken i.a. bei 6 - 7 m³/m²·h, bei Flockung mit zusätzlicher Entkarbonisierung bei ca. 12 - 15 m³/m²·h.

4.4.3.3 Plattenabscheider

Das Kernstück einer Plattenabscheideranlage bildet eine Vielzahl paralleler oder äquidistanter und geneigter Absetzebenen. Der Plattenabstand beträgt im Allgemeinen 30 - 70 mm) und der Neigungswinkel im Allgemeinen 55° bis 60°. Die Länge der Platten sollte im Allgemeinen 0,5 bis 2,0 m betragen. Ein Plattenabscheider ist durch die Gestaltung des Zulaufs, der Sammelrinnen und gegebenenfalls zusätzlicher Einrichtungen so zu gestalten, dass eine annähernd gleichmäßige hydraulische Belastung aller Platten gegeben ist.

Die Oberflächenbeschickung (Q/P), bezogen auf die projizierte Fläche liegt i.a. bei 0,5 - 2 m/h gemäß folgender Gleichung nach Hazen.

$$v_s \geq Q/P \quad \text{mit} \quad Q/P = Q/n \times A \times \varphi$$

v_s = Sedimentationsgeschwindigkeit der Teilchen

Q/P = Oberflächenbeschickung (m/h)

n = Anzahl der Platten

A = Fläche einer Platte (m^2)

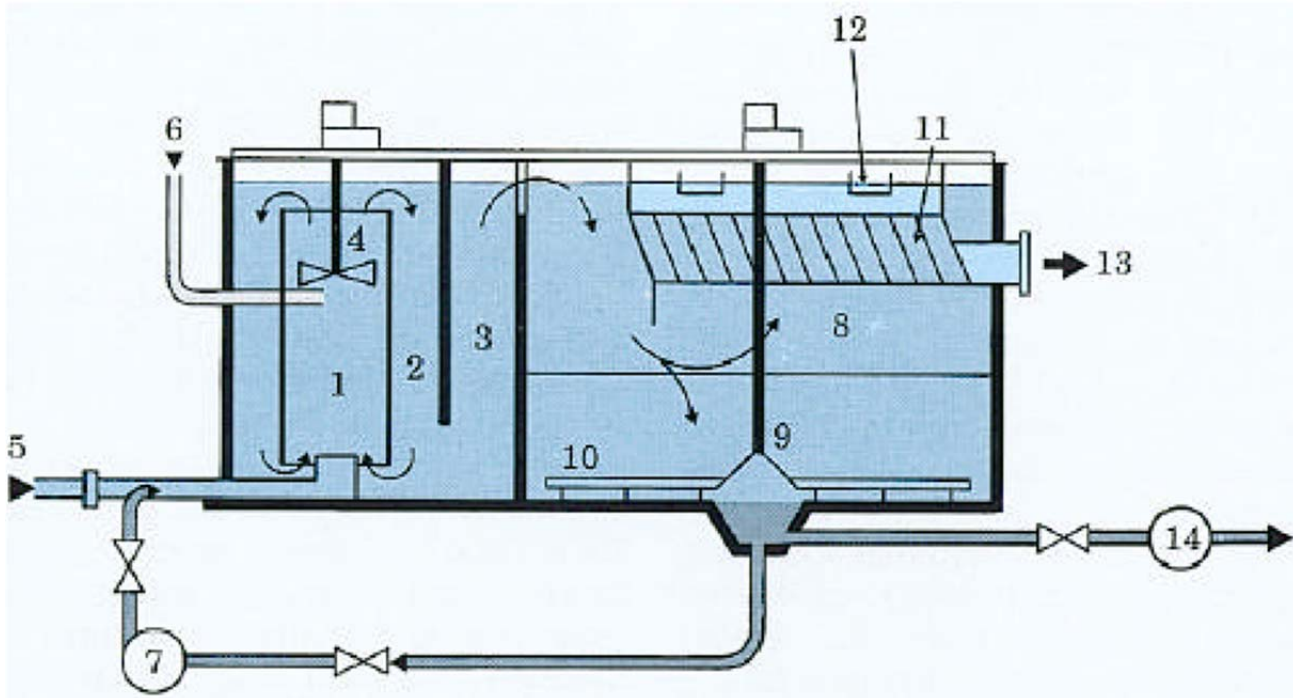
Q = Durchfluß (m^3/h)

P = Horizontal projizierte Fläche der Platten

φ = Winkel des Paketes zur Horizontalen

Hinweis: Die Formel ist in dieser Form nur für äquidistante Platten gültig.

Die Oberflächenbeschickung bezogen auf die durchströmte Grundfläche des Plattenbereichs liegt im Allgemeinen bei 8 - 20 m/h.



Legende

- 1 - 3 Flockungskammern
- 4 Mischturbinen
- 5 Rohwassereintritt
- 6 Chemikalieneintritt
- 7 Schlammrückführung
- 8 Absetzzone
- 9 Räumerradschwelle
- 10 Räumern
- 11 Wabenmodule
- 12 Klarwassersammelrinnen
- 13 Klarwasseraustritt
- 14 Überschussschlamm

Bild 3 – Schlammkontaktreaktor mit Schrägklärer
(Quelle: Hager + Elsässer Ausgabe 2012, Degrémont Water Treatment Handbook Band 2, Lavoisier Publishing 1991)

4.4.3.4 Hinweise zur Ausrüstung von Sedimentationsverfahren

Damit ein Sedimentationssystem störungsfrei laufen kann, müssen folgende Komponenten fachgerecht ausgeführt werden:

- Zulauf mit möglichst geringer mechanischer Belastung der Flocke
- Ausreichend groß gestaltete Zulaufberuhigungszone
- Schlammabzug; kontinuierlich oder diskontinuierlich, gesteuert z.B. über Zeit, Menge oder Schlamm-spiegel
- Kontaktschlamm-Rückführung
- Klarwasserablauf
- Probenahmen

Die Auswahl der Materialien der Sedimentationssysteme hängt i.a. von der Größe ab. Bei größeren Durchsätzen verwendet man Beton, bei kleineren Einheiten Stahl.

4.4.4 Elektro-, Meß-, Steuer- und Regelungstechnik (EMSR) von Sedimentationsverfahren

Für die Überwachung und Steuerung der Anlage sollten mindestens folgende Einrichtungen vorhanden sein:

- Durchflußmessungen für Rohwasser, Entschlammung und Reinwasser
- Trübungsmessung im Klarwasser

4.4.5 Betrieb und Wartung von Sedimentationsverfahren

Beim Betrieb von Sedimentationsanlagen ist vor allem darauf zu achten, daß das der Sedimentation zu-laufende Wasser optimal geflockt ist. Dies läßt sich beispielsweise durch Probenahme und Überprüfung des Absetzverhaltens im Imhofftrichter überprüfen.

Weiterhin ist das gesamte System in bestimmten Abständen auf Schlammablagerungen in der Absetzeinheit, in den Rohrleitungen und in den Meßgeräten zu untersuchen.

Dies gilt bei Plattenabscheidern insbesondere für die Platten, die abhängig von der Rohwasserqualität in bestimmten Abständen zu reinigen sind, sowie für die Reinwasserabläufe in allen Systemen.

4.4.6 Erfahrungen

Sedimentationsanlagen haben sich im Bereich der Wasseraufbereitung für die Abtrennung unterschiedlicher Schlämme bewährt.

4.5 Flotation

Für Einzelheiten zu diesem Verfahren wird auf das VDMA-Einheitsblatt 24430 „Flotation“ verwiesen. Dort finden sich sowohl Hinweise zur Auslegung und Ausrüstung, als auch detaillierte Vergleiche mit den konkurrierenden Verfahren zur Feststoffabtrennung aus Wasser (Sedimentation und Filtration) bzw. zur Schlammeindickung.

4.6 Filtrationsverfahren

4.6.1 Festbettfiltration

4.6.1.1 Wirkprinzipien der Festbettfiltration

Bei der Abscheidung suspendierter Teilchen aus einer Trübe, durch Filtration über körnigem Material (Kies, Sand, Anthrazit, Bims, A-Kohle etc.), wirken unterschiedliche Mechanismen zusammen, wie:

- Sedimentation
- Diffusion
- hydrodynamische Effekte

- Einfangmechanismen
- zwischenmolekulare Effekte
- und elektrische Kräfte

Eine mathematische Beschreibung ist nur schwer möglich. Hinsichtlich der Filtrationsarten kann zwischen der Direktfiltration und der Flockungsfiltration unterschieden werden. Des weiteren ist eine Unterteilung in offene Filteranlagen und Druckfiltrationsanlagen möglich. Bei der Direktfiltration wird das nicht vorbehandelte Wasser einer direkten Filtration unterzogen. Sie ist in der Regel nur bis zu einer Feststoffkonzentration von ≤ 50 mg/l wirtschaftlich einsetzbar. Eine Abtrennung kolloidal gelöster Stoffe ist hierbei jedoch nicht möglich. Erst durch den Zusatz eines Flockungsmittels vor der Filtration (Flockungsfiltration) kann in derartigen Fällen ein klares Filtrat erhalten werden.

Durch die Abscheidung von Trübstoffen erhöht sich der Druckverlust des Filters. Aus diesem Grund ist es erforderlich, daß nach dem Erreichen eines Grenzdruckes der Betriebsphase eine Rückspülphase folgt, während der die Filterschicht gereinigt wird.

4.6.1.2 Grundlagen der Dimensionierung der Festbettfiltration

Das erforderliche Volumen des Filterbettes ergibt sich aus der angestrebten Standzeit des Filters, der auf den Filter aufgetragenen Feststoffmenge und der Kapazität des eingesetzten Filtermaterials.

$$V = \frac{Q \cdot c \cdot t}{k}$$

- V = Volumen des Filterbettes (m³)
- Q = zugeführter Wasserstrom (m³/h)
- c = Feststoffkonzentration (kg/m³)
- t = Standzeit des Filters (h)
- k = spezifische Kapazität des Filtermaterials (kg/m³)

Für die Filterschicht haben sich Höhen zwischen 1,5 m bis 2 m bewährt, wobei die Flächenbeschickung zwischen 4 m/h und 10 m/h (offene Filtration) bzw. 7 m/h und 20 m/h (Druckfiltration) liegen sollte. Empfehlenswerte Spülwassergeschwindigkeiten liegen bei ca. 40 bis 70 m/h, Spülluftgeschwindigkeiten bei ca. 70 bis 100 m/h.

4.6.1.3 Hinweise zur Ausrüstung der Festbettfiltration

Eine Filteranlage sollte mindestens über folgende Anlagenkomponenten verfügen:

- Rohwasserpumpe
- Filterkolonne
- Filtratspeicherbecken
- Rückspülpumpe
- Kompressoranlage
- Rückspülwasserspeicherbecken

Die Speicherbecken und Filter können sowohl aus Beton mit chemikalienbeständigem Innenschutz, hartgummierten Stahlbehältern oder Kunststoffen wie PVC, Polyethylen, Polypropylen oder glasfaserverstärktem Polyester bestehen.

An den Filtern müssen Anschlußmöglichkeiten für die Zu- und Abführung des zu behandelnden Wassers, Rückspülwassers, Spülwassers und der Druckluft vorhanden sein. Zusätzlich sind Entlüftungsvorrichtungen im oberen Raum der Filter und unterhalb der Düsenböden, sowie Öffnungen für die Reinigung und Befüllung der Filter erforderlich. Schaugläser in Höhe der Materialschüttung wären ebenso empfehlenswert wie Probenahmestellen am Ablauf aller Kolonnen.

4.6.1.4 Elektro-, Meß-, Steuer- und Regelungstechnik (EMSR) der Festbettfiltration

Für die Überwachung und Steuerung der Anlage sollten folgende Einrichtungen vorhanden sein:

- Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)
- Durchflußmessungen für Rohwasser, Rückspülwasser, Filtrat und Druckluft
- Füllstandsmessung mit Schaltpunkten im Filtratspeicherbecken
- Druckmessung auf der Zulauf- und Filtratseite der Kolonnen

4.6.1.5 Betrieb und Wartung

Nach einer Einlaufzeit arbeiten Filteranlagen zwischen zwei Rückspülvorgängen relativ problemlos. Wichtig ist, daß die Entlüfter einwandfrei arbeiten und keine Luftblasen durch das Filterbett durchschlagen. Nach Erreichen eines anlagenspezifischen Differenzdruckes zwischen Ein- und Austritt wird rückgespült.

Das Filter wird mit Luft und Wasser rückgespült und zwar so, daß das Filtermaterial fluidisiert vorliegt. Das Filter muß solange rückgespült werden, bis das Schlamwasser klar ist. Zunächst wird nur mit Luft, dann fallweise mit Luft und Wasser und zum Abschluß nur mit Wasser gespült. Bei starker Verschlammung ist diese Reihenfolge ggf. zu wiederholen. Eine einwandfreie und ausreichende Rückspülung ist erforderlich, um unliebsame Betriebsstörungen zu verhindern.

Das normale Rückspülprogramm ist:

- 2 - 10 min. Luft
- 2 - 10 min. Luft und Wasser (falls erforderlich)
- 5 - 20 min. Klarspülen

Filteranlagen haben bei sorgfältiger Rückspülung eine lange Lebensdauer und benötigen keine besondere Wartung. Lediglich bei Aktivkohle als Füllmaterial muß darauf geachtet werden, daß keine Überladung, mit der Folge eines Schadstoffdurchbruchs, eintritt. Wegen der sehr großen Oberfläche neigt die Kohle zur Adsorption vieler Wasserinhaltsstoffe, die durch einfaches Rückspülen nicht entfernt werden können, so daß nach einer gewissen Laufzeit Erschöpfung eintritt. Dann muß die Kohle gewechselt werden.

4.6.1.6 Erfahrungen mit Festbettfiltrationsverfahren

Filteranlagen sind in vielen Wasseraufbereitungsanlagen im Einsatz und haben sich bei richtiger Auslegung bestens bewährt.

4.6.2 Membranfiltration (Ultra- und Mikrofiltration)

Untergliederung anlog Festbettfiltration.

4.6.2.1 Wirkprinzipien der Ultra- und Mikrofiltration

Ultrafiltrationsmembranen haben einen Cut Off zwischen 20000 und 150000 (siehe Abb. 2 VDMA 24438 Teil 2). Mikrofiltrationsmembranen eine Filtrationsschärfe zwischen 0,05 und 1,0 µm. Neben Polymermembranen gibt es Filtrationssystem aus Keramik, Carbon und anderen anorganischen Werkstoffen. Betrieben werden die Anlagen mit überströmten Membranen (Crossflow) im Feed und Bleed- oder im Batchbetrieb. Ultrafiltrations- und Mikrofiltrationsmembranen ab einem Cut Off von 100000 lassen sich gut rückspülen und werden bevorzugt Dead-End betrieben.

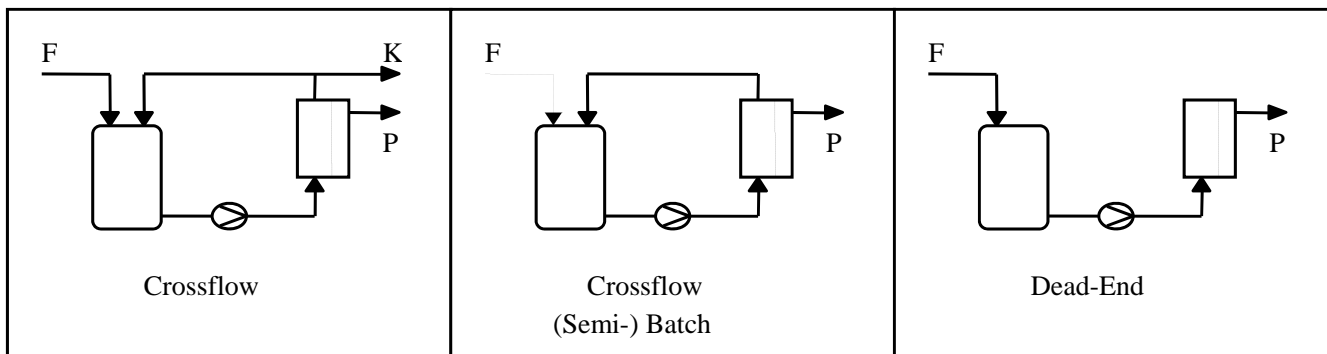


Bild 4 – Betriebsweisen von Ultra- und Mikrofiltrationsanlagen (Quelle: Hager+Elsässer GmbH)

Bei nicht überströmten Membranen baut sich während des Filtrationsbetriebs auf der rohwasserseitigen Membranoberfläche eine Deckschicht aus den abfiltrierten Partikeln des Zulaufwassers auf. Diese Deckschicht führt zu einem Anstieg des für die Filtration benötigten Rohwasservordrucks, wenn der Filtratvolumenstrom (Flux) konstant gehalten werden soll. Um diesen Druckanstieg zu begrenzen, muss diese Deckschicht in zyklischen Intervallen (typischerweise 0,5 bis 1h) durch einen Spülzyklus aus den UF/MF-Modulen ausgetragen werden. Dabei wird die Spülflüssigkeit (meist Filtrat) entgegen der Filtrationsrichtung durch die Membrane gepumpt, bei verschiedenen Systemen kann zusätzlich feedseitig Luft zugesetzt werden. Beim Rückspülvorgang können auch Chemikalien zugesetzt werden. Nach dem Spülen der Membranen sollte der Druckverlust über die Membranen wieder den ursprünglichen Ausgangswert erreichen.

Da die Deckschicht durch die zyklischen Spülungen unter Umständen nicht vollständig ausgetragen wird, kann es im Verlauf eines längeren Anlagenbetriebes zu einem langsamen Ansteigen des Filtrationswiderstandes (reversible Membranverblockung) kommen. Nach einer bestimmten Zeit, die von der Partikelbelastung und Zusammensetzung des Rohwassers abhängig ist, kann diese Verblockung durch eine chemische Reinigung (alkalische/saure Reinigung mit anschließender Desinfektion) der Membranen wieder reduziert werden.

Die Mikrofiltration schließt die Lücke zwischen der Ultrafiltration und der klassischen Festbettfiltration. Die typischen Betriebsdrücke liegen zwischen 0,5 und 3 bar. Die UF-Membrane ist eine absolute Barriere für Feststoffe, Keime, Viren, Biomasse und Mikroorganismen. Der typische Arbeitsbereich liegt bei einer transmembranen Druckdifferenz zwischen 0,1 und 6 bar.

4.6.2.2 Grundlagen der Dimensionierung von Ultra- und Mikrofiltrationsanlagen

Die Leistung der Membranverfahren hängt im Wesentlichen von der Qualität des Rohwassers ab. In erster Linie wird das Langzeitverhalten von Membranverfahren maßgeblich von Parametern wie Partikelgrößenverteilung der Trübstoffe und dem Fouling- und Scalingverhalten bestimmt. Wobei die Standzeit wesentlich vom Reinigungskonzept beeinflusst werden kann.

Fehlen die exakten Daten des Rohwassers, sind längerfristige Versuche unter Vor-Ort-Bedingungen meist unumgänglich. Um ein sicheres Up-Scaling zu ermöglichen, sollte eine ausreichend dimensionierte Pilotanlage unter Berücksichtigung der hydraulischen Vergleichbarkeit zum Einsatz kommen.

Folgende Parameter sind für die Auslegung einer Membrananlage zu beachten:

- Inhaltsstoffe des Rohwassers (Korngrößenverteilung, Störstoffe)
- Mechanische Stabilität (abrasive Stoffe)
- Druck
- Temperatur
- pH-Wert
- Wirtschaftlichkeit
- Energieverbrauch
- Lebensdauer der Membranen
- Automatisierung

Die zentrale Größe bei der Auslegung einer UF-/MF-Anlage ist der Flux in $l/(m^2 \cdot h)$.

4.6.2.3 Hinweise zur Ausrüstung von Ultra- und Mikrofiltrationsanlagen

Eine Membrananlage besteht im Wesentlichen aus folgenden Komponenten:

- Rohwasserpumpe
- Rückspülwasserpumpe
- Satz Membranmodule
- Durchflussmesser Roh-, Rückspül- und Reinwasser
- Kompressor für Spülluft
- Vorlagetank Reinwasser
- Druckmessungen
- Vorrichtung für die chemische Reinigung der Membranen

4.6.2.4 Elektro-, Mess-, Steuer- und Regelungstechnik (EMSR) von Ultra- und Mikrofiltrationsanlagen

Für die Überwachung und Steuerung der Membrananlagen sollten folgende Einrichtungen vorhanden sein:

- Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)
- Durchflussmesser für Roh-, Rein- und Rückspülwasser
- Füllstandsmessungen im Reinwasser- und Spülwassertank
- Druckmessungen auf der Roh- und Filtratseite, sowie in der Spülluft und im Rückspülwasser
- Trübungsmessung im Rohwasser und falls erforderlich im Filtrat

4.6.2.5 Betrieb und Wartung von Ultra- und Mikrofiltrationsanlagen

Beim Filtrationsprozess ist die Rohwasserpumpe in Betrieb und fördert so lange, bis ein Rückspülkriterium erreicht wird. (Bei Förderung in einen Reinwasserspeicher wird die Anlage über die Pegel des Vorlagetanks gesteuert!) Die Auslösung einer Rückspülung erfolgt über die eingestellte Filtratmenge, der Filtrationszeit, oder dem erreichten Differenzdruck, je nachdem welches Ereignis vorher eintritt. Für die Rückspülung muss filtriertes Wasser verwendet werden. Zur Rückspülung wird zusätzlich Druckluft verwendet. Die Auslösung der Rückspülung ist auch per Hand möglich. Eine erforderliche Chemische Reinigung wird über den Differenzdruck der Anlage, oder den Flux (Filtratmenge) eingeleitet.

Zur Überwachung einer Membrananlage wird häufig die Permeabilität benutzt, welche die Druckdifferenz und die Temperatur berücksichtigt und durch die Einheit $l/(m^2 \cdot h \cdot \text{bar})$ definiert ist.

Bei einer Wartung sollten folgende Komponenten geprüft werden:

- Reinigung Magnetventile – Funktion überprüfen.
- Überprüfung der Durchflussmengen und eventuell neu kalibrieren.
- Zustands- und Dichtigkeitsprüfung der gesamten Anlage.
- Mechanische bzw. elektrische Funktions- und Leistungsprüfung aller Aggregate (Pumpen, Messgeräte, Ventile).
- Erstellung eines schriftlichen Wartungsprotokolls über Zustand und Funktion der Anlage und die durchgeführten Wartungsarbeiten einschl. Auswertung und Beurteilung der Betriebswerte und Wasseruntersuchungsergebnisse.
- Integritätstests (überwiegend bei Trink- und Schwimmbeckenwasseraufbereitungsanlagen)

4.6.2.6 Erfahrungen mit Ultra- und Mikrofiltrationsanlagen

Membranverfahren haben sich in der Vergangenheit in vielen Bereichen bewährt und sind heute fester Bestandteil von verschiedensten Aufbereitungsprozessen mit unterschiedlichsten Zielsetzungen. Durch Ihre exakten Trenngrenzen können vorgegebene Grenzwerte dauerhaft eingehalten werden.

5 Biologische Behandlung - Denitrifikation

Anoxische Verfahren können eingesetzt werden, wenn eine Kontamination des Grundwassers mit Nitrat vorliegt. Das Nitrat wird denitrifiziert. Unter Denitrifikation versteht man die mikrobielle Reduktion von Nitrat über Nitrit zu gasförmigem Stickstoff. Die Denitrifikation kann von einer Vielzahl fakultativ anaerober heterotropher bzw. autotropher Bakterien durchgeführt werden. Bei Abwesenheit von gelöstem Sauerstoff ("anoxisches" Milieu) sind diese Bakterien befähigt, die zur Denitrifikation erforderlichen Enzyme zu bilden und Nitrat- oder Nitratsauerstoff anstelle des gelösten Sauerstoffs als terminalen Elektronenakzeptor für ihren Energiestoffwechsel einzusetzen. Als Elektronendonatoren dienen in der Regel leicht abbaubare organische Kohlenstoffverbindungen (bei der Trinkwasseraufbereitung Ethanol oder Essigsäure) oder Wasserstoff.

Es gibt mehrere anoxische Verfahren, denen allen das oben beschriebene Wirkprinzip zugrunde liegt, die sich allerdings darin unterscheiden, wie nitrathaltiges Grundwasser und Bakterien zusammengebracht werden.

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
Peter Kleinert, Oberursel
Rolf Nagel, Hager + Elsässer GmbH, Stuttgart
Dr. Tim Pühmeier, XylemWastewater Herford GmbH, Herford
Dr. Jürgen Koppe, MOL Katalysatorotechnik GMBH, Schkopau
Hartwig Gohr, Schweitzer-Chemie GmbH, Freiberg
Dr. Klaus Hagen, VWS Deutschland GmbH, Celle, Bayreuth

Literaturhinweise

- DIN EN 1085, *Abwasserbehandlung – Wörterbuch*
- DIN 4045, *Abwassertechnik – Begriffe*
- DIN 2000, *Zentrale Trinkwasserversorgung – Leitsätze für Anforderungen an Trinkwasser – Planung, Bau, Betrieb und Instandhaltung der Versorgungsanlagen*
- DIN 19633, *Ionentauscher, Adsorberharze und Hybridadsorber zur Wasseraufbereitung – Technische Lieferbedingungen*
- DIN EN 38402 - DIN EN 38414, *Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung*
- DIN 31051, *Instandhaltung*
- DIN 40041, *Zuverlässigkeit, Begriffe*
- VDMA 24439, *Anlagen zur Reinigung von Deponiesickerwasser*
- VDMA 24651, *Verfahren zur Wasserwiederverwendung – Auswahlkriterien, Einsatzbereiche*
- VDMA 24652, *Enthärtungs- und Entsalzungsanlagen*
- 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 2010/75/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. November 2010 über Industrieemissionen (integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung) (Neufassung)
- 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
- 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".
- VDMA-Recht: „Die Instandhaltung als produktbegleitende Dienstleistung“, VDMA-Verlag 2008
- VDMA-Recht: „Die Abnahme von Lieferungen und Leistungen“, Reihe Focus Recht
- WHO, Guidelines on Drinking Water Quality, 2nd ed. 1993, and Addendum 1998
- Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung – TrinkwV 2001)
- Erste Verordnung zur Änderung der Trinkwasserverordnung vom 1. November 2010
- Grundwasserverordnung – GrwV Verordnung zum Schutz des Grundwassers vom 9. November 2010
- Nitratentfernung aus dem Trinkwasser, Klausdieter Rönnefahrt, Express Verlag Ehningen, 1992
- DVGW-Regelwerk W 235-3, Zentrale Enthärtung in der Trinkwasserversorgung – Ionenaustauscher
- DVGW-Regelwerk W 213-5, Filtrationsverfahren zur Partikelentfernung – Teil 5: Membranfiltration
- Hartinger, Taschenbuch der Abwasserbehandlung, Hanser Verlag 1978
- Degremont Watertreatment Handbook Band 2, Lavoisier Publishing 1991