



PURE LABWATER GUIDE

Ein Überblick über Anwendungen,
Aufbereitungstechnologien und Standards
für die Laborwasseraufbereitung



DER PURE LABWATER LEITFADEN

Einführung

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1 - 4
2	Forschungs- und Analyseanwendungen	5-22
3	Klinische Diagnose	23-28
4	Gesundheitswesen	29-32
5	Wasseraufbereitung – Überblick	33-72
6	Glossar	73-76

Der Pure LabWater Guide ist ein Muss für alle, die mit Rein- und Reinstwasser zu tun haben oder sich für dieses Thema interessieren. In einem leicht verständlichen Überblick lernen Sie die Anforderungen an Wasseraufbereitungstechniken und Anwendungen im Labor kennen. Dadurch sind Sie in der Lage, den korrekten Wasserreinheitsgrad und ein zuverlässiges Produktionsverfahren zu wählen, das sowohl Ihr Budget als auch die Umwelt schont.

Herausforderungen: Verunreinigungen und Qualitätsschwankungen im Trinkwasser

Das Wasser für die meisten Labor- und klinischen Anwendungen wird gewöhnlich durch die Aufbereitung von Trinkwasser gewonnen. Die einzigartige Fähigkeit

von Wasser, nahezu jede chemische Verbindung zu einem gewissen Grad aufzulösen und fast jede Form von Leben zu unterstützen, bedeutet gleichzeitig, dass das Eingangswasser viele Verunreinigungen enthält. Während der Aufbereitung des Trinkwassers entstehen zusätzliche Verunreinigungen. Ferner schwankt im Gegensatz zu anderen Rohmaterialien die Qualität der Rohwasserversorgung signifikant zwischen unterschiedlichen geographischen Gebieten sowie Jahreszeiten.

Reines Wasser ist für die meisten Anwendungen im modernen Labor von entscheidender Bedeutung. Während der „Normalverbraucher“ Leitungswasser bereits als „rein“ ansieht, würde der Naturwissenschaftler Leitungswasser als stark verunreinigt betrachten. Wissenschaftler im analytischen und experimentellen Bereich sind an den Elementen und Verbindungen in Konzentrationen im ppb-Bereich (Teile pro Milliarde) oder darunter interessiert. Viele dieser Verunreinigungen können negative Auswirkungen auf Applikationen im biotechnologischen Bereich haben, indem sie mit anderen Substanzen, einschließlich der zu analysierenden Substanz, interagieren.

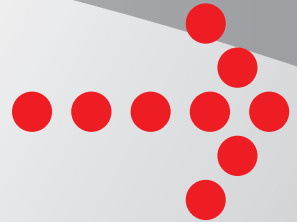
Im Roh- und Trinkwasser vorkommende Verunreinigungen lassen sich in fünf Klassen einteilen:

- **Suspendierte Partikel**
- **Gelöste anorganische Verbindungen**
- **Gelöste organische Verbindungen**
- **Mikroorganismen & Biomoleküle**
- **Gelöste Gase**

Das Hauptziel der Wasseraufbereitungsmethoden für wissenschaftliche und medizinische Anwendungen besteht darin, Verunreinigungen aus dem Trinkwasser zu entfernen und gleichzeitig zusätzliche, durch Komponenten von Aufbereitungssystemen entstehende Verunreinigungen sowie das Bakterienwachstum zu minimieren.



„Reinwasser ist die Substanz, die am häufigsten als Grundlage für unzählige wissenschaftliche und medizinische Anwendungen dient – seine Bedeutung sollte niemals unterschätzt werden.“



Verwendung des Pure LabWater Guide

Dieser von ELGA ausgearbeitete Pure LabWater Guide basiert auf mehr als 70 Jahren Erfahrung in der Forschung, Entwicklung, Fertigung und Installation von Wasseraufbereitungssystemen. Das Buch ist eine Zusammenfassung unserer ursprünglichen Publikationen „Pure LabWater Guide“ und „Pure Clinical LabWater Guide“, die erstmals 1991 bzw. 2003 veröffentlicht wurden. Neben Aktualisierungen aus dem Bereich der Wasseraufbereitung (d. h. neue Wasseraufbereitungstechnologien, weitere Anwendungen und überarbeitete Normen) zeichnet sich der Pure LabWater Guide durch eine übersichtliche Gestaltung der dargebotenen Informationen aus. Das Buch enthält zahlreiche Hinweise und Tipps sowie „Pure facts“ zum Thema Wasseraufbereitung und Diagramme, die grundlegende Technologien, Systeme und Prozesse veranschaulichen. Am Ende des Leitfadens finden Sie ein Glossar, das Ihnen hilft, sich mit weniger bekannten technischen Begriffen vertraut zu machen.

Der Pure LabWater Guide ist in vier übersichtliche Kapitel unterteilt:

- **Forschung und Prüfung (Kapitel 1)**
- **Klinische Analyse (Kapitel 2)**
- **Gesundheitswesen (Kapitel 3)**
- **Wasseraufbereitung – Überblick (Kapitel 4, in weitere 5 Unterkapitel aufgliedert)**
 - Produktion von Trinkwasser
 - Verunreinigungen im Trinkwasser
 - Technologien zur Wasseraufbereitung
 - Beibehaltung des Reinheitsgrads von aufbereitetem Wasser
 - Normen für aufbereitetes Wasser



Über ELGA

Als Teil von Veolia, dem weltweit führenden Anbieter im Bereich Wasserwirtschaft, bietet ELGA zuverlässige Lösungen für die kostengünstige Wasseraufbereitung. Sämtliche Anforderungen der wissenschaftlichen und medizinischen Anwendungen unserer Kunden werden hierbei erfüllt. Aufbauend auf unserer mehr als 70-jährigen Erfahrung in der Entwicklung innovativer Wasseraufbereitungssysteme, sind wir stets bestrebt, moderne Forschung mit innovativem und ergonomischem Design zu kombinieren. ELGA bietet robuste und einfach zu installierende Systeme, die stets den aktuellen Anforderungen unserer Kunden entsprechen. Wir arbeiten eng mit führenden Laborgeräteherstellern an der Entwicklung maßgeschneiderter Wasseraufbereitungssysteme für spezifische Anwendungen zusammen. Darüber hinaus pflegen wir aktiven Kontakt zu Normungsinstituten, die Anforderungen an Laborwasserqualität festlegen und empfehlen. Unser Netzwerk mit über 600 Service-Niederlassungen weltweit garantiert konkurrenzlosen Service und Support für alle ELGA Wasseraufbereitungssysteme, ganz gleich, wo Sie sich befinden.

Kapitel 1 Forschung und Prüfung

Der Schwerpunkt dieses Kapitels liegt auf dem breiten Spektrum der Laboranwendungen, vom Waschen und Spülen von Laborgefäßen aus Glas bis hin zu kritischen Anwendungen in den Bereichen Molekularbiologie und Zellkulturen. Zudem werden die für jeden Anwendungsbereich erforderlichen Wassertypen aufgeführt.

Kapitel 2 Klinische Analyse

Dieses Kapitel betont die Bedeutung von Reinstwasser für die Erzielung gültiger und zuverlässiger chemischer Testergebnisse und nennt die für diese Anwendungen geltenden internationalen Normen und Vorschriften.

Kapitel 3 Gesundheitswesen

Dieses Kapitel behandelt eine Vielzahl an Anwendungen im Gesundheitswesen, die hochreines Wasser erfordern. Darunter der Dekontaminationsprozess zum Spülen chirurgischer Instrumente (z. B. Endoskope) und die Erzeugung von Dampf zur Sterilisation von Instrumenten. Zudem werden die strengen Richtlinien und Wasserqualitätsstandards für diese Anwendungsbereiche aufgeführt.

Kapitel 4 Wasseraufbereitung – Überblick

Dieses Kapitel enthält umfassende Details zu den in Wasser vorkommenden Verunreinigungen sowie zu den Technologien, Systemdesigns und Komponenten, die erforderlich sind, um diese Verunreinigungen erfolgreich zu entfernen. Die Auswahl der ersten Stufen eines Aufbereitungssystems sind von den Charakteristika des Speisewassers abhängig. Der gesamte Prozess beginnt mit einer Vorbehandlungsstufe. Das Kapitel behandelt die wichtigsten Wasseraufbereitungstechnologien, einschließlich ihrer Vorteile und Einschränkungen. Einige Technologien sind beispielsweise in der Lage, große Mengen verschiedener Verunreinigungen zu entfernen, während andere nur einen bestimmten Typ entfernen können, diesen aber bis auf extrem geringe Konzentrationen reduzieren.



Es existieren zahlreiche Normen zur Regelung der für spezifische Anwendungen erforderlichen Wasserqualität. ASTM® (American Society for Testing and Materials) und ISO® (International Organization for Standardization) 3696 legen Normen für allgemeine Laboranwendungen fest; die Normen des CLSI® (Clinical and Laboratory Standards Institute) definieren die Anforderungen an die Wasserqualität für Kliniklabore. Einige Labore wenden auch Richtlinien aus der europäischen, US-amerikanischen oder japanischen Pharmakopöe an. Nur sehr wenige dieser Normen sind jedoch speziell auf Ihre individuelle Anwendung zugeschnitten. Eine zu enge Auslegung verursacht unnötige Kosten, eine zu weite Auslegung gefährdet die Zuverlässigkeit Ihrer Ergebnisse. Der Pure LabWater Guide bietet einen Überblick über die Vielzahl an Normen und unterstützt Sie bei der Auswahl des richtigen Wassertyps und des geeigneten Aufbereitungsverfahrens, damit Sie den korrekten Reinheitsgrad erzielen und gleichzeitig Ihr Budget und die Umwelt schonen.

Pioniere in der Laborwasseraufbereitung:

1937 – 1955 Walter Lorch gründet ELGA. Destillation stellt die modernste Technologie zur Wasseraufbereitung dar. Die Einschränkungen dieser Methode im Hinblick auf Reinheit treiben jedoch neue Entwicklungen voran. Walter Lorch erfindet die Entionisierung mit Kartuschen.

1960 – 1970 ELGA entwickelt gemeinsam mit der London School of Pharmacy Produkte für Krankenhäuser, Labore und Industrie.

1980 – 1989 ELGA gründet die „School of Water Sciences“. Walter Lorch veröffentlicht das Handbuch zur Wasseraufbereitung („The Handbook of Water Purification“). ELGA führt als erstes Unternehmen die UV-Photooxidation in einem Aufbereitungssystem für Labore ein. ELGA stellt MedRo vor, ein speziell für den Dialysemarkt entwickeltes System.

1990 – 1999 ELGA führt PURELAB UHQ ein, eine Kombination aus Ionenaustausch, Membranprozessen, Adsorption und Photooxidation in einem Wasseraufbereitungssystem, das Reinstwasser zu minimalen Kosten liefert. ELGA wird mit dem „Queens Award for Design“ ausgezeichnet. ELGA entwickelt das „Typ II“- oder Destillationsersatzsystem, das Teil der Produktreihe „Option“ wird. ELGA entwickelt MEDICA, das erste speziell für klinische Analytoren gefertigte Wasseraufbereitungssystem. ELGA führt das PureSure-System (mit Überwachung auf mehreren Stufen) sowie das Verfahren zur Echtzeit-TOC-Überwachung ein.

2000 ELGA wird in den Geschäftsbereich Laboratory Water von Veolia integriert. ELGA führt das System Option-E5 ein, das erste Aufbereitungssystem für den Laboreinsatz, bei dem das behandelte Wasser recirkuliert und so wiederholt der Elektroentionisierung unterzogen wird.

2003 ELGA stellt das revolutionäre CENTRA-System vor, das erste zentralisierte Kompaktsystem zur Wasseraufbereitung für den Laborbereich.

2004 ELGA stellt BIOPURE vor, das erste System, das speziell auf die Einhaltung der neuesten, strengen Anforderungen an die Wasserqualität für medizinischen Anwendungen ausgelegt ist.



KAPITEL 1

Forschungs- und Analyse- anwendungen

Wissenschaftler sind in vielfältigen Anwendungsbereichen in unterschiedlichsten Laborumgebungen tätig. Um den Anforderungen der verschiedenen Verfahren und Anwendungen gerecht zu werden, muss Wasser in unterschiedlichen Reinheitsgraden hergestellt werden. Wasser ist ein unverzichtbarer Bestandteil vieler Anwendungen, aber die Bedeutung seiner Reinheit wird oftmals nicht erkannt.

In diesem Kapitel werden einige häufige Anwendungen sowie Hinweise zu der jeweils erforderlichen Wasserqualität genannt. Sie erhalten ferner Hinweise darüber, welche Aufbereitungstechnologien Sie für Ihr Wasseraufbereitungssystem in Erwägung ziehen sollten.

Es existieren zahlreiche Wasserqualitätsnormen weltweit, allerdings sind für spezifische Forschungsanwendungen nur wenige dieser Normen relevant. Aus diesem Grund hat ELGA ebenso wie viele andere Anbieter von Wasseraufbereitungssystemen weiter gefasste, allgemeine Klassifikationen übernommen, die durch messbare physikalische und chemische Grenzwerte bestimmt werden. Im Pure LabWater Guide beziehen wir uns jeweils auf die in dieser Tabelle (siehe links) genannten „Typen“ von Wasser.

	Spez. Widerstand (M Ω -cm)	TOC (ppb)	Bakterien	Endotoxine (EU/ml)
Typ I ⁺	18,2	<5	<1	<0,03
Typ I	>18	<10	<1	<0,03
Typ II ⁺	>10	<50	<10	NZ
Typ II	>1	<50	<100	NZ
Typ III	>0,05	<200	<1000	NZ

Typ 1⁺ – dieser Reinheitsgrad geht über die Anforderungen an Wasser des Typs 1 hinaus.

Typ I – Wasser dieses Typs, oftmals auch als ultrareines Wasser oder Reinstwasser bezeichnet, wird für einige der Anwendungen benötigt, in denen der Reinheitsgrad am kritischsten ist, z. B. Vorbereitung der mobilen Phase für HPLC (Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie) sowie Blindproben und Probenverdünnung für andere wichtige Analysetechniken wie GC (Gaschromatographie), AAS (Atomabsorptionsspektrometrie) und ICP-MS (Induktiv gekoppelte Plasamassenspektrometrie).

Typ I ist zudem für Anwendungen der Molekularbiologie wie Säugetier-Zellkulturen und IVF (*In-Vitro*-Fertilisation) erforderlich.

Typ II⁺ – Dieser Typ eignet sich für allgemeine Laboranwendungen, die einen höheren anorganischen Reinheitsgrad erfordern.

Type II – der Reinheitsgrad für allgemeine Laboranwendungen. Zu den Anwendungsbereichen zählen die Mediovorbereitung, pH-Lösungen und Puffer sowie bestimmte klinische Analysegeräte. Systeme des Typs II werden gewöhnlich zur Speisung von Systemen des Typs I verwendet.*

Typ III – Empfohlener Reinheitsgrad für nicht kritische Arbeiten, z. B. Waschen von Glasgefäßen, Wasserbäder, Autoklaven, die Versorgung von Desinfektionsgeräten sowie Klimakammern und Pflanzenzuchtträume. Diese Systeme können auch zur Speisung von Systemen des Typs I verwendet werden.*

*Die Produktion von Reinstwasser (18,2 MΩ-cm Widerstand, <5 ppb TOC-Gehalt) aus Trinkwasser erfolgt normalerweise in zwei Stufen – Vorbehandlung und „Polishern“. Im Idealfall werden durch die Vorbehandlung die Konzentrationen aller wichtigen Arten von Verunreinigungen – anorganische, organische, mikrobiologische und Partikelverunreinigungen – um mehr als 95% reduziert. Das effektivste Verfahren ist die Umkehrosmose oder eine Kombination aus Umkehrosmose mit Ionenaustausch oder EDI. Alternativ kann auch der Ionenaustausch zur Vorbehandlung eingesetzt werden, allerdings reduziert dieses Verfahren die Konzentrationen an organischen, bakteriellen und Partikelverunreinigungen nicht so stark. Je besser die Vorbehandlung, desto höher die potenzielle Qualität des resultierenden Reinstwassers.



Analytik und allgemeine Anwendungen

(Zusammenfassung in der Tabelle auf Seite 16)

Elektrochemie

Bei diesen Techniken, deren Ergebnisse von der empfindlichen Messung oftmals winziger elektrischer Signale abhängen, ist entscheidend, dass das verwendete Wasser nur eine minimale Interferenz aufweist. Für elektrochemische Anwendungen wird in der Regel Wasser des Typs II mit einem typischen TOC-Gehalt <50 ppb und einem Bakteriengehalt <1 KBE/ml (Koloniebildende Einheiten pro Milliliter) empfohlen. Für die elektrochemische Ultrapurenanalyse wird Wasser des Typs I (Reinstwasser) benötigt.

Zu den Techniken zählen:

Potentiometrie

Die Potentiometrie misst das Potenzial einer Lösung zwischen zwei Elektroden. Es handelt sich um eine passive Technik, bei der die Lösung während des Prozesses nur geringfügig beeinflusst wird. Das Potenzial dient dann zur Bestimmung der Konzentration eines oder mehrerer Analyte. Der Zellaufbau wird häufig als Elektrode bezeichnet, obwohl die Zelle zwei Elektroden enthält: eine Messelektrode und eine Referenzelektrode (diese unterscheidet sich von der in einem System mit 3 Elektroden verwendeten

Referenzelektrode). Potentiometrie erfolgt gewöhnlich ionenselektiv mit einer unterschiedlichen Elektrode für jedes Ion. Die am häufigsten verwendete potentiometrische Elektrode ist die Glaselektrode (pH-Elektrode).

pH-Messung

Die pH-Messung ist eine Unterart der Potentiometrie. Sie dient zur Messung des Säure- bzw. Laugengrads einer Flüssigkeit. Die Messung des pH-Werts von Reinstwasser ist schwierig. Die Lösung weist eine geringe ionische Stärke auf und absorbiert rasch Kohlendioxid, das den Messwert beeinträchtigt.

Coulometrie

Coulometrie verwendet einen angelegten Strom oder ein Potenzial, um einen Analyten komplett von einem Oxidationszustand in einen anderen zu versetzen. Bei diesen Experimenten wird der gesamte geflossene Strom direkt oder indirekt gemessen, um die Anzahl der geflossenen Elektronen zu bestimmen. Dies lässt Rückschlüsse auf die Konzentration des Analyten, oder, wenn die Konzentration bekannt ist, auf die Anzahl der Elektronen in einem Redox-Paar zu. Die wohl häufigste Form der Coulometrie ist die Batch-Elektrolyse, eher bekannt unter dem Namen

potentiostatische Coulometrie oder einer Kombination aus beiden Namen.

Voltammetrie

Bei der Voltammetrie wird ein konstantes bzw. ein variierendes Potenzial an die Oberfläche einer Elektrode angelegt, um den resultierenden Strom mit einem 3-Elektroden-System zu messen. Diese Methode dient u.a. zur Bestimmung der Reduzierung des Potenzials eines Analyten und der elektrochemischen Reaktivität. In praktischer Hinsicht ist diese Methode zerstörungsfrei, da nur eine sehr kleine Menge des Analyten an der zweidimensionalen Oberfläche der Arbeits- und Hilfselektrode verbraucht wird.

Polarographie

Die Polarographie ist eine Unterart der Voltammetrie, bei der eine Quecksilbertropfelektrode als Arbeitselektrode und oftmals das resultierende Quecksilberbad als Hilfselektrode verwendet wird. Bedenken hinsichtlich der Toxizität von Quecksilber sowie die Entwicklung kostengünstiger, inerte, leicht zu reinigender, qualitativ hochwertiger Elektroden aus Materialien wie Edelmetallen und Glaskohle haben dazu geführt, dass Quecksilberelektroden heute sehr viel seltener verwendet werden.

Amperometrie

Die Amperometrie ist eine Unterart der Voltammetrie, bei der ein konstantes Potenzial über verschiedene Zeiträume hinweg an der Elektrode anliegt. Es handelt sich hierbei im Wesentlichen um eine historische Unterscheidung, die nach wie vor zu einer gewissen Konfusion führt. Die Differenzpuls-Voltammetrie beispielsweise wird auch als Differenzpuls-Amperometrie bezeichnet, was als die Kombination aus Linear-Sweep-Voltammetrie und Chronoamperometrie betrachtet werden kann. Ein Merkmal, das die

Amperometrie von anderen Formen der Voltammetrie unterscheidet, besteht darin, dass die Summe der Ströme über einen gegebenen Zeitraum hinweg gewöhnlich summiert wird, anstatt sie bei einzelnen Potenzialen zu betrachten. Diese Aufsummierung kann zu größeren Datensätzen und weniger Fehlern führen. Die amperometrische Titration könnte als Amperometrie betrachtet werden, da eine Messung des Stroms erfolgt, aber nicht als Voltammetrie, da die gesamte Lösung während des Experiments umgewandelt wird.



Bestimmung der Qualität Ihres Trinkwassers

Mehr als 70 Jahre Erfahrung in der Wasseraufbereitung für den Laborbedarf, kombiniert mit dem Fachwissen von Veolia als Betreiber zahlreicher städtischer Aufbereitungsanlagen, machen uns zu unangefochtenen Experten für die Qualität von Speisewasser in aller Welt. Bei unserem ersten Besuch in Ihrem Labor führen wir einen Vor-Ort-Test zur Analyse der Speisewasserqualität durch. Anhand der Daten über die Wasserqualität in Ihrem Labor sowie von Angaben über erforderliche Anwendungen, Laboraufbau und Budget, arbeitet unser Vertriebsteam detaillierte Vorschläge zu Wasseraufbereitungssystemen aus, die am besten für Ihre Anforderungen geeignet sind.



Spektroskopie & Spektrometrie

Spektroskopie wurde historisch gesehen als die Studie der Interaktion zwischen Strahlung und Materie in Abhängigkeit von der Wellenlänge (λ) betrachtet und bezog sich auf den Einsatz sichtbaren Lichts, das entsprechend seiner Wellenlänge durch ein Prisma gestreut wird. Später wurde dieses Konzept auf alle quantitativen Messungen in Abhängigkeit von Wellenlänge oder Frequenz ausgeweitet. Spektroskopie kann sich also auch auf Interaktionen mit Teilchenstrahlung oder eine Reaktion auf ein Wechselfeld oder eine schwankende Frequenz (ν) beziehen. Als man sich der sehr engen Beziehung zwischen Photonenenergie und Frequenz bewusst wurde ($E=h\nu$, wobei h für die Planck-Konstante steht), wurde die Definition zusätzlich um die Variable Energie (A) erweitert. Eine graphische Darstellung dieser Reaktion in Abhängigkeit von der Wellenlänge – oder Frequenz – wird als Spektrum bezeichnet.

Spektrometrie ist die spektroskopische Technik, die zur Bestimmung der Konzentration bzw. der Menge einer gegebenen Substanz dient. Das Instrument, mit dem diese Messungen durchgeführt werden, heißt Spektrometer oder Spektrograph.

Zu den Techniken zählen:

Flammen-Atomabsorptions-Spektrometrie (F-AAS)

Obwohl die AAS bei der Multielement-Analyse durch ICP-MS und ICP-ES ein wenig verdrängt wurde, findet sie dank der relativ günstigen Kosten in kleineren Laboren oder für spezifische Analysen weiterhin Anwendung. Die Nachweisgrenzen schwanken je nach gemessenem Element von niedrigen ppb- bis zu ppm-Konzentrationen. Wasser des Typs II ist in der Regel für die meisten routinemäßigen AAS-Anwendungen ausreichend. Diese Methode erfordert keinen niedrigen Gehalt an Bakterien oder organischen Verbindungen.

Gaschromatographie-Massenspektrometrie (GC-MS)

Bei der Gaschromatographie wird gereinigtes Wasser zur Vorbereitung von Blindproben und Standards sowie bei der Vorbehandlung von Proben, z. B. der Festphasenextraktion, eingesetzt. Aufgrund der hohen Empfindlichkeit, die mit GC-MS erzielt werden kann, sind die Anforderungen an das Reinstwasser extrem hoch. Die geforderten TOC-Konzentrationen von unter 3 ppb werden am besten mit einem Reinstwassersystem der Spitzenklasse („Polisher“) erreicht, dessen Speisewasser zum Entfernen von Ionen und organischen Verbindungen mit Umkehrosiose vorbehandelt wurde.



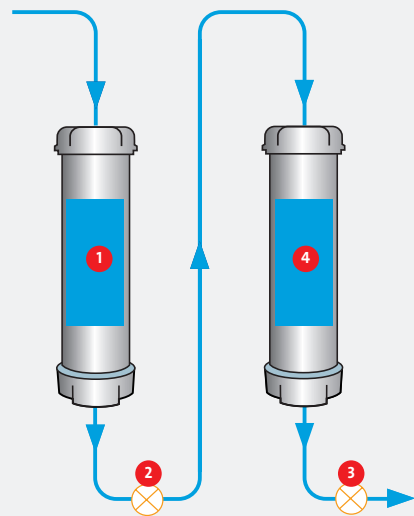
Graphitofen-Atomabsorptions-Spektrometrie (GFAAS) – auch als Kohlenstoffofen-Atomabsorptions-Spektrometrie (CFAAS) bekannt

Mit dieser Variante der AAS, bei der die Flamme durch ein elektrisch erhitztes Graphitrohr bzw. einen Graphitstab ersetzt wird, können sehr hohe Empfindlichkeiten bei der Elementanalyse erzielt werden. Hierfür ist ein Reinstwassersystem der Spitzenklasse („Polisher“) zur Herstellung von Wasser des Typs I mit einem Gehalt an Elementverunreinigungen im ppt-Bereich, einem spezifischen Widerstand von $18,2 \text{ M}\Omega\text{-cm}$ und einem geringen TOC-Gehalt erforderlich. Eine mehrstufige Überwachung (wie sie bei dem ELGA PureSure-System gegeben ist – siehe rechts) bietet die beste Reinheitsgarantie. Eine optimale Leistung wird erzielt, wenn nach einer verstärkten Vorbehandlung eine kontinuierliche Rezirkulation und wiederholte Reinigung des Reinstwassers erfolgt.

Massenspektrometrie

Diese hochempfindliche Technik dient zur Spurenanalyse komplexer Mischungen und erfordert daher Wasser mit hohem Reinheitsgrad. Alle Probenvorbereitungen wie die Festphasenextraktion und die Schritte zur Probenvorbereitung müssen mit Wasser des Typs I (Reinstwasser) erfolgen, das durch ein Reinstwassersystem der Spitzenklasse („Polisher“) hergestellt wird. Das System erzielt einen Gehalt an Elementverunreinigungen im ppt-Bereich, einen spezifischen Widerstand von $18,2 \text{ M}\Omega\text{-cm}$ und einen extrem geringen TOC-Gehalt von üblicherweise $<3 \text{ ppb}$. Eine mehrstufige Überwachung (siehe rechts) ist die einzige Methode, bei der dieser Reinheitsgrad garantiert ist. Eine optimale Leistung wird erzielt, wenn nach einer verstärkten Vorbehandlung eine kontinuierliche Rezirkulation und wiederholte Reinigung des polierten Wassers erfolgt.

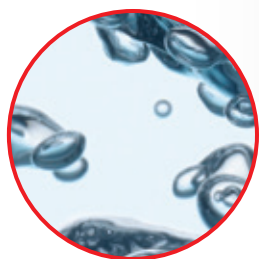
PureSure-System



- 1 Primär-Aufbereitungspack
- 2 Leitfähigkeitsmesszelle zur Messung der Zwischenwasserqualität R1
- 3 Leitfähigkeitsmesszelle zur Messung der Ausgabewasserqualität R2
- 4 Polisher-Aufbereitungspack

Das PureSure-System:

ELGA LabWater installiert eine zusätzliche Leitfähigkeitsmesszelle zwischen den beiden Aufbereitungsstufen eines Reinstwassersystems. Auf diese Weise ist sichergestellt, dass das zweite Aufbereitungspack rechtzeitig ausgetauscht wird, bevor schwach geladene Verunreinigungen in das Reinstwasser gelangen.



Induktiv gekoppelte Plasma-Atomemissionsspektrometrie (ICP-AES)

Die Empfindlichkeit für die verschiedenen Elemente weist klare Unterschiede auf, jedoch haben Metalle, Halbmetalle, Phosphor und Schwefel Nachweisgrenzen im ppb-Bereich ($\mu\text{g/l}$). Die Anforderungen an die Wasserreinheit für ICP-AES-Anwendungen sind daher sehr hoch. Vorzugsweise ist ein Reinstwassersystem des Typs I („Polisher“) zu empfehlen, das einen spezifischen Widerstand von $>18 \text{ M}\Omega\text{-cm}$ erzielt. Die TOC-Anforderungen sind jedoch im Allgemeinen nicht relevant, daher kann zur Vorbehandlung Umkehrosmose- oder Ionenaustauschtechnologie eingesetzt werden.

Induktiv gekoppelte Plasmamassenspektrometrie (ICP-MS)

Die Fortschritte bei der Entwicklung moderner Analysegeräte haben zu stetig steigenden Empfindlichkeiten bei der Spurenmetallanalyse geführt. Diese Elemente werden jetzt mit Techniken wie ICP-MS im ppt-Bereich und darunter gemessen. Analysen im Spurenbereich erfordern Wasser, das frei von den zu messenden Komponenten ist, und die Anforderungen an die Reinheit des Wassers für die empfindlichsten ICP-MS-Arbeiten sind ebenfalls extrem hoch. Für die Vorbereitung qualitativ hochwertiger Reagenzien zur Blindprobenanalyse, für Standardverdünnungen und Probenvorbereitungen werden in der Regel Reinträume bevorzugt. Bei dem spezifizierten Wassersystem sollte es

sich um ein speziell entwickeltes System für Wasser des Typs I handeln. Es sollte eine mehrstufige Überwachung (siehe PureSure-Diagramm auf Seite 10) vorgesehen werden, mit der diese Reinheitsgrade garantiert sind. Eine optimale Leistung wird bei verstärkter Vorbehandlung durch ein rezirkulierendes System des Typs II erzielt.

Photometrie

Für photometrische Anwendungen wird mindestens aufbereitetes Wasser des Typs II mit einem geringen Gehalt an anorganischen, organischen und kolloidalen Verunreinigungen empfohlen. Das Wasser weist in der Regel einen spezifischen Widerstand von $>1 \text{ M}\Omega\text{-cm}$ auf und wurde mikrofiltriert. Ein geringer TOC-Gehalt ($<50 \text{ ppb}$) ist vor allem für Techniken von Bedeutung, bei denen UV-Detektionssysteme zum Einsatz kommen, da gelöste organische Verunreinigungen den Nachweisprozess beeinflussen können.

Chromatographie

Man unterscheidet zwischen präparativer und analytischer Chromatographie, die beiden Formen schließen sich jedoch nicht gegenseitig aus. Die präparative Chromatographie dient zur Trennung der Komponenten einer Mischung zur weiteren Verwendung. Die analytische Chromatographie, bei der mit kleineren Stoffmengen gearbeitet wird, dient zur Messung des relativen Anteils von Analyten in einer Mischung.



Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie (HPLC)

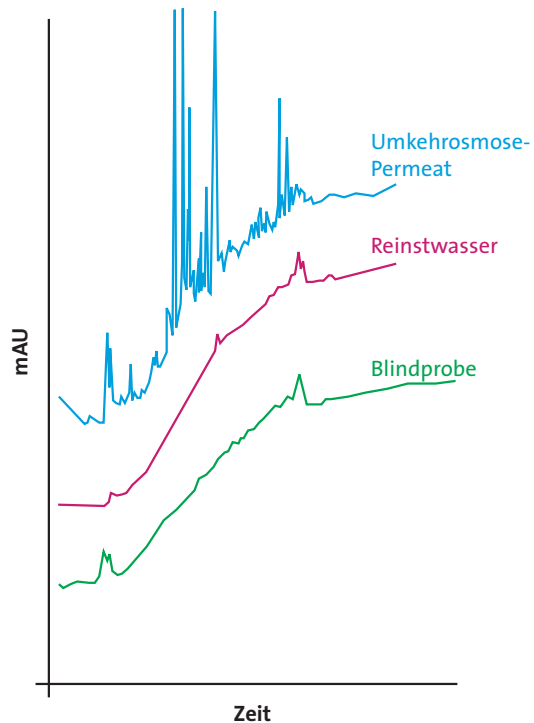
HPLC kann zur direkten Analyse und Bestimmung kleinerer und größerer Komponenten in einer komplexen Mischung eingesetzt werden. In der mobilen Phase wird gereinigtes Wasser für allgemeine Laboranwendungen (Typ II) mit einem typischen TOC-Gehalt <50 ppb und einem spezifischen Widerstand >1 M Ω -cm zum Ansetzen von Blindproben und Standards, sowie zur Vorbehandlung von Proben eingesetzt.

Mit Gradienten-HPLC lassen sich extrem niedrige Nachweisgrenzen weit unter 1 ppb erzielen. Daher erfordern Blindproben, Standards und die Vorbehandlung von Proben Reinstwasser, das höchsten Ansprüchen genügt, mit möglichst niedrigen TOC-Werten, die in der Regel unter 3 ppb liegen (siehe Diagramm). Solche Werte können am besten mit Hilfe eines Typ-I-Reinstwassersystems der Spitzenklasse („Polisher“) erzielt werden, das speziell für diesen Zweck entwickelt wurde und mit Wasser des Typs II oder mit per Umkehrosmose vorbehandeltem Wasser des Typs III gespeist wird.

Ionenchromatographie (IC)

Das IC-Verfahren dient zur Bestimmung kleinerer und größerer Komponenten in verschiedenen Substanzen bis auf Größenordnungen von 0,1 ppm durch direkte Einspritzung der Proben mit (10 bis 50 Mikroliter). Für Blindproben und Standards und zur Vorbereitung des Elutionsmittels wird hochreines Wasser benötigt. Für diese Anwendungen ist Wasser des Typs II* häufig angemessen, vor allem wenn Kosten eine Rolle spielen. Ansonsten ist der Einsatz von Wasser des Typs I empfehlenswert. Die IC kann extrem niedrige Nachweisgrenzen (bis in den ppt-Bereich) erzielen, wenn die zu messenden Ionen auf einer kurzen Ionenaustauschsäule vorkonzentriert und anschließend zwecks Trennung und

Gradienten-HPLC von „Primary Grade Water“ und Reinstwasser



Analyse in den Elutionsmittelstrom abgegeben werden. Auf diese Weise können Proben mit 50 oder 100 ml analysiert werden. Hierfür ist ein Wassersystem der Spitzenklasse vom Typ I (vorzugsweise Type I*) unverzichtbar, um einen Gehalt an Elementverunreinigungen im ppt-Bereich, einen spezifischen Widerstand von 18,2 M Ω -cm sowie einen geringen TOC-Gehalt zu erzielen. Die mehrstufige Überwachung garantiert einen Reinheitsgrad, der von alternativen Geräten nicht erreicht werden kann (siehe PureSure-Diagramm auf Seite 10). Eine optimale Leistung wird erzielt, wenn nach guter Vorbehandlung eine kontinuierliche Rezirkulation und wiederholte Reinigung des Wassers vom Typ I erfolgt.



Allgemeine Laboranwendungen

Allgemeine Chemie

Für allgemeine chemische Anwendungen wird aufbereitetes Wasser für Laboranwendungen mit einem spezifischen Widerstand $>1 \text{ M}\Omega\text{-cm}$, einem TOC-Gehalt $< 50 \text{ ppb}$ und einem Bakteriengehalt $<10 \text{ KBE/ml}$ empfohlen.

Waschen/Spülen von Glasgefäßen

Das Waschen von Glasgefäßen ist eine Arbeit, die in den meisten Laboren täglich durchgeführt wird. Der Reinheitsgrad des Wassers hängt von der Art der Anwendung ab. Um die Kosten niedrig zu halten (und je nach lokaler Trinkwasserqualität), werden die meisten Allzweckglasgefäße mit Wasser des Typs III gewaschen. Für empfindlichere Techniken zur Analyse oder Forschung sollte Wasser des Typs II mit einem spezifischen Widerstand von 1 bis $15 \text{ M}\Omega\text{-cm}$ verwendet werden. Für kritische Anwendungen wie die Spurenanalyse (z. B. ICP-MS), empfindliche Zellkulturen oder klinische Methoden mit sehr hohen Anforderungen, sollten die Glasgefäße vor allem im letzten Spülgang mit Reinstwasser gewaschen werden. Es ist wenig sinnvoll, Reinstwasser für das Ansetzen der Puffer, Medien oder Verdünnungsmittel zu verwenden, wenn sie in verunreinigten Glasgefäßen angesetzt werden. Für diese Anwendungen sollte Wasser des Typs I (Reinstwasser) mit einem spezifischen Widerstand von $18,2 \text{ M}\Omega\text{-cm}$, einem TOC-Gehalt $< 10 \text{ ppb}$ und einem Bakteriengehalt $<1 \text{ KBE/ml}$ verwendet werden.

Qualitative Analysen

Die meisten qualitativen Analysemethoden für größere und kleinere Bestandteile erfordern aufbereitetes Wasser für allgemeine Laboranwendungen mit einem spezifischen Widerstand $>1 \text{ M}\Omega\text{-cm}$, einem TOC-Gehalt $< 50 \text{ ppb}$ und einem geringen Partikel- und Bakteriengehalt. Für empfindlichere Techniken wie ICP-MS wird jedoch Reinstwasser verlangt. Dies kann mit Hilfe eines „Polishers“ produziert werden, der elementare Verunreinigungen bis auf ppt-Konzentrationen reduziert und einen spezifischen Widerstand von $18,2 \text{ M}\Omega\text{-cm}$ sowie einen geringen TOC-Gehalt erzielt.

Probenverdünnung und Reagenz Vorbereitung

Das Wasser für die Verdünnung von Proben sowie für Blindproben, Reagenzien und Standards muss rein genug sein, um nachfolgende Analysen nicht zu beeinflussen. Für die Vorbereitung von Puffern zu allgemeinen Zwecken, Blindproben und Standards für allgemeine chemische Techniken sowie Analysen $> 1 \text{ ppm}$ ist der Einsatz von Wasser für allgemeine Laboranwendungen mit einem typischen spezifischen Widerstand $>1 \text{ M}\Omega\text{-cm}$, einem TOC-Gehalt $<50 \text{ ppb}$ und einem geringen Bakteriengehalt ausreichend, um akkurate Ergebnisse zu erzielen. Für die Spurenanalyse im ppb-Bereich wird Wasser des Typs I (Reinstwasser) zur Vorbereitung von Blindproben und Standards gefordert.

SPE – Festphasenextraktion

Diese Technik findet breite Anwendung bei der Bestimmung organischer Spurenelemente als Vorbehandlung, um die Trennung der zu untersuchenden Komponenten von den Komponenten der Matrix zu erreichen. Für die Spurenanalyse wird Wasser von höchster organischer Reinheit verlangt, um Blindproben und Standards vorzubereiten und die Festphase zu spülen. Diese Anforderungen werden am besten mit einem Typ-I-System der Spitzenklasse mit einem minimalen TOC-Wert (speziell für diesen Zweck entwickelt) erfüllt, das mit durch Umkehrosmose vorbehandeltem Wasser gespeist wird. Zur Beibehaltung einer gleich bleibend hohen Wasserqualität sind ggf. zusätzliche Verfahrensprotokolle erforderlich.

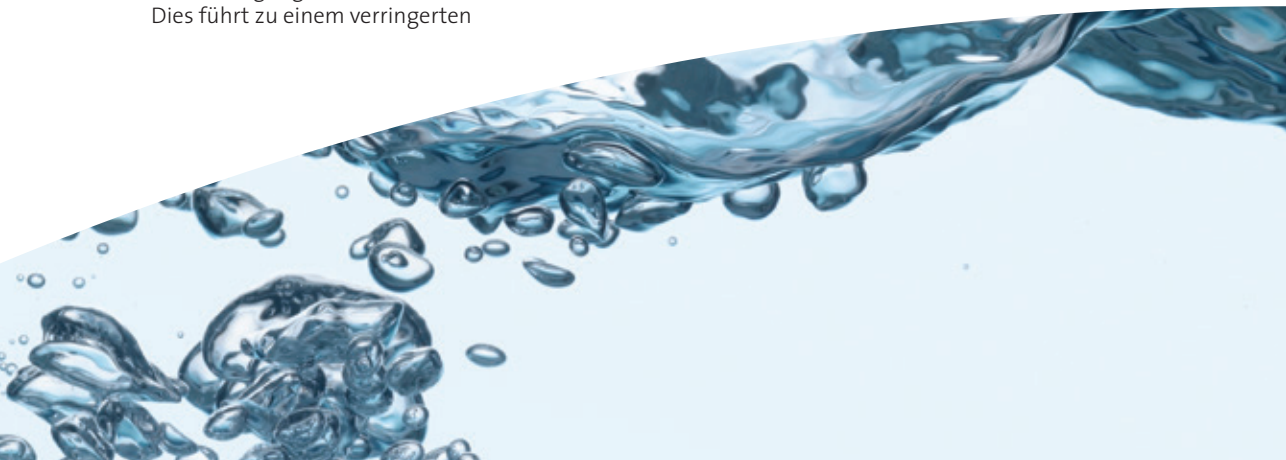
Dampferzeuger

Dampferzeuger werden bei einer Reihe von Anwendungen eingesetzt, einschließlich Reinraum-Luftbefeuchtung, anderer Arten von Befeuchtung, direkter Dampfheizung, Injektion sowie bei Autoklaven und Sterilisatoren. Die meisten Dampferzeuger profitieren von einer Vorbehandlung der Wasserversorgung, um den Niederschlag von Verunreinigungen zu verhindern. Dies führt zu einem verringerten

Wartungsbedarf, verbesserter Leistung und höheren Hygienestandards. Dampferzeuger können Wasser des Typs III mit einer spezifischen Leitfähigkeit im Bereich 1–50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Widerstand 0,02 bis 1,0 $\text{M}\Omega\text{-cm}$) verwenden, das gewöhnlich nach entsprechender Vorbehandlung aus Trinkwasser mittels Umkehrosmose hergestellt wird. Einige Stellen wenden jetzt strikte Spezifikationen für das Wasser an, das zur Produktion von „reinem Dampf“ für Desinfektionszwecke im Gesundheitswesen eingesetzt wird.

TOC-Analyse

Die TOC-Analyse ist eine unspezifische Methode zur Bestimmung des Gesamtanteils von Kohlenstoff in organischen Verbindungen. Die Anwendungen reichen von hohen Konzentrationen in Abfallflüssigkeiten und Prozessströmen bis hin zu Konzentrationen im Sub-ppb-Bereich in Reinstwasser. Das Wasser wird zur Verdünnung von Proben und Vorbereitung von Reagenzien und Standards verwendet. Für die Messung hoher Konzentrationen ist Wasser des Typs II ausreichend, Analysen im Spurenbereich erfordern Wasser des Typs I (Reinstwasser).





Wasseranalyse

Wasseranalysen werden zu unterschiedlichsten Zwecken durchgeführt, z. B. um sicherzustellen, dass das Trinkwasser den gegenwärtigen Normen entspricht, zur Prüfung, ob Aufbereitungsprozesse erfolgreich durchgeführt wurden, und für Umwelttests von Seen und Flüssen. Die Wasseranalyse erfordert aufbereitetes Wasser für die Vorbereitung von Proben, Standards und Blindproben, die alle eine ausreichend hohe Reinheit aufweisen müssen, um die entsprechenden Analysetechniken nicht zu beeinträchtigen. Diese Analyseanwendungen werden gewöhnlich mit Wasser des Typs II mit einem spezifischen Widerstand $>5 \text{ M}\Omega\text{-cm}$, einem TOC-Gehalt $<50 \text{ ppb}$ und einem Bakteriengehalt $<1 \text{ KBE/ml}$ durchgeführt.

Puffer und Mediovorbereitung

Der Reinheitsgrad zum Ansetzen oder zur Verdünnung von Reagenzien hängt von der Empfindlichkeit der Anwendung ab. Für viele Anwendungen der allgemeinen Chemie ist die Empfindlichkeit nicht ausschlaggebend, daher ist Wasser des Typs II ausreichend. Dieses Wasser hat den zusätzlichen Vorteil, dass es nicht nur in Bezug auf Ionen eine hohe Reinheit aufweist, sondern durch die Einbindung zusätzlicher Technologien wie UV-Photooxidation und Filtration in den Umwälzkreislauf auch einen geringen Gehalt an organischen Verbindungen und Mikroorganismen gewährleisten kann.

Klimakammern & Pflanzenzuchträume

Die Salzkonzentrationen und der Bakteriengehalt des Wassers sind bei diesen Anwendungen ausschlaggebend. Das Entfernen von Silicium (das in Speisewasser enthalten sein kann und nicht von allen Aufbereitungstechniken entfernt wird) wird als wichtig erachtet, um ein „Zerrieseln“, d. h. die Ablagerung von Silicium auf Pflanzen oder Proben, zu vermeiden. Bei Anlagen mit begehbaren Kammern gewinnt die bakterielle Qualität zunehmend an Bedeutung, da eine Verunreinigung durch in der Luft enthaltene Bakterien die Ergebnisse verfälschen kann. Gewöhnlich ist ein Aufbereitungssystem zur Herstellung von Wasser des Typs II oder III ausreichend. Falls jedoch der Bakteriengehalt eine wichtige Rolle spielt, sollte das System auch eine vollständige Umwälzung zur Kammer sowie eine Online-UV-Behandlung des rezirkulierenden Wassers beinhalten. Für diese Anwendungen eignen sich hervorragend die BIOPURE-Systeme von ELGA, die speziell für die hohen Anforderungen im Gesundheitswesen entwickelt wurden.



Analytik und allgemeine Anwendungen

Technik	Empfindlichkeit	Spez. Widerstand* MΩ-cm	TOC ppb	Filter µm	Bakterien KBE/ml	Endotoxin EU/ml	Nuklease	Reinheitsgrad des Wassers
Elektrochemie	Allgemein Hoch	>5 >18	<50 <10	<0,2 <0,2	NZ <1	NZ NZ	NZ NZ	Allg. Laboranwendungen Ultraprein
Speisung von Destillieranlagen	Gering	>0,05	<500	NZ	NZ	NZ	NZ	Primary
Speisung von Reinstwassersystemen	Allgemein Hoch	>0,05 >1	<50 <10	NZ <0,2	NZ <1	NZ NZ	NZ NZ	Primary Ultraprein
Flammen-AAS	Allgemein	>5	<500	<0,2	NZ	NZ	NZ	Allg. Laboranwendung
GC-MS	Hoch	>18	<3	<0,2	<1	NZ	NZ	Ultraprein
Allgemeine Chemie	Allgemein	>1	<50	<0,2	<10	NZ	NZ	Allg. Laboranwendung
GF-AAS	Hoch	18,2	<10	<0,2	<10	NZ	NZ	Ultraprein
Waschen von Glasgeräten	Allgemein Hoch	>1 >18	<50 <10	<0,2 <0,2	<10 <1	NZ NZ	NZ NZ	Allg. Laboranwendungen Ultraprein
HPLC	Allgemein Hoch	>1 >18	<50 <3	<0,2 <0,2	<1 <1	NZ NZ	NZ NZ	Allg. Laboranwendungen Ultraprein
ICP-AES	Allgemein Hoch	>5 >18	<50 <10	<0,2 <0,2	NZ <1	NZ NZ	NZ NZ	Allg. Laboranwendungen Ultraprein
ICP-MS	Allgemein Hoch	>10 18,2	<50 <10	<0,2 <0,2	<10 <1	NZ NZ	NZ NZ	Allg. Laboranwendungen Ultraprein
Ionenchromatographie	Allgemein Hoch	>5 18,2	<50 <10	<0,2 <0,2	<10 <1	NZ NZ	NZ NZ	Allg. Laboranwendungen Ultraprein
Probenverdünnung und Reagenz Vorbereitung	Allgemein Hoch	>1 >18	<50 <10	<0,2 <0,2	<1 <1	NZ NZ	NZ NZ	Allg. Laboranwendungen Ultraprein
Festphasenextraktion	Allgemein Hoch	>1 >18	<50 <3	<0,2 <0,2	<10 <1	NZ NZ	NZ NZ	Allg. Laboranwendungen Ultraprein
Photometrie	Allgemein Hoch	>1 >18	<50 <10	<0,2 <0,2	<1 <1	NZ NZ	NZ NZ	Allg. Laboranwendungen Ultraprein
Dampferzeugung	Allgemein	>1	<50	<0,2	<1	NZ	NZ	Allg. Laboranwendung
TOC-Analyse	Allgemein Hoch	>1 >18	<50 <3	<0,2 <0,2	<10 <1	NZ NZ	NZ NZ	Allg. Laboranwendungen Ultraprein
Nachweis von Spurenmetallen	Allgemein Hoch	>5 18,2	<50 <10	<0,2 <0,2	<10 <1	NZ NZ	NZ NZ	Allg. Laboranwendungen Ultraprein
Wasseranalyse	Allgemein Hoch	>5 >18	<50 <10	<0,2 <0,2	<10 <1	NZ NZ	NZ NZ	Allg. Laboranwendungen Ultraprein

* Bei 25 °C NZ – nicht zureffend NG – nicht gemessen Zahlen in rot – kritische Verunreinigungen



Life Science- Anwendungen

**(Zusammenfassung in der Tabelle
auf Seite 22)**

Forschungs- anwendungen

Molekularbiologie

Die molekularbiologische Forschung, deren Schwerpunkt auf dem Studium von Nukleinsäuren, Proteinen und Enzymen liegt, kann durch verunreinigende Mikroorganismen und zugehörige, biologisch aktive Zellbestandteile und Produkte schwerwiegend beeinträchtigt werden. Neben dem Entfernen von Nukleasen aus dem Wasser ist darauf zu achten, dass eine ungeeignete Wasserqualität keine Auswirkungen auf die Salzkonzentrationen vorbereiteter Lösungen für Elektrophorese und Blotting oder auf die Produktion von Reagenzien für DNA-Sequenzierung und PCR (Polymerase-Kettenreaktion) hat. Der Effekt von Huminsäure als DNA-Hemmstoff wird häufig übersehen. All die genannten Probleme können durch die Wahl eines maßgeschneiderten, qualitativ hochwertigen „Genetics Grade“ Wasseraufbereitungssystems umgangen werden, das Wasser mit einem Reinheitsgrad über dem von Typ I liefert.

Elektrophorese

Makromoleküle können durch den Einsatz mehrerer unterschiedlicher Techniken, einschließlich chemischer Methoden, Ultrazentrifugation und Elektrophorese, voneinander getrennt werden. Zu den Hauptanforderungen für Wasser, das bei der Elektrophorese eingesetzt wird, zählt ein geringer Gehalt an biologisch aktiven Molekülen wie Endotoxinen (typische Wert $<0,005$ EU/ml), Nukleasen und Proteasen (nicht messbar). Am besten eignet sich Reinstwasser mit einem spezifischen Widerstand von $18,2 \text{ M}\Omega\text{-cm}$, einem TOC-Gehalt <10 ppb C, einer Partikelfiltration von $0,1 \mu\text{m}$ oder feiner und einem Bakteriengehalt < 1 KBE/ml.

Elektrophysiologie

Die Elektrophysiologie befasst sich mit den biologischen Antworten auf elektrische Ströme und elektromagnetische Felder. Die Methoden reichen von Messungen an Tieren bis hin zu Studien an einzelnen Zellen mit Mikroelektroden und Patch-Clamp-Techniken. Die Techniken der Elektrophysiologie sind

oftmals sehr empfindlich und können durch die Verwendung von Wasser mit einem relativ hohen Gehalt an anorganischen Verunreinigungen beeinträchtigt werden. Normalerweise sollte Wasser des Typs II mit einem spezifischen Widerstand $>1 \text{ M}\Omega\text{-cm}$, einem TOC-Gehalt $<50 \text{ ppb}$ und einem Bakteriengehalt $<1 \text{ KBE/ml}$ verwendet werden.

Hybridisierung

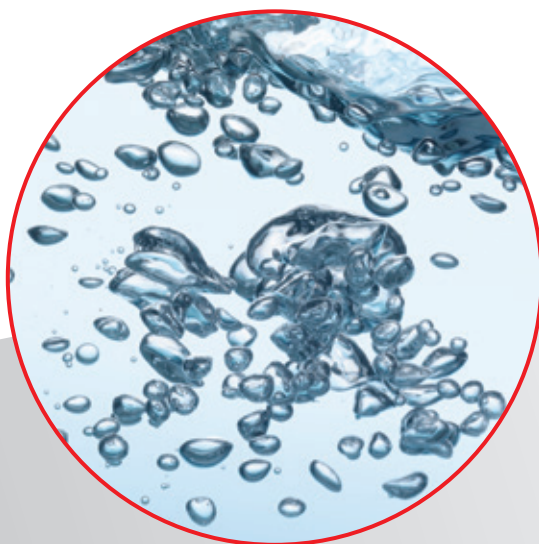
– siehe Molekularbiologie

Endotoxin-Analyse

Endotoxin-Spezifikationen existieren für ein breites Spektrum von Wasseranwendungen, darunter Dialyse, injizierbare Stoffe und Zellkulturen. Die maximal zulässigen Konzentrationen reichen von $0,25 \text{ EU/ml}$ (Endotoxin-Einheiten/Milliliter) bis $0,03 \text{ EU/ml}$. Zur Endotoxin-Analyse ist Wasser des Typs I (Reinstwasser) mit einer entsprechenden Endotoxin-Spezifikation von normalerweise $0,05 \text{ EU/ml}$ oder weniger erforderlich. Das Wasser muss mit Ultrafiltern oder geladenen Filtern, bevorzugt in Kombination mit UV-Photooxidation, behandelt werden.

Histologie

Zur Histologie verwendete Zellen sind fixiert und nicht lebensfähig, sodass Wasser des Typs II ausreichend ist. Typische Richtwerte sind ein spezifischer Widerstand von $>1 \text{ M}\Omega\text{-cm}$, ein TOC-Gehalt $<50 \text{ ppb}$ und ein Bakteriengehalt $<1 \text{ KBE/ml}$.





Hydroponik

Die Wasserquelle für Hydroponik (gewerbliche Hydrokultur) muss eine ausreichende Reinheit aufweisen, damit nicht nur die hinzugefügten Konzentrationen von Mineralien und Nährstoffen genau angezeigt, sondern auch die indirekten Auswirkungen einer Verunreinigung verhindert werden können. Hohe Konzentrationen gelöster Stoffe, insbesondere Calcium und Magnesium, können zu einer hohen Alkalinität führen, die je nach Wassertiefe variiert. Ferner können hohe Konzentrationen von Natrium und Chlorid direkt toxisch für Pflanzen sein und indirekten Schaden verursachen, indem sie die Aufnahme von Calcium, Magnesium, Nitrat und Spurenelementen durch die Pflanzen beeinträchtigen. Für Hydroponik wird Wasser des Typs II mit einem geringen Gehalt an ionischen, organischen und bakteriellen Verunreinigungen empfohlen.

Immunzytochemie

Der Einsatz von Antikörpern in der Immunzytochemie zum Nachweis der Verteilung spezifischer Proteine ist Interferenzen durch verunreinigende Mikroorganismen und damit verbundene, biologisch aktive Zellenbestandteile und Produkte unterworfen. Daher wird der Einsatz pyrogenfreiem Wasser des Typs I (Reinstwasser) empfohlen. Reinstwasser entsteht durch Nachbehandeln (Polishern) von Wasser, das mit Hilfe von

Entionisierung, Umkehrosmose oder Destillation aufbereitet worden ist. Die anschließende Ultrafiltration stellt sicher, dass Nukleasen und Endotoxine entfernt werden.

Mikrobiologische Analyse

Für die routinemäßige mikrobiologische Analyse ist aufbereitetes Wasser des Typs II erforderlich, das weitgehend frei von bakteriellen Verunreinigungen ist und einen geringen Gehalt an Verunreinigungen durch Ionen, organische Verbindungen und Partikel aufweist. Typische Richtwerte sind ein spezifischer Widerstand von $>1 \text{ M}\Omega\text{-cm}$, ein TOC-Gehalt $<50 \text{ ppb}$ und ein Bakteriengehalt $<1 \text{ KBE/ml}$.

Forschung zu monoklonalen Antikörpern

Monoklonale Antikörper sind ein wertvolles Werkzeug bei der Entwicklung neuer Therapeutika und *in-vivo*-Diagnostikprodukte. Zur Kultivierung empfindlicher Zelllinien muss sichergestellt werden, dass die verwendeten Medien oder Puffer einen hohen Reinheitsgrad aufweisen. Obwohl hohe Konzentrationen an organischen und anorganischen Verbindungen und gelöste Gase die Kultur direkt oder indirekt, z. B. über Änderungen des pH-Wertes, beeinträchtigen können, stellen verunreinigende Mikroorganismen und ihre zugehörigen Produkte ein besonders hohes Risiko für Anwendungen mit Zellkulturen dar. Wasser, das für Zellkulturen verwendet



wird, die monoklonale Antikörper produzieren, sollte mindestens vom allgemeinen Laborgrad sein und einen spezifischen Widerstand von $>10 \text{ M}\Omega\text{-cm}$, einen TOC-Gehalt $< 50 \text{ ppb}$ und einen Bakteriengehalt $< 1 \text{ KEB/ml}$ aufweisen. Für empfindliche Säugetier-Zellkulturen wird der Einsatz pyrogenfreien Wassers des Typs I empfohlen.

Pflanzengewebekultur (Mikropropagation)

Mikropropagationstechniken gestatten das Klonen von Pflanzenspezies in großen Mengen und die Produktion krankheitsfreier Pflanzen. Zur Minimierung der Auswirkungen potenziell kontaminierender, biologisch aktiver Stoffe wird der Einsatz von pyrogenfreiem Wasser des Typs I (Reinstwasser) empfohlen.

PCR (Polymerase- Kettenreaktion)

– siehe Molekularbiologie

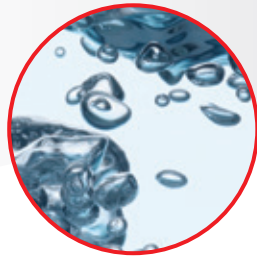
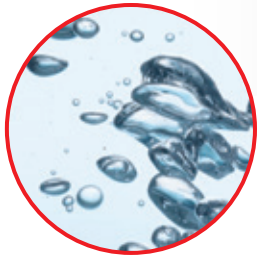
Säugetier- und Bakterienzellkulturen

Für die erfolgreiche Züchtung von Zellkulturen sind hochreine Medien und Puffer erforderlich, um sicherzustellen, dass die Zellen frei von Bakterien-, Hefe- und Virenverunreinigungen gehalten werden. Obwohl hohe Konzentrationen an organischen und anorganischen Verbindungen und gelöste Gase die Kultur direkt

oder indirekt, z. B. über Änderungen des pH-Wertes, beeinträchtigen können, stellen verunreinigende Mikroorganismen und ihre zugehörigen Produkte ein besonders hohes Risiko für Anwendungen mit Zellkulturen dar. Für Bakterienzellkulturen wird Wasser mindestens des Typs II mit einem spezifischen Widerstand $>10 \text{ M}\Omega\text{-cm}$, einem TOC-Gehalt $< 50 \text{ ppb}$ und einem Bakteriengehalt $< 1 \text{ KBE/ml}$ empfohlen. Die empfindlicheren Säugetier-Zellkulturen erfordern pyrogenfreies Wasser des Typs I (Reinstwasser).

Radioimmunoassay (RIA) und Enzyme-linked Immunosorbent Assay (ELISA)

Die beim ELISA (enzymgekoppelter Immunadsorptionstest) verwendeten Antikörperreaktionen sind robust und erfordern gewöhnlich nicht den höchsten Wasserreinheitsgrad. Wasser des Typs II mit einem spezifischen Widerstand $>10 \text{ M}\Omega\text{-cm}$, einem TOC-Gehalt $< 50 \text{ ppb}$ und einem Bakteriengehalt $< 1 \text{ KBE/ml}$ ist ausreichend.



Anwendungen im klinischen Gesundheitswesen

Klinische Biochemie & Immunologie

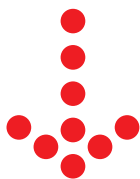
(Siehe Kapitel 2 Klinische Diagnose)

In klinischen Laboren verwendetes Wasser muss die entsprechenden Wasserqualitätsstandards erfüllen. Der wichtigste ist der Typ CLRW gemäß dem Clinical Laboratory Standards Institute (CLSI) – siehe Seite 65. Wasser, das zur Versorgung klinischer Analysegeräte oder bei vorbereitenden oder analytischen Verfahren eingesetzt wird, sollte eine hohe Qualität aufweisen und durch eine Kombination aus mehreren Aufbereitungstechnologien hergestellt werden. Die erforderliche Wasserqualität für klinische Analysegeräte hängt von der Herstellerspezifikation ab. Sie sollte jedoch in der Regel einen spezifischen Widerstand von $>10 \text{ M}\Omega\text{-cm}$, einen TOC-Gehalt $<50 \text{ ppb}$ und einen Bakteriengehalt $<5 \text{ KBE/ml}$ aufweisen. Infolge der zunehmenden Integration von Immunoassay-Systemen in automatisierte Analyseanlagen steigen jedoch die Anforderungen in Bezug auf einen geringeren Bakteriengehalt. Der Hauptgrund liegt darin, dass einige Assays Enzymmarker verwenden, die durch Nebenprodukte im Wasser vorhandener Bakterien beeinflusst

werden können. In diesem Falle ist für Bakterien eine Spezifikation von $<1 \text{ KBE/ml}$ (zum Analysegerät, nicht nur am Auslass des Wassersystems) erforderlich. Um dies zu erreichen, muss das System zur Verteilung und Speicherung des Wassers sorgfältig geplant werden. Ihr ELGA-Experte vor Ort steht Ihnen gerne mit fachkundigem Rat zur Seite.

Endoskopie

Kritische Anwendungen im Gesundheitswesen können sehr geringe Bakterienkonzentrationen (im Bereich von $10 \text{ KBE}/100\text{ml}$) erforderlich machen. In einigen Fällen muss Wasser mit geringem Endotoxin-Gehalt zum Spülen von Endoskopen nach dem Desinfizieren verwendet werden. Hier ist der Einsatz von Wasser des Typs III oder II mit UV-Behandlung, Ultrafiltration und regelmäßiger Sanitisierung möglich. Für kritische Anwendungen empfiehlt sich ein maßgeschneidertes System zur Erreichung der geforderten Bioreinheit (z. B. ELGA das BIOPURE-System).



Life Science

Technik	Empfindlichkeit	Spez. Widerstand* MΩ-cm	TOC ppb	Filter µm	Bakterien KBE/ml	Endotoxin EU/ml	Nuklease	Reinheitsgrad des Wassers
Bakterien-Zellkultur	Allgemein	>1	<50	<0,2	<1	NZ	NZ	Allg. Laboranwendung
Klinische Biochemie	USP/EP CLSI	>2 >10	<500 <500	<0,2 <0,2	<1 <1	NZ NZ	NZ NZ	Allg. Laboranwendung Allg. Laboranwendung
Elektrophorese	High	>18	<10	UF	<1	<0,005	NG	Pyrogenfrei Ultrarein
Elektrophysiologie	Allgemein	>1	<50	<0,2	<1	NZ	NZ	Allg. Laboranwendung
ELISA	Allgemein	>1	<50	<0,2	<1	NZ	NZ	Allg. Laboranwendung
Endotoxin-Analyse	Standard Hoch	>1 >18	<50 <10	<0,2 UF	<1 <1	<0,05 <0,002	NZ NG	Pyrogenfrei Labor Pyrogenfrei Ultrarein
Histologie	Allgemein	>1	<50	<0,2	<1	NZ	NZ	Allg. Laboranwendung
Hydroponik	Allgemein	>1	<50	<0,2	<1	NZ	NZ	Allg. Laboranwendung
Immunzytochemie	Hoch	>18	<10	UF	<1	<0,002	NG	Pyrogenfrei Ultrarein
Säugetier-Zellkultur	Hoch	>18	<10	UF	<1	<0,002	NG	Pyrogenfrei Ultrarein
Medienvorbereitung	Allgemein	>1	<50	<0,2	<1	NZ	NZ	Allg. Laboranwendung
Mikrobiologische Analyse	Allgemein	>1	<50	<0,2	<1	NZ	NZ	Allg. Laboranwendung
Molekularbiologie	Hoch	>18	<10	UF	<1	<0,002	NG	Pyrogenfrei Ultrarein
Forschung zu monoklonalen Antikörpern	Allgemein Hoch	>1 >18	<50 <10	<0,2 UF	<1 <1	NZ <0,002	NZ NG	Allg. Laboranwendungen Pyrogenfrei Ultrarein
Pflanzengewebekultur	Hoch	>18	<10	UF	<1	<0,002	NG	Pyrogenfrei Ultrarein
Radioimmunoassay (RIA)	Allgemein	>1	<50	<0,2	<1	NZ	NZ	Allg. Laboranwendung

* Bei 25 °C NZ – nicht zutreffend NG – nicht gemessen Zahlen in rot – kritische Verunreinigungen



KAPITEL 2

Klinische Diagnose

– spezifische Verunreinigungen und ihre Auswirkungen auf Tests

Die Wasserqualität ist bei der klinischen Diagnose von entscheidender Bedeutung. Eine Wasserqualität unterhalb der akzeptablen Standards beeinträchtigt nicht nur die Chemie der Tests, sondern möglicherweise auch den Betrieb des Analysegerätes im Allgemeinen, was wiederum die Zuverlässigkeit der Testergebnisse mindert und die Kalibrierzeiten sowie die Kosten für Reagenzien erhöht.

1 Küvetten-Spülstation

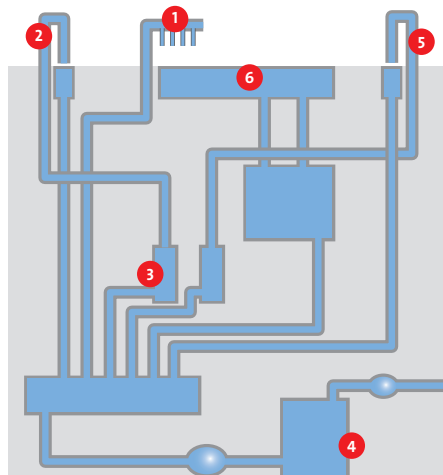
Wasser gleich bleibend hoher Qualität für die effektive Reinigung von Küvetten; eliminiert Verschleppungen und Verunreinigungen.

2 Probenfühler und Spülstation

Wasser gleich bleibend hoher Qualität erhöht die Kalibrierungsstabilität und verhindert eine Querkontamination von Proben.

3 Pipettiersystem

Qualitativ hochwertiges, partikelfreies Wasser für akkurates und genaueres Pipettieren von Proben und Reagenzien.



Schematische Darstellung der Verwendung von aufbereitetem Wasser in einem klinischen Analysesystem

6 Inkubator-Bad

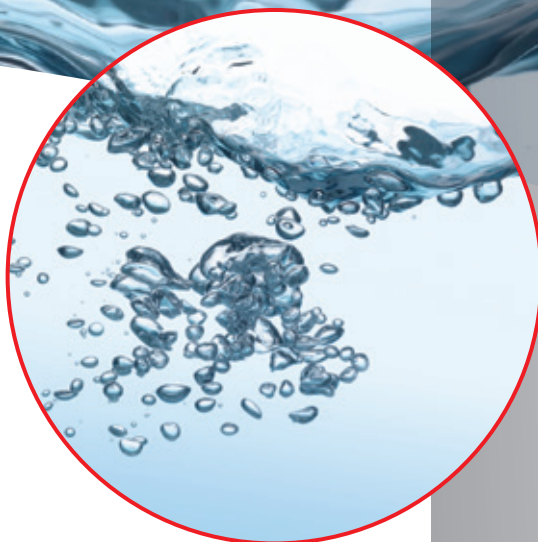
Bakterien- und partikelfreies Wasser für akkurate und präzise photometrische Messungen.

5 Reagenzfühler und Spülstation

Bakterienfreies Wasser gleich bleibend hoher Qualität erhöht die Stabilität von Reagenzien und eliminiert Verunreinigungen zwischen Reagenzien.

4 Interner Tank

UV und 0,2-Mikron-Filter zur Kontrolle von Bakterien und Partikel; reduziert die Verunreinigung durch Bakterien.



Wasser kann zahlreiche verschiedene Aufgaben in klinischen Analysegeräten übernehmen:

- Spülen von Reaktionsküvetten
- Versorgung von Spülstationen für Messfühler und Rührschaufeln
- Verdünnung von Reagenzien, Proben und Reinigungsmitteln
- Inkubator-Bäder
- Schnittstelle zwischen Spritze und Probe
- Verunreinigung und Verschleppung beim Spülen von Proben- und Reagenzsonden
- Beeinträchtigung von Proben und Verdünnungen, was zu Fehlern und geringer Reagenzstabilität führt
- Bei Verwendung als Null-Standard (Ca, Mg, PO_4 , HCO_3 usw.) verringert sich die Kalibrierstabilität und -empfindlichkeit
- In Immunoassay-Systemen können bakterielle Nebenprodukte (vor allem alkalische Phosphatase) die Resultate einiger enzymbasierter Assays beeinflussen

Eine schlechte Wasserqualität kann die Leistung des Analysegeräts in vielerlei Hinsicht beeinträchtigen:

- Verringerte Genauigkeit des Pipettier Volumens durch Partikel und Bakterien
- Fehlerhafte photometrische Messwerte durch Interferenz von Partikeln im Wasserbad
- Verunreinigung, Verschleppung und Wasserlinien beim Spülen von Küvetten

Der wohl wichtigste Aspekt bei der Verwendung von Wasser für automatisierte Geräte zur pathologischen Analyse ist die Verfügbarkeit. Laboratorien, die nicht über die notwendigen Mittel oder den Platz für ein „Duplex“-System verfügen, benötigen ein robustes Design mit ausfallsicheren Systemen, die bei Notfällen oder einem Ausfall den Betrieb aufrecht erhalten.



Internationale Normen

Gereinigtes Wasser wird in allen Industriezweigen und wissenschaftlichen Einrichtungen verwendet. Aus diesem Grund haben internationale und nationale Normungsbehörden Wasserqualitätsnormen für allgemeine Anwendungsarten aufgestellt. Die wichtigsten Normen für den Bereich der klinischen Analysegeräte sind die des Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI), der Nachfolgeorganisation des NCCLS (National Committee for Clinical Laboratory Standards). (Nähere Informationen finden Sie unter Kapitel 4: Normen für aufbereitetes Wasser).

In Fällen, in denen Anwendungen einen höheren Reinheitsgrad erfordern als durch die existierenden Normen vorgesehen, bestimmt ELGA in Zusammenarbeit mit dem Analyser- Hersteller den korrekten Reinheitsgrad.

Clinical Laboratory Standards Institute (CLSI) – Preparation and testing of reagent Water in the Clinical Laboratory – Dritte Auflage (1997) – 2006 ersetzt

Die vom Institut CLSI in 3. Auflage herausgegebenen Richtlinien zur Wasseraufbereitung unterscheiden drei Haupttypen von Wasser (Typ I bis III), wobei Typ I für klinische Laboranwendungen und die Speisung automatisierter Instrumente am relevantesten ist. Diese Typenbezeichnungen wurden durch die Begriffe „Clinical Laboratory Reagent Water“ (CLRW), „Special Reagent Water“ (SRW) und „Instrument Feed Water“ (Speisewasser für Instrumente) abgelöst. Weitere Informationen zu diesen Reinheitsgraden finden Sie auf Seite 65.



	Typ I	Typ II	Typ III
Bakterien (KBE/ml), max.	10	1.000	keine Angabe
pH	keine Angabe	keine Angabe	5,0 - 8,0
Spez. Widerstand (MΩ-cm @ 25 °C), min.	10	1	0,1
SiO₂ mg/l, max.	0,05	0,1	1
Partikel	0,2-µm-Filter	keine Angabe	keine Angabe
Organische Verunreinigungen	Aktivkohle, Destillation oder Umkehrosiose	keine Angabe	keine Angabe

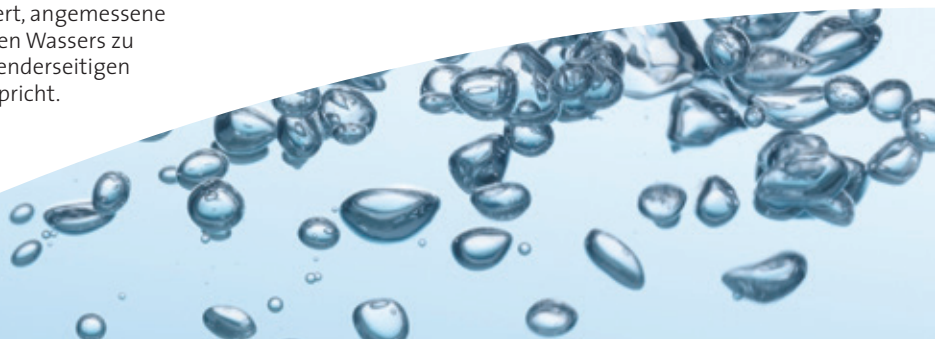
Trends in der klinischen Chemie

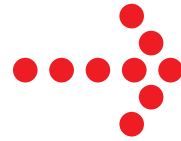
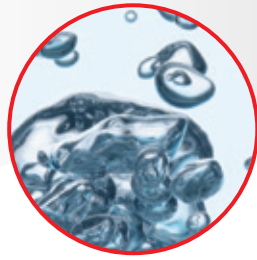
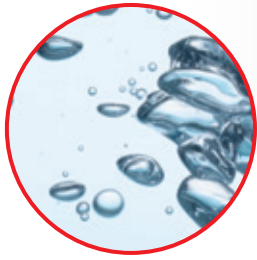
Die Automatisierung von Verfahren in der klinischen Chemie führt zu gesteigerter Effizienz, Produktivität und Wirtschaftlichkeit. Die Automatisierung dringt auch zunehmend in fortschrittliche Bereiche wie Probenkennzeichnung, Präanalytik (Probensortierung, Zentrifugieren, Entdeckelung und Verteilung in codierte Sekundärröhrchen für verschiedene Online- und Offline-Arbeitsstationen), Nachverfolgungssysteme für den Probentransfer zu verschiedenen Benutzern und schließlich ein gekühltes Speichersystem zur Probenlagerung für spätere Forschungs- und Testzwecke.

Validierung und Trendüberwachung

Die Validierung von Wasseraufbereitungssystemen wird zunehmend obligatorisch, d. h. es muss der objektive Nachweis erbracht werden, dass ein Aufbereitungssystem die Anforderungen für einen bestimmten Einsatzzweck oder eine spezifische Anwendung erfüllt. Das Wasser ist als „für die vorgesehenen Zwecke geeignet“ zu validieren und die Spezifikationen in Bezug auf die Reinheit sind in das Verfahren zur Validierung des Wasseraufbereitungssystems zu integrieren. Damit wird die Kapazität des Systems dokumentiert, angemessene Mengen aufbereiteten Wassers zu liefern, das den anwenderseitigen Anforderungen entspricht.

Nach der Validierung des Wassers als „zweckgeeignet“ muss unbedingt sichergestellt werden, dass es auch weiterhin die erforderlichen Spezifikationen erfüllt. Hierzu werden bestimmte Parameter in festgelegten regelmäßigen Abständen gemessen und dokumentiert. Mit diesem Verfahren wird ferner eine abnehmende Leistung der Komponenten im Aufbereitungssystem erkannt, bevor diese negative Auswirkungen auf die Wasserqualität hat. Die negative Veränderung eines gemessenen Parameters, z. B. des spezifischen Widerstands oder des TOC-Gehalts, ist ein Hinweis auf erforderliche Wartungsarbeiten oder weitere Nachforschungen mit dem Ziel, jederzeit die erforderliche Wasserqualität aufrecht zu erhalten. Zudem müssen kritische Parameter über einen gewissen Zeitraum hinweg aufgezeichnet werden, um schrittweise Änderungen der Wasserqualität erkennen und geeignete Gegenmaßnahmen ergreifen zu können. Wenn beispielsweise Ionenaustauscherkartuschen über die vorgesehene Lebensdauer hinaus verwendet werden, kann es zur Freisetzung von Verunreinigungen kommen, die Auswirkungen auf die Analyse haben, deren Konzentrationen aber nicht von den integrierten Überwachungssystemen gemessen werden.





Der Effekt von Anforderungen an Reinwasser

Höhere Reinheit

Immer modernere Analysetechnologien führen zu höheren Anforderungen an die Speisewasserqualität, um eine hohe Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit zu gewährleisten. Da Wasser für praktisch alle Prozesse in einem Analysegerät verwendet wird, ist die Überwachung und Überprüfung der Wasserqualität unverzichtbar für das Erzielen korrekter Testergebnisse. Die Integration mehrerer Technologien in ein einziges Analysegerät sowohl für chemische als auch für immunologische Anwendungen führt zu einem Bedarf an Wasser höheren Reinheitsgrads für sensible immunologische Tests.

Kleinere Proben- und Reagenzvolumen reduzieren zwar Kosten, erfordern aber auf Grund der erhöhten Empfindlichkeit kleinerer Probenvolumen Wasser mit einem höheren Reinheitsgrad.

Tests

Die Diagnose oder Ausbreitung bestimmter Krankheiten hängt mit den Konzentrationen spezifischer Proteine, so genannter Biomarker, im Blut zusammen. Eine erhöhte Konzentration von Tropinin beispielsweise deutet auf Arteriosklerose hin, das B-Typ natriuretische Peptid (BNP) ist ein Indikator für eine koronare Arterienkrankheit, AFP weist auf ein hepatozelluläres Karzinom hin, CA-19-9 steht in Korrelation mit Bauchspeicheldrüsenkrebs und PSA ist ein Indikator für Prostatakrebs. Diese Proteine kommen im

Allgemeinen in sehr geringen Konzentrationen im Blut vor, z. B. in Größenordnungen von nmol/l oder pmol/l, und sind nur durch extrem sensible Techniken nachweisbar. Im Vergleich zu herkömmlichen Tests/Assays bieten diese modernen Nachweismethoden den Vorteil, dass insgesamt weniger Tests durchgeführt werden müssen. Infolge ihrer höheren Empfindlichkeit ist jedoch ein angemessener Reinheitsgrad des Speisewassers unverzichtbar, um das Risiko von Verunreinigungen zu begrenzen.

Gesetzliche Vorschriften

In den meisten Ländern werden Labore der öffentlichen Hand von einer Zertifizierungsstelle beraten/geprüft, die Arbeitsverfahren und Richtlinien festlegt. Eine solche Zertifizierung ist für den privaten Bereich nicht verpflichtend, allerdings haben die damit verbundene Zunahme an Glaubwürdigkeit und weitere Vorteile dazu geführt, dass auch private Labore zunehmend die Registrierung durch Zertifizierungsstellen beantragen. Das Collegiate of American Pathologists (CAP), eigentlich für die USA zuständig, erhält zahlreiche Bewerbungen von Laboren aus anderen Ländern. Laut CAP-Empfehlung sollte Laborwasser mindestens die Anforderungen an den Reinheitsgrad „Clinical Laboratory Reagent Water“ (CLRW) gemäß CLSI erfüllen.

Hersteller klinischer Analysegeräte unterliegen ferner den Vorschriften von Organisationen wie der Federal Drug Association (FDA, US-Arzneimittelbehörde) und der Medical Devices Agency (britische Behörde für Medizinprodukte). In letzter Instanz sind die Benutzer von Analysegeräten dafür verantwortlich, dass ihre chemischen Verfahren validiert sind und aufbereitetes Wasser geeigneten Reinheitsgrads verwendet wird, um jederzeit präzise und wiederholbare Ergebnisse zu gewährleisten.

Mögliche Verunreinigungen in Wasser – Quellen und Aufbereitungstechnologien

Klinischer Test*	Interferenz *	Quelle	Entfernung durch
Gesamtcalcium	Fluorid	Wasseraufbereitung, Geologie	Umkehrosiose, Ionenaustausch
	Oxalat	Blätter, Vegetation	Umkehrosiose, Ionenaustausch, Aktivkohle
	Sulfate	Gestein, Wasseraufbereitung	Umkehrosiose, Ionenaustausch
	Calcium-Salze	Gestein, Wasseraufbereitung	Umkehrosiose, Ionenaustausch
Alkalische Phosphatase	Fluorid	Wasseraufbereitung	Umkehrosiose, Ionenaustausch
	Oxalat	Blätter, Vegetation	Umkehrosiose, Ionenaustausch, Aktivkohle
	Phosphat	Gestein, Waschmittel, Wasseraufbereitung	Umkehrosiose, Ionenaustausch
	Zink-Salze	Gestein	Umkehrosiose, Ionenaustausch
	Manganese	Gestein	Umkehrosiose, Ionenaustausch
	Arsenat	Gesteine, Pestizide	Umkehrosiose, Ionenaustausch
	Citrat	Zitrusfrüchte	Umkehrosiose, Ionenaustausch, Aktivkohle
	EDTA	Chemische Prozesse, Waschmittel	Umkehrosiose, Ionenaustausch, Aktivkohle
	Bakterien Endotoxine	Leitungsnetze/Biofilm Leitungsnetze/Biofilm	Umkehrosiose, 0,2 µm Filter, UV, San. Umkehrosiose, Ionenaustausch, Ultrafilter
Kreatinkinase (CK)	Oxidationsmittel	Wasseraufbereitung	Aktivkohle
Amylase	Oxalat	Blätter, Vegetation	Umkehrosiose, Ionenaustausch, Aktivkohle
	Citrat	Zitrusfrüchte	Umkehrosiose, Ionenaustausch, Aktivkohle
	Fluorid	Wasseraufbereitung	Umkehrosiose, Ionenaustausch
	EDTA	Chemische Prozesse, Waschmittel	Umkehrosiose, Ionenaustausch, Aktivkohle
Laktatdehydrogenase (LDH)	Oxalat	Blätter, Vegetation	Umkehrosiose, Ionenaustausch, Aktivkohle
	Urea	Vorgereinigtes Abwasser	Umkehrosiose, Aktivkohle
Phosphor	Citrat	Zitrusfrüchte	Umkehrosiose, Ionenaustausch, Aktivkohle
	Oxalat	Blätter, Vegetation	Umkehrosiose, Ionenaustausch, Aktivkohle
Ureastickstoff	Citrat	Zitrusfrüchte	Umkehrosiose, Ionenaustausch, Aktivkohle
	Fluorid (hochkonz.)	Wasseraufbereitung	Umkehrosiose, Ionenaustausch
Eisen	Natriumcitrat	Zitrusfrüchte	Umkehrosiose, Ionenaustausch, Aktivkohle
	EDTA	Chemische Prozesse, Waschmittel	Umkehrosiose, Ionenaustausch, Aktivkohle
	Fluorid	Wasseraufbereitung, Gestein	Umkehrosiose, Ionenaustausch
	Oxalat	Blätter, Vegetation	Umkehrosiose, Ionenaustausch, Aktivkohle
Magnesium	Citrate	Zitrusfrüchte	Umkehrosiose, Ionenaustausch, Aktivkohle
Triglyceride	Glyzerin	Frostschutzmittel, Kunststoffe	Umkehrosiose, Aktivkohle
LDH	Wasserstoffperoxid	Sanitisierungskemikalien	Aktivkohle, UV
Auf Peroxid basierende Reaktionen	Wasserstoffperoxid	Sanitisierungskemikalien	Aktivkohle, UV

* Verschiedene Quellen, u.a.: Tietz, Norbert W., ed., Clinical Guide to Laboratory Tests, 2. Auflage, 1990 und 4. Auflage, 2006 W.B. Saunders Co.



KAPITEL 3

Gesundheitswesen

Die wachsende Sorge über die Infektionskontrolle in Krankenhäusern und die Verbreitung von MRSA, Hepatitis, CJK und anderen resistenten Pathogenen hat dazu geführt, dass die Reinigung und Sterilisation von wieder verwendbaren medizinischen Geräten zunehmend durch Industrierichtlinien und internationale Normen geregelt werden. Bei der Sterilisation wieder verwendbarer medizinischer Instrumente sind zwei wesentliche Aspekte zu berücksichtigen: der Schutz von Personen (Patienten und Personal) und der Schutz von Geräten.

Patientenschutz (Vermeidung von Querkontamination)

Übertragbare oder transmissible spongiforme Enzephalopathien (TSE), auch als Prion-Krankheiten bekannt, sind eine Gruppe seltener progressiver Krankheiten, die das Gehirn und das Nervensystem des Menschen und einiger Säugetiere befallen. Diese (zum heutigen Zeitpunkt unheilbaren) Krankheiten sind durch die fortschreitende Beeinträchtigung der Hirnfunktion gekennzeichnet, einschließlich Gedächtnisverlust, Veränderung der Persönlichkeit und motorische Störungen, und verlaufen

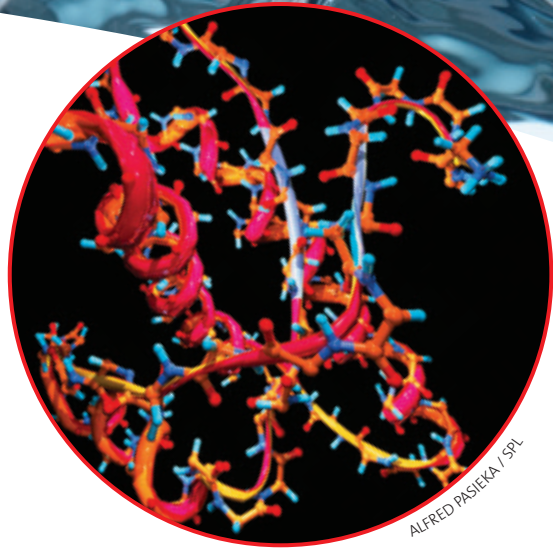
letztendlich tödlich. Zu den häufigsten Prion-Krankheiten, die den Menschen befallen können, gehören die klassische Creutzfeldt-Jakob-Krankheit (CJK) und eine neue Variante der Creutzfeldt-Jakob-Krankheit (vCJD), die beide mit der bovinen spongiformen Enzephalopathie (BSE) in Zusammenhang stehen. Betroffene Personen weisen gewöhnlich über viele Jahre nach einer Infektion hinweg keine Symptome auf. Während dieser langen Inkubationsphase sind sich also weder die Betroffenen noch das betreuende Gesundheitspersonal der potenziellen Ansteckungsgefahr bewusst, sofern die Personen nicht einer bekannten Risikogruppe angehören. Da

der Infektionserreger, der diese Krankheit auslöst, sehr stabil ist und nicht durch Routineverfahren zur Reinigung und Sterilisation von Instrumenten inaktiviert wird, besteht ein gewisses, wenn auch geringes Übertragungsrisiko im Verlauf chirurgischer Eingriffe bei betroffenen Personen, insbesondere bei einem Kontakt mit hochgefährdetem Gewebe wie dem Gehirn oder dem zentralen Nervensystem. Der Kampf gegen diese sekundären, im Krankenhaus erworbenen Infektionen (auch als nosokomiale Infektionen bezeichnet) und insbesondere gegen die Übertragung Prionen-basierter Krankheiten hat Gesundheitsbehörden und Berufskammern in verschiedenen Ländern dazu veranlasst, Vorschriften für das Verfahren zur Dekontaminierung von medizinischen Instrumenten einschließlich Endoskopen zu erlassen.

Zur Vermeidung einer Kontaminierung durch Prionen muss das Gesundheitspersonal sicherstellen, dass die Instrumente und Endoskope jederzeit absolut sauber, desinfiziert und einsatzbereit sind. Die gründliche Reinigung der Instrumente ist erforderlich, um zu gewährleisten, dass anhaftende Infektionserreger gemeinsam mit dem organischen Material, das sie schützt, entfernt werden. Dies ermöglicht einen besseren Kontakt zwischen dem Desinfektionsmittel und etwaig noch vorhandenen Erregern auf den Oberflächen des Instruments oder Geräts.

Schutz der Ausrüstung

Anorganische Verunreinigungen wie Rost, harte Wasserablagerungen (Kesselstein) und Reste von Reinigungsmitteln können im Laufe der Zeit die Oberfläche des Instruments beschädigen und günstige Bedingungen für ein Bakterienwachstum schaffen. Hitze und einige Desinfektionsmittel (Alkohole und Aldehyde) wirken ebenfalls gewebebefixierend und können dazu führen, dass bewegliche Teile eines Geräts versteifen, wenn die Oberflächen vor der Sterilisation/Desinfektion nicht gründlich gereinigt werden.



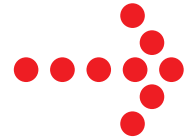
ALFRED PASIEKA / SPL

Der verringerte Einsatz chemischer Reinigungsmittel, ermöglicht durch eine gesteigerte Wasserqualität, bringt nachweisbare, wirtschaftliche Vorteile mit sich.

Typische Anforderungen an die Wasserqualität:

- **Gesamtgehalt an lebensfähigen Bakterien (TVC) von unter 10 KBE/100ml**
- **Endotoxin-Gehalt von unter 0,25 EU/ml**
- **Spez. Leitfähigkeit von unter 30 $\mu\text{S/cm}$**
- **Spülwassersysteme sind regelmäßig zu desinfizieren und zu validieren, um die kontinuierliche Einhaltung der Wasserspezifikationen zu gewährleisten**
- **Die Konformität ist durch regelmäßige Entnahme von Wasserproben nachzuweisen**

Diese Richtlinien und Standards wurden eingeführt, um das Risiko einer Querkontamination von Patienten mit einer Reihe von Bakterien zu minimieren, darunter Mykobakterien, *Pseudomonaden* und *Staphylococcus epidermis*.



Dekontaminierung von Endoskopen

Die meisten chirurgischen Instrumente werden durch einen Prozess aus Reinigung, thermischer Desinfektion und Sterilisation keimfrei gemacht; Endoskope und einige andere Instrumente sind jedoch thermolabil. Sie halten keine Temperaturen von 60 °C oder darüber aus und können daher nicht thermisch desinfiziert und sterilisiert werden.

Stattdessen werden Endoskope einem chemischen Desinfektionsverfahren unterzogen und dann in Reinwasser gespült, um alle Spuren des Desinfektionsmittels zu entfernen. Nach der Dekontaminierung muss das Instrument mit Sorgfalt behandelt werden, um jegliches Risiko einer erneuten Verunreinigung zu minimieren.

Die International Standards Organisation hat kürzlich Normen zu Anforderungen und Prüfverfahren für Reinigungs-Desinfektionsgeräte mit chemischer Desinfektion für thermolabile Endoskope (ISO 15883 Teil 4) veröffentlicht. Diese Normen sehen die Verwendung von Wasser mit einer mikrobiellen

Spezifikation von < 10 KBE/100 ml vor (anhand von mindestens zwei Proben getestet). Wenn das Instrument mit dem Blutkreislauf oder anderen normalerweise sterilen Bereichen des Körpers in Berührung kommt, dann muss gemäß dieser Norm das zum abschließenden Spülen verwendete Wasser auf die Einhaltung der in den nationalen Vorschriften festgelegten Grenzwerte hin kontrolliert und überwacht werden (z. B. HTM0101 in Großbritannien oder die US-Pharmakopöe „Water for Injection“ in einigen anderen Ländern). In vielen Ländern ist eine Endotoxin-Spezifikation von <0,25 EU/ml erforderlich.

Zur Einhaltung dieser strengen Standards wird ein Wasseraufbereitungssystem empfohlen, das Umkehrosmose mit rezirkulierender UV-Behandlung und Online-Filtration von Endotoxinen kombiniert. Die eigentliche Herausforderung besteht jedoch darin, ein Wasseraufbereitungssystem zu verwenden, das durch regelmäßige und einfach durchzuführende Desinfektion die biologische Reinheit („Biopurity“) beibehält.





KAPITEL 4

Wasseraufbereitung – Überblick

Die Quelle – Produktion von Trinkwasser

Aufbereitetes Laborwasser wird gewöhnlich *vor Ort* aus lokalem Trinkwasser hergestellt, das zuvor durch Behandlung von Rohwasser produziert wurde. Die generellen Anforderungen an die Produktion von Trinkwasser umfassen die Einhaltung der einschlägigen Vorschriften sowie akzeptable Eigenschaften hinsichtlich Klarheit, Geschmack und Geruch. Rohwasser stammt aus im Hochland gelegenen Quellen wie Speicherbecken, aus Flüssen oder aus unterirdischen Wasserschichten. Die Produktion von Trinkwasser umfasst mehrere Schritte, die je nach Wasserquelle, örtlichen und nationalen Vorschriften sowie Wahl der Technologien variieren.



Trinkwasser wird häufig

- zum Entfernen von Verschmutzungen durch eine Reihe von Siebfiltern geleitet und anschließend mit Ozon in Kontakttanks vermischt, um Pestizide und Herbizide zu oxidieren;
- behandelt, um überschüssiges Ozon zu zerstören;
- geklärt, um schwebende Feststoffe zu entfernen, die als Schlammkuchen gesammelt werden (zuweilen wird zur Unterstützung des Prozesses ein Flockungsmittel wie Polyaluminiumchlorid eingesetzt);
- durch Schwerkraftfilter mit Sandbett gesiebt bzw. weiter ozonisiert;
- mit granulärer Aktivkohle (GAC) gefiltert, um Feststoffe und organisches Material zurückzuhalten;
- zum Abtöten der restlichen Bakterien mit Chlor behandelt. Es wird eine geringe Restmenge belassen, um die Bakterienkonzentrationen niedrig zu halten. Ebenfalls verstärkt eingesetzt wird eine zusätzliche Ultrafiltrationsstufe zum Entfernen von Cryptosporidium.

Schwankungen der Rohwasserqualität

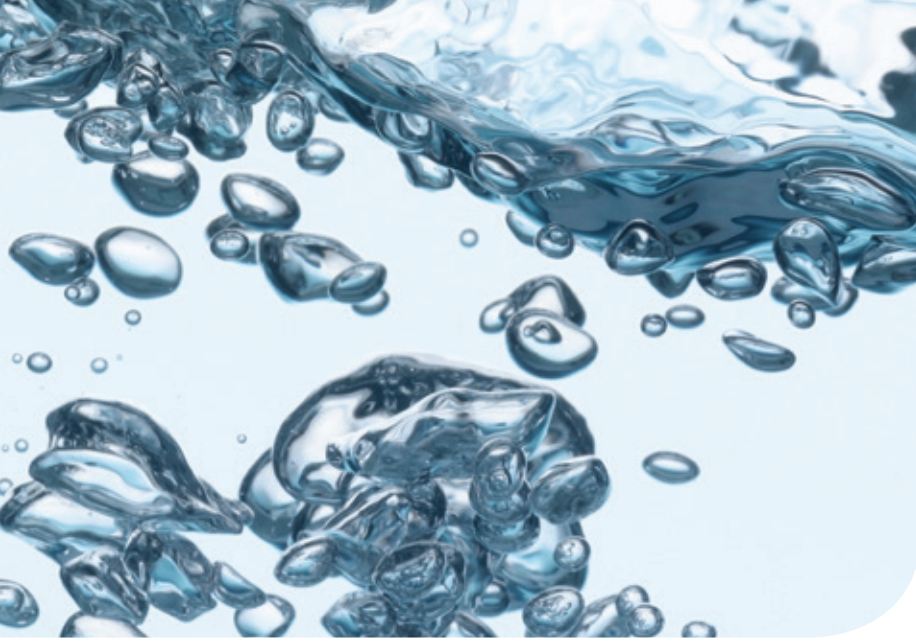
Im Gegensatz zu anderen Rohmaterialien schwankt die Qualität der Rohwasserversorgung signifikant zwischen unterschiedlichen geographischen Gebieten sowie Jahreszeiten. Wasser, das aus einer im Hochland gelegenen oberirdischen Quelle stammt, hat gewöhnlich einen niedrigen Gehalt an gelösten Salzen und ist weich. Es weist jedoch eine hohe Konzentration an organischen Verunreinigungen auf, wobei es sich meistens um Kolloide handelt.

Im Gegensatz dazu verfügt Wasser aus einer unterirdischen Quelle im Allgemeinen über einen hohen Salzgehalt und Härtegrad, dafür aber über einen niedrigen Gehalt an organischen Verunreinigungen. Flussquellen weisen eine mittlere Qualität auf, sie enthalten jedoch häufig auch Produkte aus Industrie, Landwirtschaft und Haushalt.

Jahreszeitlich bedingte Schwankungen in der Wasserqualität sind besonders im Oberflächenwasser ersichtlich. Im Herbst und Winter gelangen große Mengen organischen Materials aus abgestorbenen Blättern und Pflanzen in Bäche, Seen und Speicherbecken. Dies hat zur Folge, dass die organische Verunreinigung im Oberflächenwasser im Winter ihren Höchstwert erreicht und im Sommer auf ein Minimum sinkt. Grundwasser ist wesentlich geringer vom Wechsel der Jahreszeiten betroffen. Die Qualität und die charakteristischen Eigenschaften des Trinkwassers bestimmen die Anforderungen an das Aufbereitungssystem.

Die Rohwasserqualität schwankt je nach:

- **Geographie**
- **Quelle, d. h. Oberflächenwasser, Wassersicht (unterirdische Quelle)**
- **Jahreszeit**



Verunreinigungen im Trinkwasser

Die einzigartige Eigenschaft des Wassers, praktisch alle chemischen Verbindungen bis zu einem gewissen Grad zu lösen und fast alle Lebensformen zuzulassen, führt dazu, dass die Trinkwasserversorgung zahlreiche gelöste oder schwebende Substanzen enthält. Viele dieser Verunreinigungen können durch ihre Interaktion mit anderen Substanzen, möglicherweise sogar mit der Substanz, die Sie analysieren, wissenschaftliche Anwendungen beeinträchtigen.



Roh- und Trinkwasser weist fünf Hauptarten von Verunreinigungen auf:

- **Suspendierte Partikel**
- **Gelöste anorganische Verbindungen**
- **Gelöste organische Verbindungen**
- **Mikroorganismen**
- **Gelöste Gase**

Suspendierte Partikel

Suspendierte Materie im Wasser umfasst harte Partikel (Sand, Gestein, Schlamm, Ablagerungen von Rohrleitungen), weiche Partikel (pflanzliche Reste) und Kolloidpartikel (organisch oder anorganisch). Die suspendierten Teilchen können Umkehrosmosemembranen verunreinigen, analytische Säulen mit Feinbohrung verstopfen und die Funktion von Ventilen und Messinstrumenten beeinträchtigen. Kolloidteilchen führen zu einem Schleier oder einer Trübung im Wasser und beeinträchtigen hierdurch die Instrumentenfunktion.



Gelöste anorganische Verbindungen

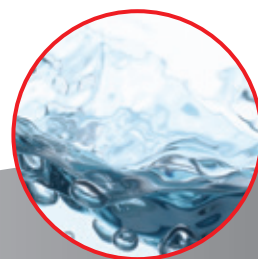
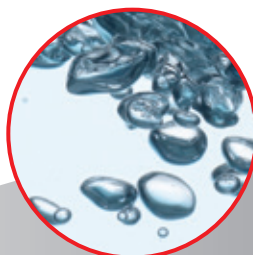
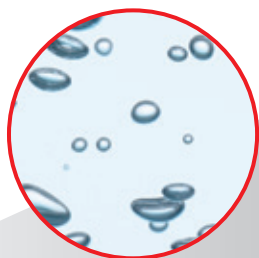
Anorganische Substanzen stellen die Hauptverunreinigungen im Wasser dar. Hierzu zählen:

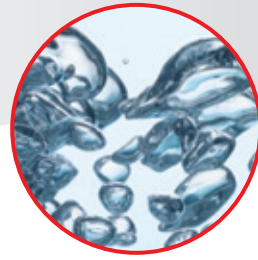
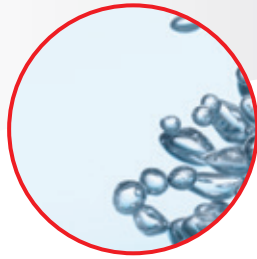
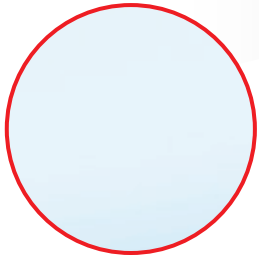
- **Calcium und Magnesiumsalze, die zu einer temporären oder permanenten Härte führen**
- **Kohlendioxid, das sich löst und eine schwache Kohlensäure bildet**
- **Natriumsalze**
- **Aus sandigen Flussbetten ausgelaugte Silikate**
- **Eisenhaltige und Eisen-III-Verbindungen aus Mineralien und rostigen Eisenrohren**
- **Chloride aus eindringendem Salz**
- **Aluminium aus dem Eindosieren von Chemikalien und Mineralien**
- **Phosphate aus Waschmitteln**
- **Nitrate aus Düngemitteln**

Je nach Rohwasserquelle können zahlreiche andere Ionen vorhanden sein. Anorganische Ionen können selbst bei Konzentrationen im Spurenbereich als Katalysator agieren und sowohl organische als auch biochemische Reaktionen beeinflussen.

Gelöste organische Verbindungen

Organische Verunreinigungen im Wasser sind hauptsächlich biologischen Ursprungs. Bei der Zersetzung pflanzlicher Materie entstehen Nebenprodukte wie Humin- und Fulvinsäuren, Tannine und Lignin. Durch Abfallstoffe aus Landwirtschaft und Papierindustrie sowie Haushalts- und Industrieabfällen gelangen weitere organische Verbindungen wie Waschmittel, Fette, Öle, Lösungsmittel und Reste von Pestiziden und Herbiziden in das Wasser. Zusätzlich können im Wasser vorkommende organische Verbindungen aus Rohrleitungen, Tanks und Aufbereitungsmedien stammen. Gelöste organische Verbindungen können Analysetechniken beeinträchtigen und biologische Experimente wie Zellkulturen beeinflussen. Selbst Verunreinigungen, die nur in geringen Konzentrationen im zur Vorbereitung von Elutionsmitteln für die Flüssigkeitschromatographie verwendeten Wasser enthalten sind, können die Basislinie destabilisieren, die Empfindlichkeit sowie die Auflösung herabsetzen und die Lebensdauer der Säule verkürzen.





Mikroorganismen

Bakterien sind die Mikroorganismen, die Rohwasser am stärksten verunreinigen. Durch Chlorierung werden schädliche Bakterien entfernt, aber Trinkwasser enthält trotz allem lebende Mikroorganismen. Ein typischer Bakteriengehalt für die Trinkwasserversorgung eines Labors beträgt 10 KBE/ml oder weniger. Bakterien werden durch einen sehr geringen Gehalt an Chlor und anderen Desinfektionsmitteln auf diesem Niveau gehalten. Während der Wasseraufbereitung werden die Mittel jedoch entfernt und die Bakterien haben wieder die Möglichkeit, sich entsprechend zu vermehren. Bakterien können entweder direkt oder durch ihre Nebenprodukte wie Pyrogene, alkalische Phosphatase oder Nukleasen Einfluss auf Laborversuche nehmen.

Gelöste Gase

Trinkwasser befindet sich im Gleichgewicht mit der Luft und enthält daher gelöste Gase wie Stickstoff, Sauerstoff und Kohlendioxid. In aufbereitetem Wasser zerfällt Kohlendioxid und es bildet sich eine schwache Kohlensäure ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$).

Dieses schwache Anion mindert die Kapazität von Anionenaustauscherharzen. Gelöster Sauerstoff muss gewöhnlich nur berücksichtigt werden, wenn Blasenbildung ein Problem darstellt. Die Sauerstoffkonzentration kann spezifische biochemische Reaktionen beeinflussen. Bei Anwendungen, in denen aufbereitetes Wasser in offenen Behältern verwendet wird, stellt sich schnell ein Gleichgewicht mit Gasen in der Luft ein. Sowohl Sauerstoff als auch Stickstoff können Blasen bilden, die schwerwiegende Auswirkungen auf Prozesse wie Partikelzählung oder photometrische Messungen haben.

Messen von Verunreinigungen im Trinkwasser

Für das Design bzw. die Auswahl eines Wasseraufbereitungssystems sind Informationen über die Zusammensetzung des Speisewassers erforderlich, das in der Regel aus der lokalen Trinkwasserversorgung stammt. Angaben zur durchschnittlichen Wasserqualität für Ihr Gebäude erhalten Sie bei Ihrem Wasserversorger vor Ort. Alternativ kann eine Probe genommen und analysiert werden.

Direktanalyse von Wasser:

- Das Filterverblockungs-Potenzial wird anhand des Verschmutzungsindizes (FI) oder, was weniger zuverlässig ist, anhand der Trübung geschätzt.
- Anorganische Verbindungen lassen sich durch folgende Verfahren bestimmen:
 - Ionenchromatographie
 - ICP-Massenspektrometrie
 - Photometrische Verfahren
- Die elektrische Leitfähigkeit dient als Hinweis auf mögliche Probleme.
- Organische Verbindungen können individuell bestimmt werden, z. B. durch Chromatographie, oder als Ganzes durch Messung des Gesamtgehalts an organischem Kohlenstoff (TOC).
- Der Gesamtgehalt lebensfähiger Bakterien oder der Gehalt einzelner Arten kann durch Inkubation in einem geeigneten Wachstumsmedium ermittelt werden.
- Der TDS-Gehalt (Total Dissolved Solids) ist der Restgehalt an gelösten Feststoffen (in ppm) nach dem Verdampfen einer Wasserprobe zur Trocknung und anschließender Erhitzung auf 180 °C. Anorganische Salze machen den größten Anteil des TDS-Restgehalts aus und dienen daher als Indikator für den Gesamtgehalt an anorganischen Verbindungen. Die Messung erfolgt direkt oder in Form einer Schätzung, indem die spezifische Leitfähigkeit des Wassers in $\mu\text{S}/\text{cm}$ bei 25 °C mit dem Faktor 0,7 multipliziert wird.

Pure facts – Mikroporöse Tiefenfilter

Vorteile:

- Diese Vorfilter stellen ein kostengünstiges Mittel zum Entfernen von >98% der schwebenden Feststoffe dar und schützen so nachgeschaltete Prozesse vor Verschmutzung und Verstopfung
- Hohe Kapazität

Einschränkungen:

- Nicht regenerierbar

Methoden der Wasseraufbereitung

Das Wasser für die meisten Labor- und klinischen Anwendungen wird gewöhnlich durch die Aufbereitung von Trinkwasser gewonnen. Das letztendliche Ziel besteht darin, Verunreinigungen aus dem Trinkwasser (d. h. Speisewasser) zu entfernen und gleichzeitig zusätzliche Verunreinigungen durch Komponenten des Aufbereitungssystems und Bakterienwachstum zu minimieren. Das Systemdesign und die Auswahl der Komponenten sind entscheidend für den Erfolg. Die Auswahl der ersten Stufen eines Aufbereitungssystems hängt von den Eigenschaften des Speisewassers ab.

Der Aufbereitungsprozess beginnt mit einer Vorbehandlungsstufe, die dazu dient, einer Beschädigung nachfolgender Komponenten des Systems vorzubeugen, einen zuverlässigen Betrieb sicherzustellen und die Betriebskosten zu senken, indem ein zu häufiger Austausch kostspieliger Komponenten vermieden wird. Die wichtigsten Technologien zur Wasseraufbereitung sind nachfolgend einschließlich ihrer Vor- und Nachteile aufgeführt.

Bakterien – eine große Herausforderung

Mikroorganismen und ihre Nebenprodukte stellen eine besondere Herausforderung dar, denn sie gelangen auf verschiedenstem Wege in ungeschützte Wasseraufbereitungsanlagen: über das Speisewasser, durch Öffnungen im System oder an der Entnahmestelle. Sie wachsen in Form von Biofilmen auf allen nassen Oberflächen, von Wasseraufbereitungskomponenten wie Speichertanks und auf Rohrleitungen von Verteilungssystemen. Ein Biofilm ist eine hauptsächlich aus Glykoproteinen und Heteropolysacchariden bestehende Schicht, in der sich Bakterien auch bei sehr geringem Nährstoffgehalt des Wassers vermehren können. Die Schicht schützt die Organismen vor regelmäßiger Behandlung mit Bioziden, die vor allem planktische (frei schwebende) Mikroorganismen

wirkungsvoll abtöten. Biofilme und Nebenprodukte des Wachstums und Stoffwechsels (z. B. Endotoxine) von Mikroorganismen stellen stets eine potenzielle Quelle für Verunreinigungen des Wassers dar.

Ein Aufbereitungssystem für Reinstwasser hat folgende Aufgaben:

- **Entfernen der vorhandenen Bakterien aus dem Speisewasser**
- **Reduzierung des Gehalts von Bakterien im Produktwasser auf ein Minimum**
- **Schutz des Systems vor einer erneuten Verschmutzung durch eindringende Bakterien**
- **Vermeidung des Bakterienwachstums im System durch geeignetes Design und regelmäßige Sanitisierung**

Übersicht über Technologien zur Wasservorbehandlung

Mikroporöse Tiefenfilter

Mikroporöse Tiefenfilter bestehen aus zu Matten zusammengepressten Fasern oder Materialien in Form einer Matrix, die als physische Barriere dient und Partikel durch willkürliche Adsorption oder Einschließen zurückhält. Die Filter werden anhand von Nennpartikelgrößen klassifiziert. Rohwasser enthält gewöhnlich Kolloide mit schwach negativer Ladung (gemessen anhand des Zetapotenzials). Die Filterleistung kann durch den Einsatz von Mikrofiltern mit modifizierter Oberfläche gesteigert werden. Die Mikrofilter halten die natürlich vorkommenden Kolloide zurück, die gewöhnlich wesentlich kleiner sind als die Porenweiten in der Membran. Tiefenfilter (typischerweise 1-50 µm) werden in der Regel als kostengünstiges Mittel zum Entfernen eines Großteils (> 98%) schwebender Feststoffe und zum Schutz nachgeschalteter Aufbereitungstechnologien vor Verschmutzung und Verstopfung verwendet. Sie werden in regelmäßigen Abständen ausgetauscht.

Pure facts – Aktivkohle

Vorteile:

- Diese Vorfilter entfernen Chlor und Chloramin und reduzieren bis zu einem gewissen Grad gelöste organische Verunreinigungen

Einschränkungen:

- Nicht effektiv beim Entfernen von Ionen und Partikeln
- Regelmäßiger Austausch erforderlich, um Bakterienbildung zu minimieren
- Kann Kohlenstaub freisetzen

Aktivkohle (AC) – in Vorbehandlungsmedien

Aktivkohle wird zur Vorbehandlung von Speisewasser eingesetzt. Sie entfernt Chlor und Chloramin, um Membranfilter und Ionenaustauscherharze vor Beschädigungen zu schützen. Die meiste Aktivkohle entsteht durch „Aktivieren“, d. h. Verkohlen von aus Kokosnussschalen oder Holz gewonnener Kohle bei 800-1000 °C in Anwesenheit von Wasserdampf und CO₂. Durch ein Säurebad werden die meisten Restoxide und anderes lösliches Material entfernt. Aktivkohle weist ein Netz winziger Poren mit einer Größe von 500-1000 nm und eine Oberfläche von ca. 1000 m² pro Gramm auf. Der Adsorptionsprozess wird durch den Durchmesser der Poren im Kohlefilter und durch die Geschwindigkeit bestimmt, mit der organische Moleküle durch die Poren diffundieren. Die Adsorptionsrate ist von dem Molekulargewicht und der Molekulargröße der organischen Komponenten abhängig.



Kohle wird in Form von Granulat oder gekapselten Kartuschen verwendet, die weniger Feinpartikel produzieren. Aktivkohle reagiert chemisch in einem Gewichtsverhältnis von 1:2 bis 1:4 mit Chlor und produziert sehr schnell Chloride. Daher können selbst kleine Kohlefilter effektiv Chlor aus dem Wasser entfernen.

Chloramine hingegen werden durch die Kohle in Form einer relativ langsamen katalytischen Reaktion aufgespalten, bei der Ammoniak, Stickstoff und Chlorid entstehen. Für diesen Prozess sind also größere Mengen an Kohle erforderlich. Organische Verunreinigungen (deren Konzentration je nach Standort variiert) können den Wirkungsgrad der Aktivkohle verringern und müssen daher bei der Wahl der Korngröße berücksichtigt werden.

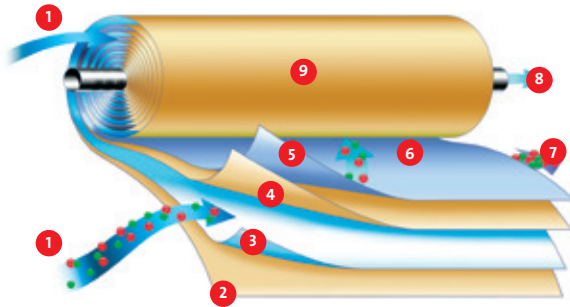
Die große Oberfläche und die hohe Porosität machen Aktivkohle in Kombination mit dem adsorbierten Material zu einer Brutstätte für Mikroorganismen. Diesem Effekt kann jedoch teilweise durch die Zugabe nicht löslicher Biozide wie Silber entgegengewirkt werden. Aktivkohleschichten müssen regelmäßig erneuert werden, um die Bakterienbildung zu minimieren.

Überblick über die wichtigsten Technologien zur Wasseraufbereitung

Umkehrosmose (engl. Reverse Osmosis, RO)

Umkehrosmosemembranen entfernen Verunreinigungen mit einem Durchmesser von weniger als 1 nm aus dem Wasser. In der Regel werden über 90% der ionischen Verunreinigungen, die meisten organischen Verunreinigungen und fast alle Partikel entfernt. Der Wirkungsgrad der Umkehrosmose beim Entfernen von nichtionischen Verunreinigungen mit einem Molekulargewicht < 100 Dalton ist möglicherweise gering. Bei höherem Molekulargewicht erhöht sich auch die Effektivität, und bei einem Molekulargewicht > 300 Dalton werden theoretisch alle Moleküle, einschließlich Partikel, Kolloide und Mikroorganismen (auch Pyrogene) vollständig entfernt. Gelöste Gase werden nicht entfernt.

Bei der Umkehrosmose wird Speisewasser unter Druck (normalerweise 4–15 bar, 60–220 psi) per Querströmung durch die Einlassseite einer Umkehrosmosemembran gepumpt. Umkehrosmosemembranen bestehen in der Regel aus einer dünnen Polyamidfolie und sind über einen breiten pH-Bereich hinweg stabil, können jedoch durch Oxidationsmittel wie Chlor beschädigt werden. Normalerweise ist eine Vorbehandlung des Speisewassers mit mikroporösen Tiefenfiltern und Aktivkohle erforderlich, um die Membran vor großen Partikeln, Übergangsmetallen und freiem Chlor zu schützen. In der Regel strömen 15-30% des Speisewassers durch die Membran und bilden ein Permeat, während der Rest die Membran als Konzentrat verlässt, das die meisten Salze, organischen Stoffe und praktisch alle Partikel enthält. Das Verhältnis zwischen



- 1 Speisewasser
- 2 Umkehrosmembran
- 3 Speisewasser-Zwischenlage
- 4 Umkehrosmembran
- 5 Produktzwischenlage
- 6 Permeat
- 7 Konzentrat
- 8 Permeat
- 9 Spiralförmig gewickeltes Umkehrosmodul

Permeat- und Speisewassermenge wird als Ausbeute (Recovery) bezeichnet. Der Betrieb eines Umkehrosmosesystems mit geringer Ausbeute reduziert die Verschmutzung der Membran durch ausgefällte schwerlösliche Salze. Je nach Zusammensetzung, Filtration und Vorenthärtung des Speisewassers ist eine Ausbeute von bis zu 75% möglich. Der Wirkungsgrad der Umkehrosmosekomponente wird in der Regel durch Messung der Ionenabstoßung überwacht. Dieser Prozentwert ergibt sich aus der Differenz zwischen den Leitfähigkeiten des Speisewassers und des Permeats, dividiert durch die Leitfähigkeit des Speisewassers.

Die Ionenabstoßung und die Rückgewinnung variieren je nach Speisewasserqualität, Einlassdruck, Wassertemperatur und Zustand der Umkehrosmosemembran. Die Umkehrosmose stellt dank ihrer außergewöhnlich hohen Reinigungswirkung eine effektive und kostengünstige Technologie zum Entfernen der meisten Verunreinigungen dar. Die Fließrate ist jedoch relativ niedrig, sodass die Umkehrosmose normalerweise als Vorbehandlung zum Füllen eines Behälters für Reinstwassersysteme verwendet wird. Die Umkehrosmose schützt das System vor Kolloiden und organischen Verunreinigungen und wird häufig mit Ionenaustausch oder Elektroionisierung kombiniert.

Pure facts – Umkehrosmose

Vorteile:

- Effektive Entfernung aller Arten von Verunreinigungen in unterschiedlichem Maße (Bakterien, Kolloide, gelöstes anorganisches Material, Partikel und Pyrogene)
- Minimaler Wartungsaufwand
- Betriebsparameter – einfach zu überwachen

Einschränkungen:

- Die begrenzte Fließrate pro Flächeneinheit macht entweder eine große Membranoberfläche oder eine vorübergehende Wasserspeicherung erforderlich
- Eine gute Vorbehandlung ist erforderlich, um eine Beschädigung der Membran durch Verunreinigungen zu verhindern:
 - Verkalkung: CaCO_3 -Ablagerungen auf der Oberfläche
 - Verunreinigungen: Ablagerung von organischen Stoffen oder Kolloiden auf der Oberfläche
 - Durchstechen: physische Beschädigung durch Partikel

Ionenaustausch

Bei diesem Prozess entfernen Ionenaustauscherharze effizient ionisierte Teilchen aus dem Wasser, indem sie diese gegen H^+ und OH^- Ionen austauschen. Diese Harze setzen sich aus porösen Kügelchen („Beads“) mit einer Größe unter 1 mm zusammen, die aus hoch verknüpften, unlöslichen Polymeren mit einer großen Anzahl von Ionenaustauschgruppen bestehen. Die gelösten Ionen wandern in die Kügelchen (Beads) wo sie auf Grund ihrer relativen Ladungsdichten (Ladung pro hydriertem Volumen) die Austauschgruppen zu erreichen versuchen. Ionenaustauscher-Beads sind entweder kationisch oder anionisch und tauschen entweder Wasserstoffionen gegen Kationen, z. B. Natrium, Calcium und Aluminium, oder Hydroxylionen gegen Anionen, z. B. Chlor, Nitrat und Sulfat aus. Das Wasserstoffion vom Kationenaustauscher lagert sich zur Bildung von Wasser an das Hydroxylion des Anionenaustauschers an. Starke Kationenharze sind Polysulfonsäure-Derivate von mit Divinylbenzol vernetztem Polystyrol. Starke Anionenharze sind Derivate von mit Divinylbenzol vernetztem Polystyrol vom Typ quartäres Benzyltrimethyl-Ammoniumhydroxid (Typ 1) oder quartäres Benzyl-dimethylethyl-Ammoniumhydroxid (Typ 2).

Ionenaustauscher-Harzbetten sind als Patronen oder Zylinder erhältlich und werden in der Regel nach einer gewissen Zeit ausgetauscht, wenn die Kationen und Anionen die Mehrzahl der aktiven H^+ und OH^- Gruppen in den Harzen ersetzt haben. Die Zylinder können direkt mit dem Trinkwasser zugeführt werden, um aufbereitetes Wasser auf Anforderung zu liefern. Erschöpfte Harzbetten werden entweder an eine Regenerierstation gesendet oder anderweitig entsorgt. Die Wasserreinheit und die Lebensdauer des Harzbettes lässt sich erhöhen, indem das Speisewasser vor dem Ionenaustausch mit Umkehrosmose vorbehandelt wird. Diese Vorgehensweise findet häufig in Aufbereitungsanlagen für Reinstwasser in Laboren Anwendung. Dies verhindert ferner eine Verschmutzung der Harzoberfläche durch große organische Moleküle, die zu einer Verringerung der Kapazität führen würde.

Pure facts – Ionenaustausch

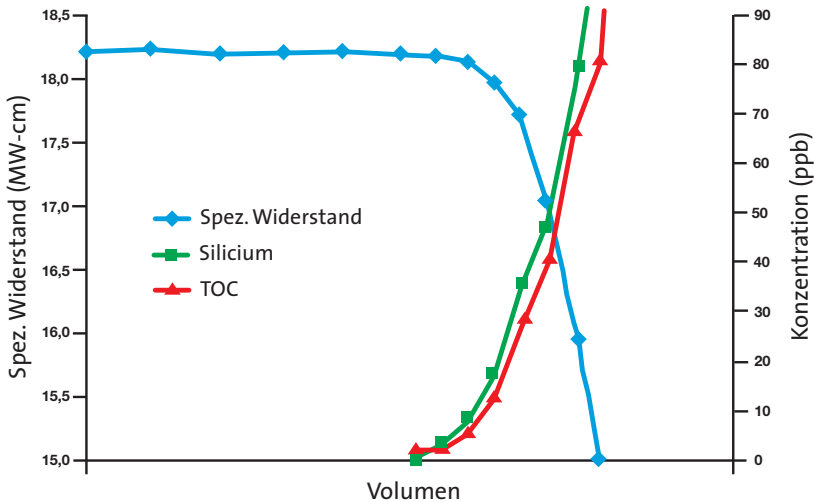
Vorteile:

- Entfernt gelöste anorganische Ionen und sorgt so für einen Widerstand von 18,2 M Ω -cm (bei 25 °C); <1ppb Gesamtgehalt an Ionenverunreinigungen
- Regeneration durch Entionisierung mit Säuren und Basen oder Elektroentionisierung
- Relativ kostengünstig

Einschränkungen:

- Bakterien, organische Stoffe, Partikel oder Pyrogene werden nicht effektiv entfernt
- Begrenzte Kapazität – wenn alle Ionengruppen besetzt sind, werden Ionen nicht länger gehalten
- Chemisch regenerierte, entionisierte Harze können organische Stoffe und Partikel produzieren
- Einweg-Harzbetten erfordern vorbehandeltes Wasser hoher Qualität für einen effizienten und wirtschaftlichen Betrieb



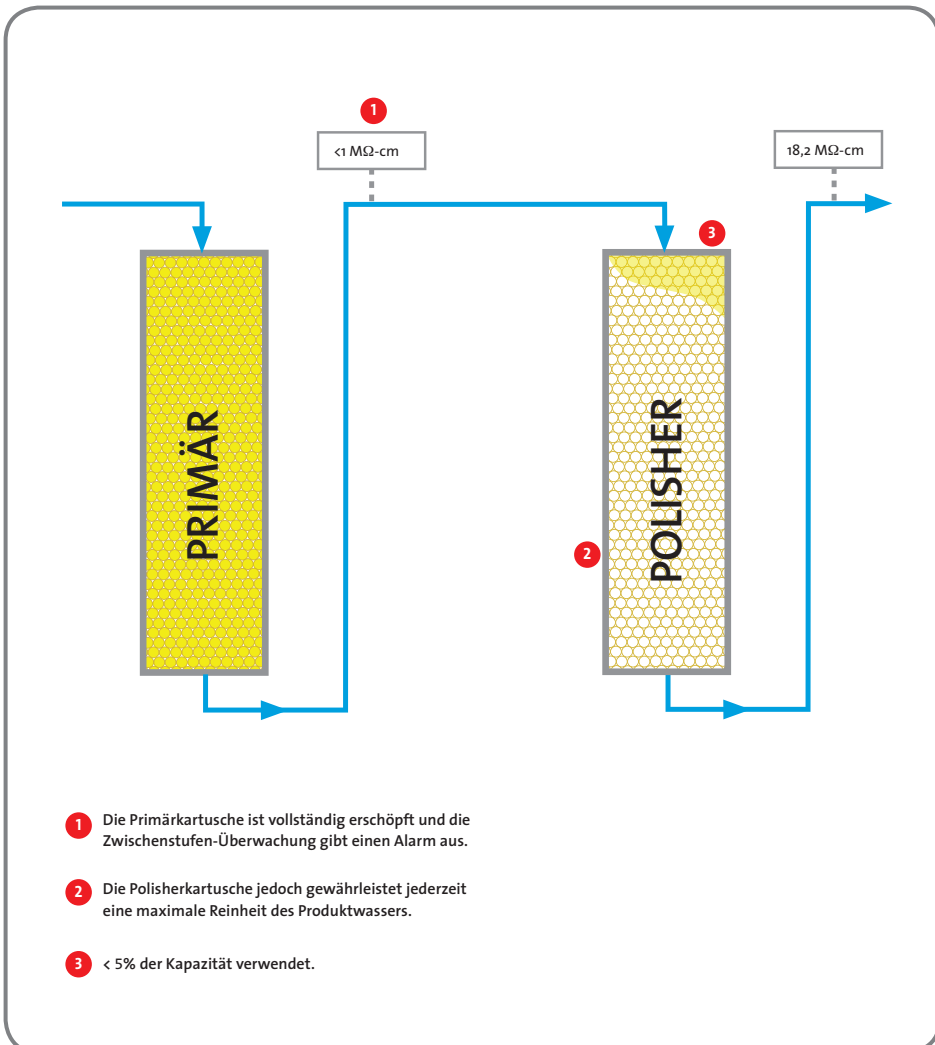
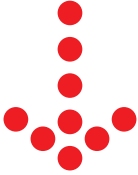


Die sehr große Oberfläche von Ionenaustauscherharzen stellt eine potenzielle Brutstätte für Mikroorganismen dar und kann zur Freisetzung von Feinpartikeln und löslichen Komponenten führen. Aus den genannten Gründen sind Harzbetten hoher Qualität zu verwenden, und das Volumen der Ionenaustauscherbetts ist möglichst klein zu halten. Gewöhnlich werden hinter den Ionenaustauschern Filter zum Auffangen von Feinstaub und anderen Feinpartikeln installiert. Bakterienwachstum kann durch häufige Rezirkulation des Wassers und durch die regelmäßige Regeneration der Harze minimiert werden. Wenn Ionenaustauscherbetten erschöpfen, setzen sie stoßweise aus dem Wasser angesammelte Verunreinigungen frei. Stark gebundene Verunreinigungen können schwach gebundene verdrängen, sodass es sich bei den ersten freigesetzten Verunreinigungen vermutlich schwach ionisierte Substanzen handelt, die nur geringe Auswirkungen auf den spezifischen Widerstand des Produktwassers haben.

Die Überwachung des Widerstands dürfte nicht zur Detektion dieser anfänglichen Freisetzung von schwach

ionisierten Teilchen, darunter geladene organische Teilchen, Silikaten und Borate führen. Das Diagramm oben veranschaulicht diese Situation. Es zeigt die Freisetzung von Silicium und organischen Stoffen als TOC, bevor der spezifische Widerstand infolge der anfänglichen Erschöpfung eines Ionenaustauscherbetts merklich fällt.

Die unbemerkte Freisetzung schwach gebundener Ionenverunreinigungen kann durch mehrstufige Überwachung (z. B. mit ELGA PureSure-System) verhindert werden. Dabei werden zwei identische Ionenaustauscherharzbetts verwendet, zwischen denen eine Leitfähigkeitsmesszelle installiert ist. Bei beginnender Erschöpfung der ersten (primären) Aufbereitungskartusche werden die freigesetzten, schwach ionisierten Teilchen an die zweite Kartusche („Polisher“) gebunden und gelangen somit nicht in das Produktwasser. Der Widerstand wird nach der erste Stufe gemessen, um eine mögliche Erschöpfung der Kartusche festzustellen. Die zweite Aufbereitungskartusche wird dann an die erste Position und eine neue Kartusche an die zweite Position gesetzt.

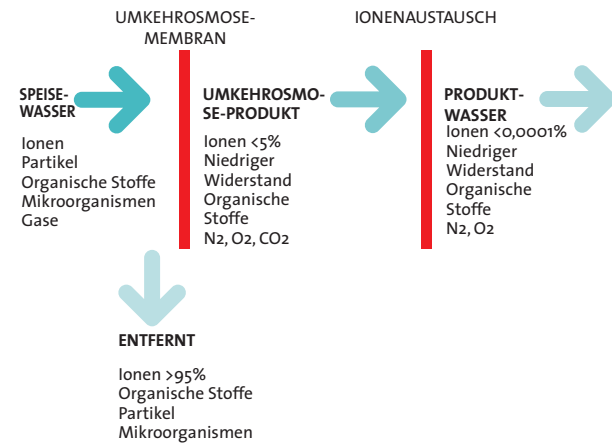




Diese Strategie erlaubt eine effiziente Nutzung des Harzes, da die erste Kartusche erst ausgetauscht werden muss, wenn der Zwischenwiderstand unter 1 MΩ-cm bei 25°C fällt, was leicht festzustellen ist, und die zweite Kartusche praktisch noch über die gesamte anfängliche Kapazität verfügt, wenn es an die erste Position gesetzt wird. Andere, weniger effektive Ansätze sehen den Austausch der Kartuschen lange vor dem Erschöpfen oder die Verwendung spezieller Harze zur stärkeren Bindung schwach ionisierter Teilchen vor. Bei passender Auswahl von Harz, Vorbehandlung und Systemdesign lassen sich mit Ionenaustausch extrem geringe Konzentrationen an Ionenverunreinigungen erreichen.

Elektroionisierung (EDI)

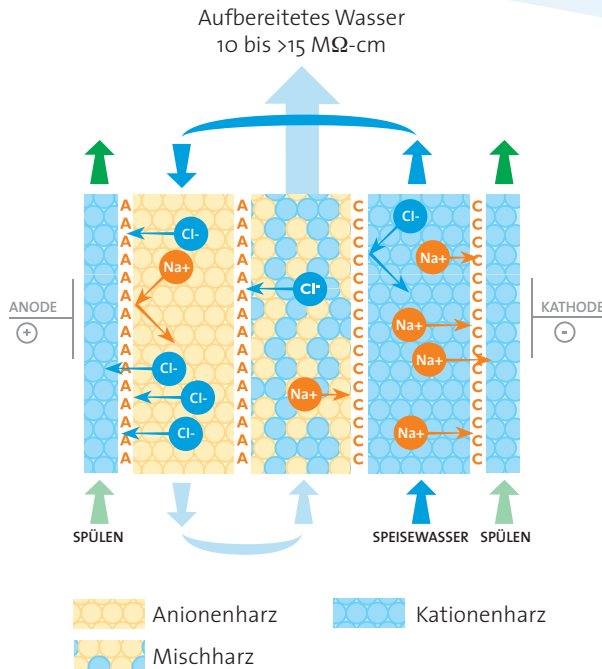
EDI ist eine Technologie, die Ionenaustauscherharze und ionenselektive Membranen mit Gleichstrom kombiniert, um Ionenverunreinigungen aus dem Wasser zu entfernen. Die Entwicklung und Verwendung dieser Methode bei der Wasseraufbereitung eliminiert einige der Einschränkungen von Ionenaustauscherharzbetten, insbesondere die Freisetzung von Ionen bei Erschöpfung der Betten und die damit verbundene Notwendigkeit des Austauschs bzw. der Regeneration der Harzbetten. Wasser fließt durch eine oder mehrere Kammern, in denen Ionenaustauscherharze zwischen kation- oder anionselektiven Membranen platziert sind. Ionen, die sich an die Ionenaustauscherharze binden würden, werden unter dem Einfluss eines extern angelegten elektrischen Felds in eine separate Kammer gezogen. Hierdurch entstehen auch die H⁺ und OH⁻ Ionen, die dafür sorgen, dass die Harze in einem stark regenerierten Zustand verbleiben. Die Ionen in der separaten



Kammer werden ausgespült.

Die Ionenaustauscherharze in EDI-Systemen regenerieren sich fortlaufend und erschöpfen daher nicht in dem Maße wie Ionenaustauscherharze, die im Batch-Modus verwendet werden. EDI-Betten sind zudem meist kleiner und verfügen über eine höhere Lebensdauer. Die in EDI-Systemen verwendeten Harze können in separaten Kammern mit Anion- bzw. Kation-Beads, als separate Schichten von Kationen- und Anionenharzen in einer einzigen Kammer oder als Mischbettharze vorkommen. ELGAs EDI-Prozess für Labore verwendet separate Schichten von Kationen- und Anionenharzen sowie Mischbettharz. Die separaten Schichten von Kationen- und Anionenharzen sind in breiten Zellen untergebracht, die einen Fließpfad für die wandernden Ionen bereitstellen. Diese Methode bietet Vorteile hinsichtlich der Flexibilität des Designs und der einfachen mechanischen Realisierbarkeit auf Laborebene. Das Harz in den Zellen bildet einen Puffer gegen Qualitätsschwankungen des Speisewassers.

Die Qualität des hergestellten Wassers wird zusätzlich durch eine Schicht Mischbettharz gesteigert. Vor dem EDI wird in der Regel eine Umkehrosiose durchgeführt, um ein Überladen des



EDI-Stapels mit hohen Konzentrationen an Salzen, organischen Stoffen oder Partikeln zu vermeiden. Das geringe Volumen der Harze im Stapel bewirkt einen geringen Auslass organischer Moleküle. Durch Umkehrosmose werden gewöhnlich 95% der Ionen entfernt; der EDI-Prozess entfernt ca. 95% der verbleibenden Ionen sowie Kohlendioxid und Silicium. Mit EDI hergestelltes Produktwasser hat einen typischen spezifischen Widerstand von 5 bis 17 M Ω -cm (bei 25 °C) und einen TOC-Gehalt von unter 20 ppb. Die chemischen und elektrischen Bedingungen im System verhindern das Wachstum von Mikroorganismen und reduzieren so den Bakteriengehalt auf ein Minimum. EDI liefert normalerweise kein Reinstwasser mit einem spezifischen Widerstand von 18,2 M Ω -cm; dies kann jedoch effizient erreicht werden, indem eine geringe Menge Ionenaustauscherharz hinter dem EDI-Modul angefügt wird. Dieses Harz muss nur noch sehr wenige Ionen entfernen und hat eine entsprechend hohe Lebensdauer.

Pure facts – Elektroionisierung

Vorteile:

- Entfernt gelöste anorganische Ionen und erreicht einen Widerstand von 5 -17 M Ω -cm (bei 25 °C) sowie einen TOC-Gehalt unter 20 ppb
- Umweltfreundlich:
- Keine Chemikalien zur Regeneration des Harzes erforderlich
- Keine Chemie-oder Harzabfälle
- Harze in den Zellen weisen einen geringen Auslass von organischen Stoffen auf und bilden einen Puffer gegen Qualitätsschwankungen des Speisewassers

Einschränkungen:

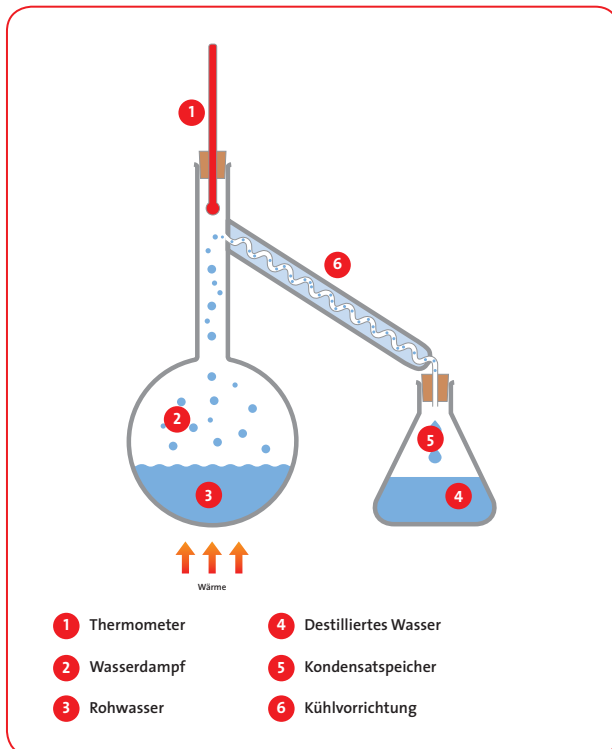
- Entfernt nur eine begrenzte Anzahl geladener organischer Teilchen und kann daher kein Reinstwasser mit einem Widerstand von 18,2 M Ω -cm erzeugen
- Das Speisewasser muss von hoher Qualität sein, damit der EDI-Stack nicht mit organischen Stoffen, multivalenten Salzen oder Partikeln überladen wird. Wird gewöhnlich mit Umkehrosmose kombiniert

Destillation

Destillation ist eine Wasseraufbereitungsart, die bereits seit langer Zeit verwendet wird. Bei diesem Prozess wechselt Wasser von der flüssigen in die gasförmige und anschließend wieder in die flüssige Phase. Jeder der einzelnen Phasenübergänge kann genutzt werden, um dem Wasser Verunreinigungen zu entziehen. Das Wasser wird zunächst bis zum Siedepunkt erhitzt. Der entstehende Wasserdampf steigt in einen Abscheider auf, wo Kühlwasser

für eine Verringerung der Temperatur sorgt, sodass der Wasserdampf kondensiert. Das Kondensat wird gesammelt und gespeichert. Im Prinzip können durch Destillation alle Arten von Verunreinigungen aus dem Wasser entfernt werden, mit Ausnahme von Azeotropen und Verbindungen, deren Dampfdruckwert nahe bei dem Wert von Wasser liegt. Die Destillation ist am wirksamsten, wenn sie bei vorbehandeltem Wasser angewendet wird, um die Bildung von Niederschlag und das Verschleppen von Verunreinigungen zu reduzieren.

Es ist unwahrscheinlich, dass Destillieranlagen unbehandeltes Speisewasser in Wasser mit dem gewünschten Reinheitsgrad umwandeln können, insbesondere wenn es zu Niederschlag kommt. Aus diesem Grund wird meistens durch Umkehrosmose oder Ionenaustausch vorgereinigtes Wasser zur Speisung von Destillieranlagen verwendet. Destillieranlagen in Laboren arbeiten kontinuierlich, d. h. das verdampfte Wasser wird durch frisches Speisewasser ersetzt. Beim Design ist unbedingt darauf zu achten, dass mögliche Übertragungen weniger flüchtiger Verbindungen, z. B. durch Spritzwasser



bzw. Oberflächen- oder Dampfeintrag, minimiert werden. Verunreinigungen, deren Dampfdruck über dem von Wasser liegt, werden in der Abscheiderstufe einer Destillieranlage entfernt. Zum effizienten Entfernen dieser Verunreinigungen sind mehrstufige Abscheider erforderlich, die Dampf und kochend heißes Wasser in mehreren speziellen Kammern im Gleichgewicht halten. Verunreinigungen aus der Umgebungsluft (z. B. Staub, flüchtige Stoffe usw.) sind ebenfalls zu minimieren.

Wie auch bei der Umkehrosmose wird bei der Destillation aufbereitetes Wasser nur langsam erzeugt, und das Destillat muss zur späteren Verwendung gespeichert werden. Destillieranlagen verbrauchen sehr viel Energie. In der Regel werden 1 kW Strom pro erzeugtem Liter Wasser benötigt. Eine entsprechend konstruierte Destille kann destilliertes Wasser mit einem spezifischen Widerstand von ca. 1 M Ω -cm erreichen, da sich in der Luft enthaltenes CO₂ in dem destillierten Wasser löst. Das destillierte Wasser ist direkt nach der Produktion steril. Um die Sterilität des Wassers beizubehalten, werden sterile Flaschen eingesetzt und das gesammelte Wasser wird autoklaviert. Sobald die Flasche jedoch geöffnet wird, haben Bakterien und andere in der Luft befindliche Verunreinigungen wieder Zugang zum Wasser und verringern rasch den Reinheitsgrad.

Pure facts – Destillation

Vorteile:

- Entfernt ein breites Spektrum an Verunreinigungen
- Lange Lebensdauer

Einschränkungen:

- Bereitet Wasser nur langsam auf
- Bestimmte Verunreinigungen gelangen in unterschiedlichen Mengen in das Kondensat
- Vorgereinigtes Speisewasser empfohlen
- Destilliertes Wasser ist bei längerer Lagerung für eine erneute Verunreinigung anfällig und muss daher sorgfältig gelagert werden
- Weder wirtschaftlich noch umweltfreundlich – hoher Energieverbrauch zur Erhitzung und hoher Wasserverbrauch zur Kühlung



Pure facts – Aktivkohle

Vorteile:

- Führt zu einer erheblichen Reduzierung von TOC
- Lange Lebensdauer durch hohes Bindungsvermögen

Einschränkungen:

- Entfernt nicht alle gelösten organischen Verunreinigungen
- Entlässt zuweilen Kohlenstaub und lösliche Komponenten in den Wasserfluss

Aktivkohle – in aufbereitetem Wasser

Die zweithäufigste Anwendung von Aktivkohle ist das Entfernen organischer Verbindungen aus aufbereitetem Wasser, das häufig im Aufbereitungssystem vor dem abschließenden Ionenaustausch stattfindet. Aktivkohle nimmt Verunreinigungen infolge ionischer, polarer und Van-der-Waals-Kräfte sowie durch Oberflächen-Anziehungskräfte auf. Aktivkohlebetten neigen dazu, Kohlenstaub und lösliche Komponenten in den Wasserfluss abzugeben, und entfernen nicht alle gelösten organischen Verbindungen, können

aber für eine deutliche Verringerung des TOC-Gehalts sorgen. Zuweilen wird eine reinere, aus Polymerkügelchen („Beads“) bestehende Form der Aktivkohle für diese Anwendung eingesetzt.

Mikroporenfilter

Mikroporöse Siebfilter dienen als physische Barriere, die das Eindringen von Partikeln und Mikroorganismen in Wasseraufbereitungssysteme verhindert. Siebfilter, die sich durch eine absolute Porengröße auszeichnen, weisen gleichförmige Molekularstrukturen auf, die ähnlich wie ein Sieb alle Partikel an der Oberfläche festhalten, deren Größe die bekannte Porengröße überschreitet. Siebfilter (0,05 bis 0,22 μm) werden gewöhnlich zum Ausfiltern von Mikroorganismen und Feinpartikeln so nah wie möglich an der Entnahmestelle installiert. Festgehaltene Partikel, darunter Mikroorganismen oder ihre Stoffwechselprodukte, und lösliche Stoffe können durch die Filter durchsickern. Zur Aufrechterhaltung der gewünschten Leistungsfähigkeit sind daher entsprechende Wartungsverfahren (regelmäßige Sanitisierung und regelmäßiger Austausch) erforderlich. Neu installierte Filter müssen in der Regel vor Gebrauch gespült werden, um extrahierbare Verunreinigungen zu entfernen. Mikroporöse Filtermembranen werden im Allgemeinen in einem Wasseraufbereitungssystem als unverzichtbar betrachtet, sofern sie nicht durch ein Ultrafiltrationsmodul ersetzt werden.

Pure facts – Mikroporenfilter

Vorteile:

- Siebfilter fungieren als Absolutfilter, die alle Partikel und Mikroorganismen zurückhalten und entfernen, deren Größe die Porenweite des Filters überschreitet
- Hoher Wirkungsgrad, sofern nicht beschädigt
- Einfache Wartung, d. h. nur Austausch erforderlich

Einschränkungen:

- Können verstopfen, wenn die Oberfläche mit Verunreinigungen bedeckt ist. Sie sollten daher zur Sicherheit im letzten Schritt des Aufbereitungsvorgangs verwendet werden
- Gelöste anorganische bzw. organische Stoffe oder Pyrogene werden nicht entfernt
- Nicht regenerierbar

Ultrafilter-Leistung (UF)

Probe	Endotoxin-Konz. (EU/ml)	Bakterien-Konz. (KBE/ml)
Ausgangskonzentration	1000	2×10^7
Nach UF-1	<0,001	<0,01
Nach UF-2	<0,001	<0,01
Nach UF-3	<0,001	<0,01
Nach UF-4	<0,001	<0,01
Nach UF-5	<0,001	<0,01
Log ₁₀ Reduzierung	>6	>9

Ultrafilter (UF)

Ultrafilter sind Membranfilter, die zum Entfernen von Partikeln bis zur Größe von Protein-Makromolekülen dienen. Die Filter verfügen über eine typische Porengröße von 1 bis 10 nm. Häufig werden Membranen in Form hohler Fasern verwendet, um höhere Fließraten zu erzielen. Sie werden nach der Effektivität klassifiziert, mit der sie die Konzentration relevanter Verunreinigungen auf ein zulässiges Niveau reduzieren. Ultrafilter werden gewöhnlich in der Nähe des Auslasses in einem Wasseraufbereitungssystem installiert, um die Konzentrationen an Mikroorganismen und großen organischen Molekülen, einschließlich Nukleasen und Endotoxinen, zu verringern. Die Filter müssen regelmäßig desinfiziert bzw. ausgetauscht werden, damit die Effektivität erhalten bleibt. Ultrafilter können auf herkömmliche Weise installiert werden, wobei der gesamte Wasserfluss direkt die Membran passiert, oder so aufgebaut sein, dass ein Teil des Speisewassers die Membran tangential überströmt („Querströmung“), um Verunreinigungen auszuspülen und so die Verschmutzung zu reduzieren. Ultrafiltration ist eine hervorragende Technologie zur Aufrechterhaltung einer gleich bleibenden Reinstwasserqualität in Bezug auf Partikel, Bakterien und Pyrogene.

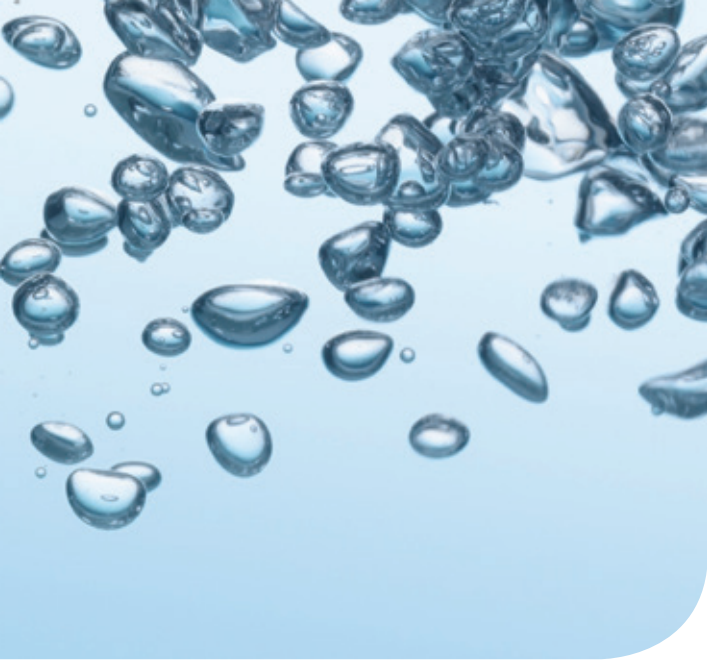
Pure facts – Ultrafilter

Vorteile:

- Entfernen effektiv die meisten Kolloide, Enzyme, Mikroorganismen, Partikel und Endotoxine, die die Porenweite der Filter überschreiten und an der Ultrafilteroberfläche zurückgehalten werden
- Hoher Wirkungsgrad, sofern nicht beschädigt
- Erhöhung der Lebensdauer durch regelmäßige Hochgeschwindigkeits-Wasserspülung möglich

Einschränkungen:

- Gelöste anorganische oder organische Stoffe werden nicht entfernt
- Können bei hohen Konzentration an Verunreinigungen mit hohem Molekulargewicht verstopfen

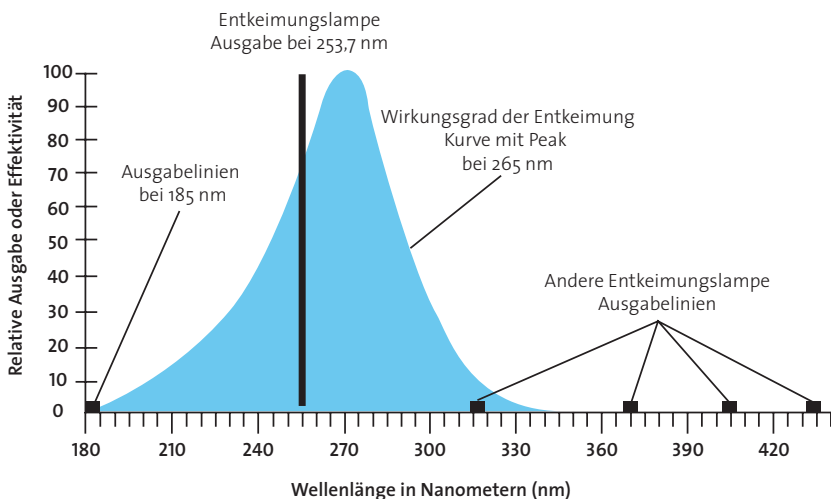


BelüftungsfILTER

Wasserabweisende Mikroporenfilter werden häufig als BelüftungsfILTER an Wasserspeichertanks eingesetzt, um zu verhindern, dass Partikel, einschließlich Bakterien, in das gespeicherte Wasser gelangen. Durch Kombination von Absorptionsmedien mit Filtermedien können Composite-BelüftungsfILTER (CVF) zudem den Gehalt an CO_2 und organischen Verunreinigungen in gespeichertem Wasser minimieren. Der regelmäßige Austausch dieser Filter ist entscheidend für einen gleich bleibenden Wirkungsgrad.

Entgasungs- (oder Entlüftungs-) Membrane

Ein Kontaktor verwendet einen wasserabweisenden Membranfilter, um Gase (z. B. CO_2 , O_2) aus dem Wasser zu entfernen. Das Wasser fließt auf eine Seite der Membran und ein Spülgas oder Vakuum entfernt Gase von der anderen Seite der Membran aus. Die Abreicherungsrate eines Stoffes ist abhängig von der Durchlässigkeit der Membran, dem Kontaktbereich, der Kontaktzeit und der Partialdruckdifferenz über die Membran hinweg.



Technologien zur Kontrolle von Mikroorganismen

	Mikroporenfiltration	Ultrafiltration	Umkehrosmose	Ionenaustausch	Aktivkohle	UV-Licht
Mikroorganismen	✓✓✓	✓✓✓	✓✓	✓*	✓*	✓✓✓
Endotoxine	✓	✓✓✓	✓✓	✓✓*	✓*	✓

Legende

- ✓✓✓ Hervorragende Wirkung
- ✓✓ Gute Wirkung
- ✓ Teilweise Wirkung

* Anfängliche hohe Effizienz

Ultraviolettes Licht (UV)

UV-Licht findet breite Anwendung als Bakterizid sowie zur Aufspaltung und Photooxidation organischer Verunreinigungen in polarisierte oder ionisierte Teilchen, die anschließend durch Ionenaustausch entfernt werden. Als UV-Quellen in Systemen zur Laborwasseraufbereitung dienen Niederdruck-Quecksilberlampen, die UV-Strahlung mit einer Wellenlänge von 254 nm produzieren. Bei dieser Wellenlänge ist die antibakterielle Wirkung am stärksten, da sie in geringen Dosen DNA- und RNA-Polymerase schädigt und auf diese Weise eine Replikation unterbindet, während höhere Dosen biozid wirken. Die UV-Kammern und -Lampen müssen eine ausreichende UV-Dosis erzeugen, um die Entstehung lebender, aber inaktiver Mikroorganismen zu verhindern. Eine Strahlung mit kürzerer Wellenlänge (185 nm) erweist sich für die Oxidation von organischen Verbindungen am effektivsten, da sie große organische Moleküle in kleinere ionisierte Komponenten aufspaltet, die dann von einem nachgeschalteten hochreinen Ionenaustauscher-Harzbett entfernt werden können. Das vorherige Entfernen organischer Ionen durch Ionenaustausch optimiert den Wirkungsgrad dieser Aufbereitungsmethode. UV-Strahlung bei 185 nm wirkt als hoch effektives Oxidationsmittel und stellt eine Schlüsselkomponente bei der Produktion von Reinstwasser mit geringstmöglichen Konzentrationen an organischen Verunreinigungen dar.

Pure facts – UV-Licht

Vorteile:

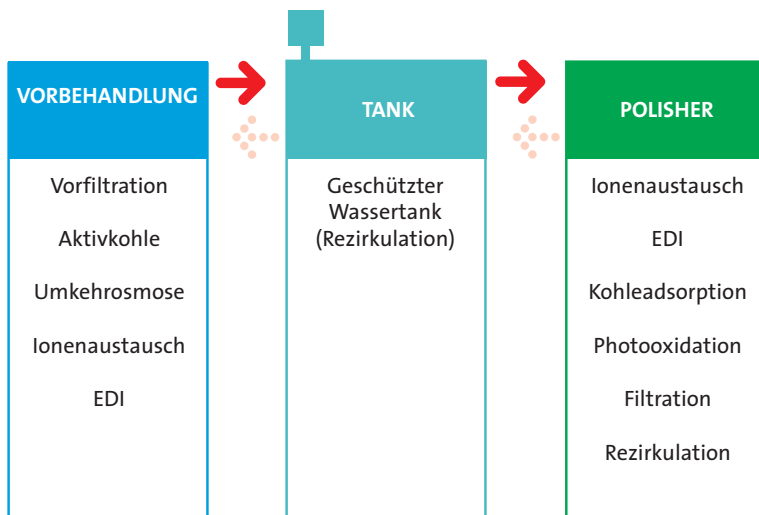
- Oxidation organischer Verbindungen (185 nm und 254 nm) bis auf TOC-Konzentrationen < 5 ppb
- Effektive Bakterizid-Behandlung

Einschränkungen:

- Die Photooxidation organischer Stoffe ist ein Polierschritt, der nur den TOC-Gehalt auf eine bestimmte Menge reduzieren kann
- Keine Wirkung auf Ionen, Partikel oder Kolloide
- Die Photooxidation setzt CO_2 durch die Produktion von H_2CO_3 (H^+ , HCO_3^-) frei, wodurch der spezifische Widerstand des Wassers verringert wird

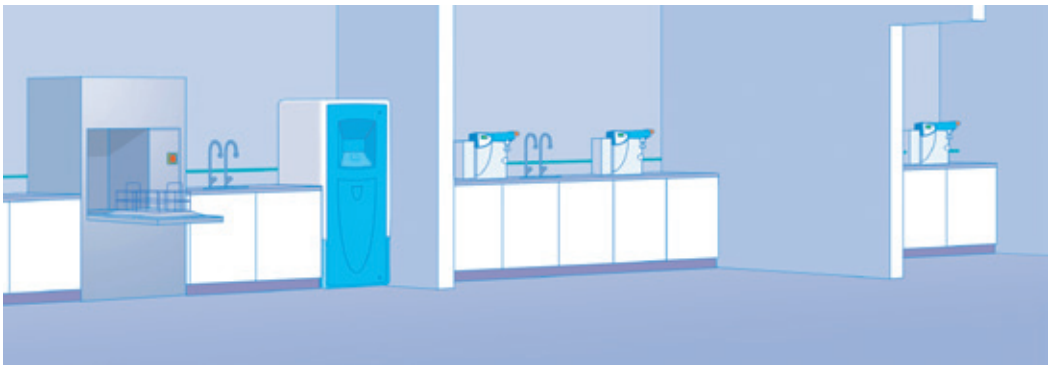
Systemdesign

In diesem Kapitel haben wir verschiedene Technologien zur Wasseraufbereitung behandelt, die alle Vor- und Nachteile haben. Einige Technologien entfernen große Mengen mehrerer Arten von Verunreinigungen, während andere sich hervorragend zum Entfernen einer spezifischen Verunreinigung bis auf extrem geringe Konzentration eignen. Um alle Verunreinigungen zu entfernen und den gewünschten Wasserreinheitsgrad für eine bestimmte Anwendung zu erzielen, müssen diese Technologien folglich kombiniert werden.



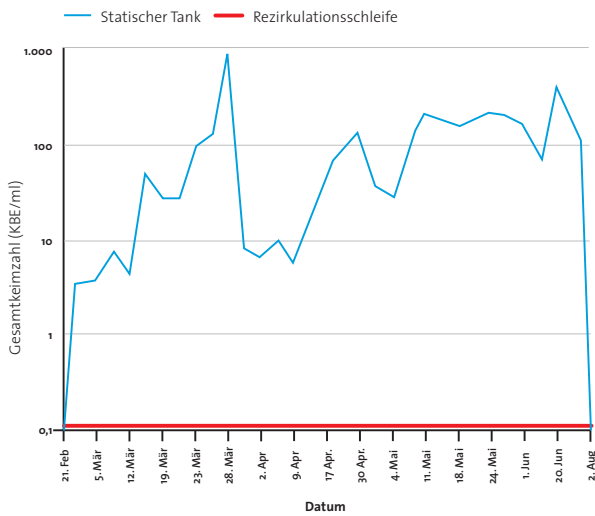
Jedes System erfordert je nach Speisewasserqualität eine gewisse Vorbehandlung, bei der Partikel, Chlor oder Chloramin und ggf. Calcium und Magnesium entfernt werden. Auf diese Vorbehandlung folgt meist die Umkehrosmose, die praktisch alle Kolloide, Partikel, organischen Verbindungen mit hohem Molekulargewicht und über 90% der Ionen entfernt. Das resultierende Wasser mit Primärgrad-Qualität, das relativ langsam produziert und in einem Tank gespeichert wird, enthält gewisse Konzentrationen an organische Verbindungen, Ionen, Bakterien und Zellbestandteile sowie gelöstes Kohlendioxid und Sauerstoff. Diese Aufbereitungsphasen können in separaten Einheiten vor Ort oder in einem größeren System stattfinden, in dem Wasser über einen Rezirkulationskreislauf ein einzelnes Labor oder ein komplettes Gebäude versorgt.

In einem nächsten Schritt wird das Wasser je nach erforderlichem Reinheitsgrad mit einer oder mehreren Techniken weiterbehandelt: Ionenaustausch bzw. EDI zum Entfernen von Ionen, Aktivkohle oder andere Absorptionsmittel zum Entfernen organischer Verbindungen, UV-Licht zum Abtöten von Bakterien bzw. zur Oxidation von Resten organischer Verbindungen, Mikrofiltration zum Entfernen von Partikeln und Bakterien und Ultrafiltration zum Entfernen von Endotoxinen, Proteasen und Nukleasen. Diese Vorgänge können jeweils in derselben Einheit wie die Umkehrosmose kombiniert werden oder separat in einem „Polisher“ erfolgen.





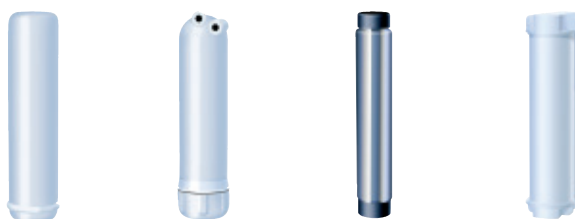
Effekt der Rückführung und erneuten Aufbereitung von Wasser auf die Verunreinigung durch Bakterien



- 1** Mikroprozessor-gesteuertes Kontrollsystem und Überwachung der Wasserreinheit
- 2** Aktivkohlefilter
- 3** UV-Photooxidationsmodul
- 4** Rezirkulation des Wassers durch Vorrattank zur Speicherung und Aufrechterhaltung der Wasserqualität
- 5** Aufbereitungskartusche – Ionenaustausch plus Absorptionsmedien



- 6** Composite-Belüftungsfilter verhindert das Eindringen von Verunreinigungen aus der Luft
- 7** Produziert 18,2 MΩ-cm (0,055 μS/cm) Reinstwasser
- 8** Umkehrosmosemembran



	Speisewasser	Nach Aktivkohlefilter	Nach Umkehrosmose	Nach UV	Nach Ionenaustausch
Spez. Leitfähigkeit (µS/cm)	50 bis 900	50 bis 900	1 bis 30	1 bis 30	0,055
Kalzium (mg/l)	20 bis 150	20 bis 150	0,4 bis 5	0,4 bis 5	<0,0001
Natrium (mg/l)	20 bis 150	20 bis 150	1 bis 10	1 bis 10	<0,0001
Eisen (mg/l)	0,01 bis 0,1	0,01 bis 0,1	<0,01	<0,01	<0,0001
Bikarbonat (mg/l)	30 bis 300	30 bis 300	1 bis 10	1 bis 10	<0,0001
Chloride (mg/l)	10 bis 150	10 bis 150	0,5 bis 5	0,5 bis 5	<0,0001
Sulfat (mg/l)	1 bis 100	1 bis 100	0,1 bis 5	0,1 bis 5	<0,0001
TOC (mg/l)	0,2 bis 5	0,1 bis 2	0,05 bis 0,2	<0,05	<0,01
Gesamtchlor (mg/l)	0,1 bis 1	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05
Bakterien (KBE/ml)	10 bis 100	10 bis 100	1 bis 10	<1	<1
Endotoxin (EU/ml)	1 bis 100	1 bis 100	<1	<1	<0,1
Trübung	0,1 bis 2	0,1 bis 1	<0,01	<0,01	<0,01

Die Lagerung und Verteilung sind potenzielle Quellen von Verunreinigungen, insbesondere von Bakterien. Zur Minimierung dieser Probleme sind ein ausgeklügeltes Design und angemessene Wartungsverfahren erforderlich. Die Konstruktionsmaterialien spielen ebenfalls eine entscheidende Rolle. Metalle, mit Ausnahme von Edelstahl, sind zu vermeiden. Es existieren zahlreiche hochreine Kunststoffe, diese sind jedoch mit Bedacht

auszuwählen, da einige Kunststoffe Füllstoffe und Additive enthalten, die auslaugen und damit das Wasser verunreinigen können. Speichertanks sind mit geeigneten Composite-Belüftungsfiltren vor dem Eindringen von Verunreinigungen zu schützen. Aufbereitetes Wasser durchläuft oftmals per Rezirkulation in kontinuierlichen oder intermittierenden Zyklen erneut einige Aufbereitungsverfahren, um den Reinheitsgrad beizubehalten.



Überwachung – Beibehaltung des Reinheitsgrads von aufbereitetem Wasser

Elektrische Leitfähigkeit/ Widerstand zum Ionennachweis

Die spezifische elektrische Leitfähigkeit und der spezifische elektrische Widerstand sind Maße für die Fähigkeit einer Flüssigkeit, elektrischen Strom zu leiten. Die Leitfähigkeit ist der Kehrwert des Widerstands, d. h. Leitfähigkeit = $1/\text{Widerstand}$. Der Ionengehalt von aufbereitetem Wasser wird durch die Messung der elektrolitischen Leitfähigkeit k und des Kehrwerts, des Widerstands r , bestimmt.

$$k = F \cdot \sum c_i \cdot z_i \cdot u_i$$

$$r = 1/k$$

Geringe Leitfähigkeit = hoher Widerstand

In der Praxis werden Leitfähigkeitseinheiten gewöhnlich für Wassertypen von Rohwasser über Trinkwasser bis hin zu „Primary Grade Water“ verwendet, Widerstandseinheiten hingegen für Reinstwasser wie entionisiertes oder Umkehrosiose-Wasser.

Die Leitfähigkeit wird in Siemens (S/cm), der Widerstand in Ohm ($\Omega \cdot cm$) ausgedrückt. Ein Meg-ohm ($M\Omega \cdot cm$) = 1.000.000 Ohm.

Da sich Leitfähigkeit und Widerstand auf einen Bereich beziehen, zwischen dem Strom gemessen wird, d. h. Länge/Bereich, werden als Maßeinheiten gewöhnlich $M\Omega \cdot cm$ bzw. $\mu S/cm$ verwendet.

Die Überwachung aller potenziellen Verunreinigungen im aufbereitetem Wasser ist unpraktisch. Anorganische Salze und gelöste organische Verbindungen sind die wichtigsten Verunreinigungen. Sie beeinträchtigen die meisten Laboranwendungen und sollten daher unbedingt online in Laborwassersystemen überwacht werden. Die wichtigsten und schnellsten Online-Techniken sind die Widerstands- und TOC-Messung.

Spez. Leitfähigkeit	Spez. Widerstand
0,01 μS	100 $M\Omega$
0,055 μS	18,2 $M\Omega$
0,1 μS	10 $M\Omega$

Die Leitfähigkeit k gibt den Gesamtgehalt der einzelnen im Wasser enthaltenen Ionen an und liefert damit wertvolle, nicht-spezifische Angaben über die Ionen in aufbereitetem Wasser. Dies umfasst alle Ionenverunreinigungen sowie die Wasserstoff- und Hydroxylionen, die durch die geringfügige natürliche Dissoziation von Wasser entstehen. Diese Wasserstoff- und Hydroxylionen führen in Reinstwasser zu einer spezifischen Leitfähigkeit von 0,055 $\mu S/cm$ bei 25 °C (d. h. einem spez. Widerstand von 18,2 $M\Omega \cdot cm$).

Kontrolle von Verunreinigungen

Verunreinigung	Kontrollansatz
Ionen	Einsatz von Umkehrosiose, Ionenaustausch, EDI, Online-Widerstandsmessgerät.
Organische Stoffe	Einsatz von Umkehrosiose, Aktivkohle, UV-Photooxidation, Inline-TOC-Messgerät.
Partikel	Einsatz eines Absolutfilters. Bei Bedarf gelegentliche Online-Tests.
Bakterien	Einsatz von Mikrofilter, UV & Sanitisierung. Offline-Tests.
Endotoxine	Einsatz von Ultrafilter, UV-Photooxidation. Offline-Tests.
Biologisch aktive Teilchen	Einsatz von Ultrafilter, UV-Photooxidation. Offline-Tests.
Gase	Gasabscheidung an der Entnahmestelle. Bei Bedarf gelegentliche Online-Tests.

Hinweise & Tipps

Aufbereitetes Wasser, das nicht rezirkuliert, in möglichst kleinen Mengen bevorraten. So begrenzen Sie Qualitätsverluste und Bakterienwachstum.

Bei stark ionisierten Salzen ist der Wert k ungefähr proportional zur Salzkonzentration in der Lösung und zur Beweglichkeit der Ionen, die in u^+ (Kation) und u^- (Anion) gemessen wird. Die Werte von u^+ and u^- hängen ferner stark von der Viskosität der Lösung und damit von der Wassertemperatur t ab. Bei vielen Ionen liegt der relative Temperaturkoeffizient von u etwa bei $+2\%/^{\circ}\text{C}$. Der Wert der Gleichgewichtskonstante von Wasser k_W ist ebenfalls temperaturabhängig. Somit kann die spezifische Leitfähigkeit von Reinwasser um bis $6\%/^{\circ}\text{C}$ zunehmen. In der Praxis werden gewöhnlich alle Leitfähigkeits- und Widerstandswerte auf eine Temperatur von 25°C korrigiert. Widerstand und Leitfähigkeit können schnell und einfach mit einer Online-Leitfähigkeitsmesszelle (Sensor) mit Kabel und Messgerät oder einer Anzeigeeinheit mit zugehöriger Elektronik, oftmals mit Funktion zur Temperaturkompensation, gemessen werden. Das Messgerät misst den Widerstand R zwischen den Messelektroden der Leitfähigkeits-Messzelle.

Leitfähigkeitswerte unter $2\ \mu\text{S}/\text{cm}$ müssen online gemessen werden, da hochreines Wasser schnell Verunreinigungen aus der Umgebung, insbesondere Kohlendioxid, aufnimmt und auf diese Weise die Leitfähigkeit erhöht wird. Der Widerstand ist zwar ein hervorragender Indikator für den Ionengehalt in hochreinem Wasser, gibt jedoch keinen Aufschluss über das Vorhandensein oder die Konzentration nicht-ionisierter chemischer Stoffe und ist unempfindlich gegenüber Konzentrationen unterhalb des ppb-Bereichs infolge der Gleichgewichte mit den Wasserstoff- und

Typische Leitfähigkeitswerte

	$\mu\text{S}/\text{cm}$
1mg/l NaCl	2,2
10mg/l NaCl	22,0
100mg/l NaCl	220,0
1mg/l HCl	8,0
10mg/l CO_2	4,0

Hydroxylionen aus dem Wasser. Wenn diese Konzentrationen kritisch sind, müssen ggf. einzelne Verunreinigungen mit Analysetechniken wie induktiv gekoppelter Plasmamassenspektrometrie, Ionenchromatographie und Graphitofen-AAS gemessen werden.

Schwankungen des spezifischen Widerstands in Abhängigkeit von der Temperatur

Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	Spez. Widerstand von Reinwasser ($\text{M}\Omega\text{-cm}$)	Spez. Widerstand von 21,1 $\mu\text{g}/\text{l}$ NaCl in Wasser ($\text{M}\Omega\text{-cm}$)
0	86,19	28,21
5	60,48	22,66
10	43,43	18,30
15	31,87	14,87
20	23,85	12,15
25	18,18	10,00
30	14,09	8,28
35	11,09	6,90
40	8,85	5,79
45	7,15	4,89
50	5,85	4,15

Hinweise & Tipps

Eine regelmäßige Desinfektion ist entscheidend zur Vermeidung von Biowachstum. Zu diesem Zweck eignen sich Chlor-Tabletten, Peressigsäure oder Wasserstoffperoxid.

Typische TOC-Werte (ppb)

Leitungswasser	500 - 5000*
Umkehrosmose-Permeat	25 - 100
SDI-Wasser	50 - 500**
Umkehrosmose + Entionisierung	10 - 50
Poliert	3 - 5
Poliert mit 185 nm UV	<2

*(Typischerweise 1000 - 3000)

**Kann um ein Vielfaches höher sein, da sich der Zylinder infolge der Elution schwach gebundener organischer Stoffe erschöpft.

Hinweise & Tipps

Um die effektive Nutzung der Messgeräte für den spezifischen Widerstand zu gewährleisten, sind die Elektroden der Messzelle regelmäßig von einem qualifizierten Mitarbeiter zu reinigen und zu kalibrieren.

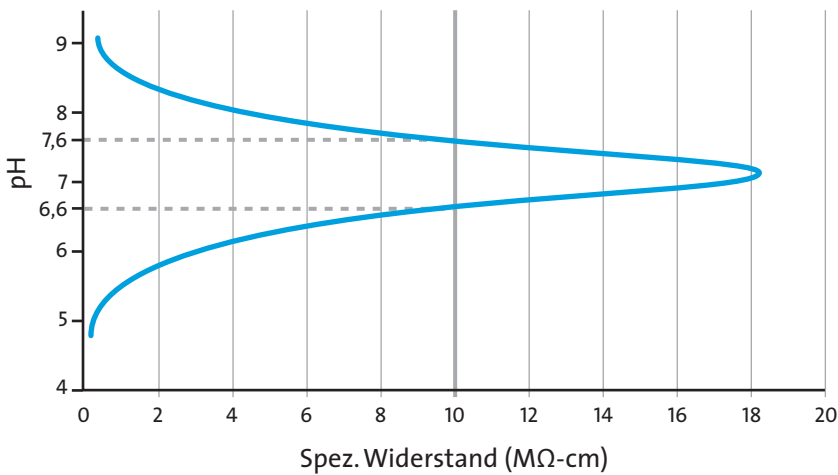
Total Organic Carbon (TOC) zum Nachweis organischer Verbindungen

Die potenzielle Vielfalt und Komplexität organischer Verbindungen in aufbereitetem Wasser macht eine regelmäßige Messung unpraktisch. Aus diesem Grund wird ein Indikator für den Gesamtgehalt an organischen Verunreinigungen verwendet. Dabei hat sich der TOC-Test als der praktikabelste erwiesen. Bei diesem Test werden organische Substanzen in Wasserproben oxidiert und anschließend die resultierenden Oxidationsprodukte gemessen. TOC-Analysegeräte sind in zahlreichen verschiedenen Modellen erhältlich, die sich grob anhand ihres Funktionsprinzips unterscheiden lassen: Oxidation des gesamten Kohlenstoffs zu Kohlendioxid und anschließende selektive Messung des CO₂-Gehalts; teilweise Oxidation der organischen Verbindungen, z. B. zu Säuren; oder vollständige Oxidation aller vorhandenen Substanzen und Messung der Änderung der Leitfähigkeit, die durch die oxidierten

Verbindungen hervorgerufen wird. Die erstgenannten Geräte werden gewöhnlich Offline zum Nachweis der Einhaltung von TOC-Spezifikationen verwendet, während die letztgenannten bei der Online-Überwachung zum Einsatz kommen, z. B. unter Bildung von Stickstoff- und Schwefelsäuren durch Oxidation von N- und S-Atomen. TOC-Tests dienen vor allem zur Überwachung und Trendmessung. Bei den meisten Wasserarten kann vom TOC-Gehalt nicht direkt auf die Konzentration organischer Moleküle geschlossen werden, da die Kohlenstoffmenge von Molekül zu Molekül unterschiedlich ist.

Hinweise & Tipps

Nach einem inaktiven Zeitraum, beispielsweise einem Wochenende, mindestens 5 Liter aufbereitetes Wasser ablaufen lassen, insbesondere wenn das Wasser für wichtige Anwendungen eingesetzt wird.



pH

Die pH-Messung wird für Reinwasser nicht empfohlen. Wasser mit hohem Reinheitsgrad nimmt schnell Verunreinigungen auf, die den pH-Wert beeinflussen. Ferner führt die geringe spezifische Leitfähigkeit bei den meisten pH-Messgeräten zu instabilen Messungen. Da jedoch die Konzentration von Wasserstoffionen im Wasser sowohl den pH-Wert als auch den spezifischen Widerstand beeinflusst, muss der pH-Wert innerhalb eines Bereichs liegen, damit ein gegebener Widerstandswert gemessen wird. Bei einem spezifischen Widerstand von 10 $M\Omega\text{-cm}$ beispielsweise muss der pH-Wert zwischen 6,6 und 7,6 liegen.

Hinweise & Tipps

Um Algenwachstum zu verhindern, Tanks und Rohrleitungen aus lichtundurchlässigem Material verwenden und bei der Installation, direkte Sonneneinstrahlung und Hitzeeinwirkung aus nächster Nähe vermeiden.

Hinweise & Tipps

Ionenaustauschkartuschen in regelmäßigen Zeitabständen, z. B. alle sechs Monate, auswechseln, um die bakterielle Verunreinigung zu minimieren.

Hinweise & Tipps

Um die Lebensdauer einer Umkehrosmosemembran zu verlängern stellen Sie sicher, dass diese regelmäßig durchgespült wird. Das Spülen entfernt Feinstaub oder Ablagerungen von der Membranoberfläche.

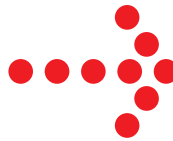
Überwachung biologisch aktiver Stoffe

Zur Überwachung biologisch aktiver Stoffe werden Proben aufbereiteten Wassers durch einen sterilen 0,22µm Membranfilter geleitet. In der Probe vorhandene Bakterien werden vom Filter zurückgehalten, der anschließend auf der Oberfläche eines nährstoffarmen Mediums platziert und inkubiert wird. Die Nährstoffe des Mediums diffundieren durch den Filter und ermöglichen so das Wachstum von Kolonien, die gewöhnlich nach 3 bis 5 Tagen gezählt werden.

Da diese Technik der „Plattenzählung“ erst nach längerer Zeit Ergebnisse liefert, sind regelmäßige Bakterienzählungen entscheidend für die langfristige Überwachung des zulässigen Bakteriengehalts. Dies wird durch Epifluoreszenz-Mikroskopie einer gefärbten, gefilterten Probe erreicht. Das Verfahren kann zur schnellen Detektion und Unterscheidung zwischen lebenden und abgestorbenen Mikroorganismen verwendet werden, was bei schnellem Handlungsbedarf hilfreich ist. Ergebnisse aus Zählungen per Epifluoreszenz dürften sich erheblich von denen der herkömmlichen Plattenzählung unterscheiden, da Mikroorganismen, die in Wasseraufbereitungssystemen wachsen, nicht notwendigerweise auch schnell oder gut auf Plattenmedien gedeihen. Endotoxine sind in den Zellwänden gramnegativer Bakterien vorkommender Lipopolysaccharide enthalten. Sie beeinträchtigen zahlreiche molekularbiologische Vorgänge und rufen beim Menschen eine toxische Reaktion hervor. Die Messung von Endotoxin-Konzentrationen erfolgt

mithilfe von Standardtests, die auf der Aktivität von Limulus-Amebozyt-Lysat basieren. Andere biologisch aktive Stoffe wie RNase, DNase und Proteasen können auf ähnliche Weise schwerwiegenden Einfluss auf viele Techniken der Molekularbiologie ausüben. Zum Offline-Nachweis dieser Stoffe sind verschiedene spezifische Tests, häufig in Form von Test-Kits, erhältlich.

Für die Wartung bzw. den Austausch der Komponenten von Wasseraufbereitungssystemen müssen Verfahren implementiert werden, um sicherzustellen, dass das Produktwasser



Hinweise & Tipps

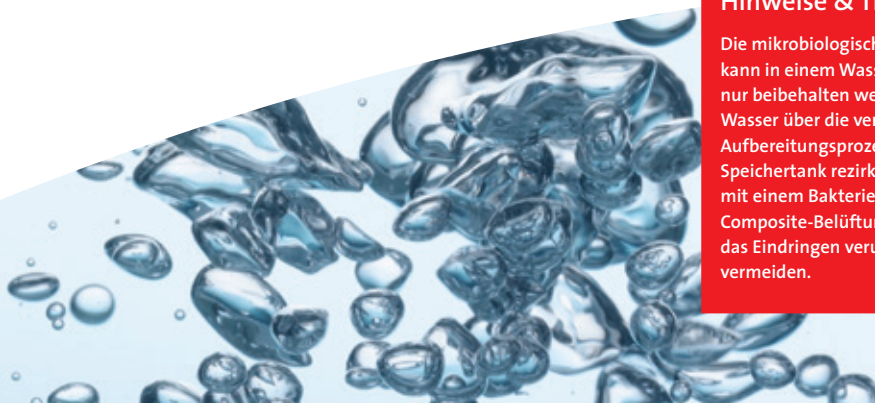
Für Arbeiten, die Wasser mit hohem Reinheitsgrad erfordern, ultrasaubere Geräte (Glas oder Plastik) verwenden. Zur Durchführung empfindlicher Analysetechniken die Probenbehälter vor ihrer Verwendung in ultrareinem Wasser spülen. Wenn die organische Qualität kritisch ist, werden Glastanks empfohlen. Diese erfordern ggf. eine spezielle Vorbereitung.

jederzeit die Qualitätsvorgaben einhält. Durch Trendüberwachung von Parametern, welche die Spezifikation des Produktwassers messen, kann ein Teil des Wartungsbedarfs frühzeitig erkannt werden. Die Wartungsintervalle müssen mindestens den Herstellerempfehlungen entsprechen.

Die Sanitisierung oder Desinfektion des Wasseraufbereitungs- und Verteilsystems ist entscheidend für die Einhaltung der Spezifikationen hinsichtlich mikrobieller Verunreinigungen. Die Häufigkeit der Sanitisierung muss so gewählt werden, dass die Spezifikationen für die Wasserreinheit erfüllt werden. Als Grundlage zur Wahl des Intervalls dienen die Auslastung des Systems, Daten aus regelmäßigen qualitativen Trendkontrollen und die Herstellerempfehlungen. Als Desinfektionsmittel werden häufig Chlorlösungen, Peressigsäure und Wasserstoffperoxid verwendet.

Hinweise & Tipps

Die mikrobiologische Reinheit des Wassers kann in einem Wasseraufbereitungssystem nur beibehalten werden, wenn das Wasser über die verschiedenen Aufbereitungsprozesse und über den Speichertank rezirkuliert. Ferner ist der Tank mit einem Bakterienluftfilter oder einem Composite-Belüftungsfilter auszustatten, um das Eindringen verunreinigter Luftpartikel zu vermeiden.





Normen für aufbereitetes Wasser

Die Festlegung unterschiedlicher Wasserreinheitsgrade für Laboranwendungen durch Normen hat sowohl technische als auch wirtschaftliche Gründe. Diese Normen sollen sicherstellen, dass die richtige Wasserqualität für eine spezifische Anwendung eingesetzt wird und gleichzeitig helfen, die Betriebskosten der Labore zu minimieren. Allgemein gilt: Je höher der Reinheitsgrad von Wasser, desto teurer die Herstellung.

ELGA unterscheidet vier Typen aufbereiteten Wassers für Laboranwendungen:

Primärgrad (Primary Grade)

Wasser dieses Typs verfügt über das niedrigste Reinheitsniveau und eine spezifische Leitfähigkeit von normalerweise 1-50 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Es kann mit Hilfe einfacher, schwach basischer Anionenaustauscherharze, durch Umkehrosmose oder durch einfache Destillation hergestellt werden. Schwach geladene Anionen wie Kohlendioxid und Silicium werden möglicherweise nicht entfernt und können dementsprechend in Wasser dieses Reinheitsgrads enthalten sein. Die typischen Anwendungen umfassen das Spülen von Glasgeräten sowie die Versorgung von Waschmaschinen und Befeuchtern.

Entionisiertes Wasser

Entionisiertes Wasser hat eine typische spezifische Leitfähigkeit von 1,0 bis 0,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (d. h. einen spezifischen Widerstand von 1,0 bis 10,0 $\text{M}\Omega\text{-cm}$). Es wird durch Mischbett-Ionenaustausch unter Verwendung stark basischer Anionenaustauscherharze hergestellt. Es kann relativ hohe und variable Konzentrationen an organischen und bakteriellen Verunreinigungen enthalten. Entionisiertes Wasser wird für verschiedene Zwecke verwendet, z. B. zum Spülen, für das Ansetzen analytischer Lösungen und Reagenzien sowie für Probenverdünnungen.

Wasser für allgemeine Laboranwendungen

Dieses Wasser weist nicht nur eine hohe Reinheit in Bezug auf Ionen, sondern auch ein niedriges Niveau an organischen Verunreinigungen und Mikroorganismen auf. Typische Spezifikationen sind hier eine spezifische Leitfähigkeit von $<1,0 \mu\text{S}/\text{cm}$ (spezifischer Widerstand $>1,0 \text{M}\Omega\text{-cm}$), ein Gesamtgehalt organischer Kohlenstoffverbindungen (TOC) $< 50 \text{ppb}$ und ein Bakteriengehalt $< 1 \text{KBE}/\text{ml}$. Wasser dieser Qualität ist für eine Vielzahl von Anwendungen geeignet, vom Ansetzen von Reagenzien und Pufferlösungen bis hin zur Vorbereitung von Nährmedien für Bakterien-Zellkulturen und mikrobiologische Studien. Wasser für allgemeine Laboranwendungen kann mit Hilfe doppelter Destillation oder durch ein Wasseraufbereitungssystem mit Umkehrosmose und Ionenaustausch oder EDI und möglicherweise mit Absorption und UV-Behandlung hergestellt werden.



Reinstwasser

Reinstwasser (auch als ultrareines Wasser bezeichnet) kommt in Bezug auf spezifischen Widerstand, Gehalt organischer Verbindungen, Partikel und Bakteriengehalt dem theoretischen Begriff von Reinheit nahe. Dieser Reinheitsgrad kann durch „Polishen“ des durch Ionenaustausch, Umkehrosmose oder Destillation aufbereiteten Wassers erzielt werden. Reinstwasser hat einen typischen spezifischen Widerstand von 18,2 M Ω -cm, einen TOC-Gehalt <10 ppb C, eine Partikelfiltration von 0,1 μ m oder feiner und einen Bakteriengehalt < 1 KBE/ml. Reinstwasser ist für sensible analytische Anwendungsbereiche wie Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie (HPLC), Ionenchromatographie (IC) und induktiv gekoppelte Plasma-Massenspektrometrie (ICP-MS) erforderlich. Ultrareines pyrogenfreies Wasser wird bei Anwendungen wie Säugetier-Zellkulturen eingesetzt. Ultrafiltration wird zum Entfernen signifikanter Konzentrationen an biologisch aktiven Stoffen wie Endotoxinen (typischer Gehalt <0,005 EU/ml), Nukleasen und Proteasen (nicht messbar) verwendet.

Nachfolgend sind die relevanten Normen aufgeführt:

- **Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI) – ehemals NCCLS**
- **International Organization for Standardization (ISO)**
- **American society for Testing and Material (ASTM)**
- **Pharmakopöe einschließlich USP (USA), EP (Europa) und JP (Japan)**

In Fällen, in denen Anwendungen einen höheren Reinheitsgrad erfordern als durch die existierenden Normen vorgesehen, bestimmt ELGA in Zusammenarbeit mit dem Unternehmen oder Institut den korrekten Reinheitsgrad und die geeigneten Aufbereitungsmethoden.

Die Informationen über die in diesem Kapitel behandelten Normen sind zum Zeitpunkt der Drucklegung korrekt, es sind jedoch nicht alle Normen vollständig wiedergegeben. Da Normen regelmäßig überarbeitet werden, ist der Anwender angehalten, jeweils die neuste Version der vollständigen Normen heranzuziehen.

Internationale Normen

Gereinigtes Wasser wird in allen Industriezweigen und wissenschaftlichen Einrichtungen verwendet. Aus diesem Grund haben internationale und nationale Normungsbehörden Wasserqualitätsnormen für allgemeine Anwendungen aufgestellt. Die wichtigsten Normen für den Bereich der klinischen Analysegeräte sind die des Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI), der Nachfolgeorganisation des NCCLS (National Committee for Clinical Laboratory Standards).

Clinical Laboratory Standards Institute (CLSI) – Preparation and testing of reagent water in the clinical laboratory – Dritte Auflage (1997) – 2006 ersetzt

Die vom Institut CLSI herausgegebenen Richtlinien zur Wasseraufbereitung unterscheiden drei Haupttypen von Wasser (Typ I bis III), wobei Typ I für klinische Laboranwendungen und die Speisung automatisierter Instrumente am relevantesten ist.

Clinical Laboratory Standards Institute (CLSI) – Preparation and testing of reagent water in the clinical laboratory – Vierte Ausgabe (2006)

Um den Anwendern das Verständnis für die wichtigsten Aspekte, die mit der Auswahl von Wasseraufbereitungssystemen verbunden sind, zu erleichtern, hat das CLSI in den überarbeiteten Richtlinien einen neuen Ansatz gewählt. Die Bezeichnungen vom Typ I, II, III wurden durch die Maxime abgelöst, dass das Wasser für den vorgesehenen Zweck geeignet sein muss.

Das Produktwasser, das eine vorgegebene Spezifikationen erfüllt, muss auf seine Eignung für das

jeweilige labortechnische Verfahren hin untersucht und entsprechend validiert werden. Das System zur Produktion des aufbereiteten Wassers muss hinsichtlich der anwenderseitigen Anforderungen validiert werden. Eine regelmäßige Überwachung, die Erstellung von Trends sowie die Dokumentation geeigneter Parameter sind erforderlich, um den effektiven Betrieb von Technologien und Systemen zur Wasseraufbereitung sicherzustellen.

Es müssen Verfahren zur Systemwartung implementiert werden, die sicherstellen, dass das System jederzeit die Vorgaben in Bezug auf die Wasserreinheit erfüllt.

Nur ein Reinheitsgrad, „Clinical Laboratory Reagent Water“ (CLRW), ist detailliert definiert. CLRW kann verwendet werden, um Wasser des Typs I oder II gemäß der früheren Richtlinie zu ersetzen. Die übrigen Reinheitsgrade, die nachfolgend aufgeführt sind, beziehen sich auf die konkrete Anwendung und die anwenderseitigen Anforderungen:

- **Special Reagent Grade Water (SRW)**
- **Speisewasser für Instrumente**
- **Wasser zur Verwendung als Verdünnungsmittel oder Reagenz**
- **Vorabgefülltes Flaschenwasser**
- **Autoklav- und Waschwasseranwendungen**



	Typ I	Typ II	Typ III
Bakterien (KBE/ml), max.	10	1000	keine Angabe
pH	keine Angabe	keine Angabe	5,0 - 8,0
Spez. Widerstand (MΩ-cm @ 25 °C), min.	10	1	0,1
SiO₂ mg/l, max.	0,05	0,1	1
Feinstaub	0,2-µm-Filter	keine Angabe	keine Angabe
Organische Verunreinigungen	Aktivkohle, Destillation oder Umkehrosiose	keine Angabe	keine Angabe

Reagenzwasser für klinische Laboranwendungen (CLRW)

CLRW-Wasser muss die Anforderungen der meisten routinemäßigen Prüfverfahren in klinischen Laboren erfüllen. Die spezifizierten Parametergrenzwerte müssen an dem Punkt eingehalten werden, an dem das Wasser ein Aufbereitungssystem in Richtung Speichertank oder Anwendung verlässt. Die Spezifikationen dienen zur Kontrolle kritischer Parameter. Sie sollen sicherstellen, dass das aufbereitete Wasser für die spezifischen Prüfverfahren in klinischen Laboranwendungen geeignet ist. Das Produktwasser muss unbedingt die Vorgaben in Bezug auf Verunreinigungen erfüllen und die Parameter sind regelmäßig auf Trends hin zu kontrollieren, um eine mögliche Verschlechterung der Aufbereitungsqualität frühzeitig zu erkennen.

In den CLSI-Richtlinien wird ein wichtiger Aspekt in Bezug auf Standards hervorgehoben: Es wird betont, dass die vorgeschriebenen Standards nur als Indikatoren für einen vermutlich akzeptablen Wasserreinheitsgrad dienen können. Es liegt in der Verantwortung des Analysegeräte-Herstellers sicherzustellen, dass Wasser eines bestimmten Reinheitsgrads oder einer bestimmten Spezifikation für die spezifische chemische Anwendung in einem bestimmten Analysegerät geeignet ist.

Da die Chemie usw. geändert werden kann oder neue Parameter eingeführt werden können, besteht die einzige „sichere“ Option darin, für alle Anwendungen Wasser optimaler Qualität bereitzustellen. Selbst dann müssen bei bestimmten chemischen Vorgängen spezifische Verunreinigungen hervorgehoben werden, wenn diese nachweislich die Resultate beeinträchtigen.

Special Reagent Grade Water (SRW)

Bei Special Reagent Grade Water (SRW) in Reagenzqualität, das für spezielle klinische Labortests erforderlich ist, handelt es sich um Reinwasser mit im Vergleich zu CLRW unterschiedlichen und in der Regel strengeren Reinheitsspezifikationen. Die Spezifikation muss dieselben Parameter wie CLRW sowie ggf. weitere Parameter beinhalten. In einem Labor werden u.U. verschiedene Typen von SRW-Wasser eingesetzt. In den meisten Fällen wird Wasser der Güte SRW anhand von Tests während der Assay-Entwicklung als für einen bestimmten Zweck geeignet qualifiziert. Dabei kommen Techniken wie Blindreaktion von Proben, Blindreaktion von Reagenzien, Hinzufügen von Standards und Interferenztests zum Einsatz. Im Anschluss an die Qualifizierung muss das Labor die Spezifikationen und die Validierungsprüfungen festlegen, um sicherzustellen, dass das Wasser die Anforderungen der speziellen klinischen Tests erfüllt. Typische Anwendungen für SRW-Wasser:

- **Organische Spurenanalyse, bei der möglicherweise ein geringerer TOC-Gehalt oder eine Spezifikation für UV-photometrische Absorption erforderlich ist.**
- **DNA- und RNA-Tests, die gewöhnlich Spezifikationen für das Aktivitätsniveau von Protease, DNase und RNase erfordern.**
- **Analyse von Spurenmetallen. Hierbei ist eine negative Blindprobe für jedes zu messende Metall erforderlich.**
- **Wasser mit geringem Endotoxin-Gehalt (0,25 EU / ml oder weniger) kann für sensible molekularbiologische Anwendungen wie Zellkulturen, Organtests und Fluoreszenz-Antikörpernachweistests von Mikroorganismen erforderlich sein.**
- **Ein geringer CO₂-Gehalt ist möglicherweise bei der Vorbereitung von Standardpuffern zur pH-Kalibrierung erforderlich.**

Speisewasser für Instrumente

Speisewasser für Instrumente ist für die internen Spül-, Lösungs- und Wasserbadfunktionen automatisierter Instrumente vorgesehen. Der Einsatz von Reagenzwasser für klinische Laboranwendungen (CLRW = Clinical Laboratory Reagent Water) für diese Anwendung muss mit dem jeweiligen Gerätehersteller abgesprochen und Wasser dieser Spezifikation verwendet werden.

Das Clinical Laboratory Standards Institute (CLSI) betont, dass das Laborwasser für den vorgesehenen Zweck geeignet sein muss. Das Wasser muss für jedes labortechnische Verfahren auf seine Eignung hin überprüft und validiert werden. Das System zur Herstellung von gereinigtem Wasser muss ebenfalls validiert werden. Eine regelmäßige Überwachung, die Erstellung von Trends sowie die Dokumentation geeigneter Parameter sind erforderlich, um den effektiven Betrieb von Technologien und Systemen zur Wasseraufbereitung sicherzustellen. Für die Wartung der Systeme sind entsprechende Verfahren auszuarbeiten. Nur ein Reinheitsgrad, „Clinical Laboratory Reagent Water“ (CLRW), ist detailliert definiert. Andere Reinheitsgrade werden im Zusammenhang mit ihrer Applikation beschrieben und vom Anwender detailliert definiert.

Spezifikationen für CLRW

Ionenverunreinigungen – Spez. Widerstand 10 M Ω -cm

Organische Verunreinigungen – TOC < 500 ppb

Mikrobiologische Verunreinigungen, Gesamtkoloniezahl heterotropher Bakterien < 10 KBE/ml*

Partikelgehalt – Inline 0,2 μ m-Filter oder feiner in der Nähe der Ausgabestufe

*Epifluoreszenz- und Endotoxin-Tests sind zum Erhalt weiterer Informationen optional.

Spezifikation der International Organization for Standardization für Wasser für den Laborbedarf ISO 3696: 1987

Diese Norm behandelt die folgenden drei Wassertypen:

Typ 1

Wasser des Typs 1 ist im wesentlichen frei von gelösten oder kolloidalen, ionisierten und organischen Verunreinigungen. Es eignet sich für die strengsten analytischen Anforderungen, einschließlich Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie (HPLC). Wasser des Typs 1 ist durch eine weiterführende Behandlung von Wasser des Typs 2 herzustellen, beispielsweise durch Umkehrosmose oder Ionenaustausch, gefolgt von einem 0,2 μ m Membranfilter zum Entfernen der Partikel bzw. einer erneuten Destillation mit Hilfe einer Quarzglasapparatur.

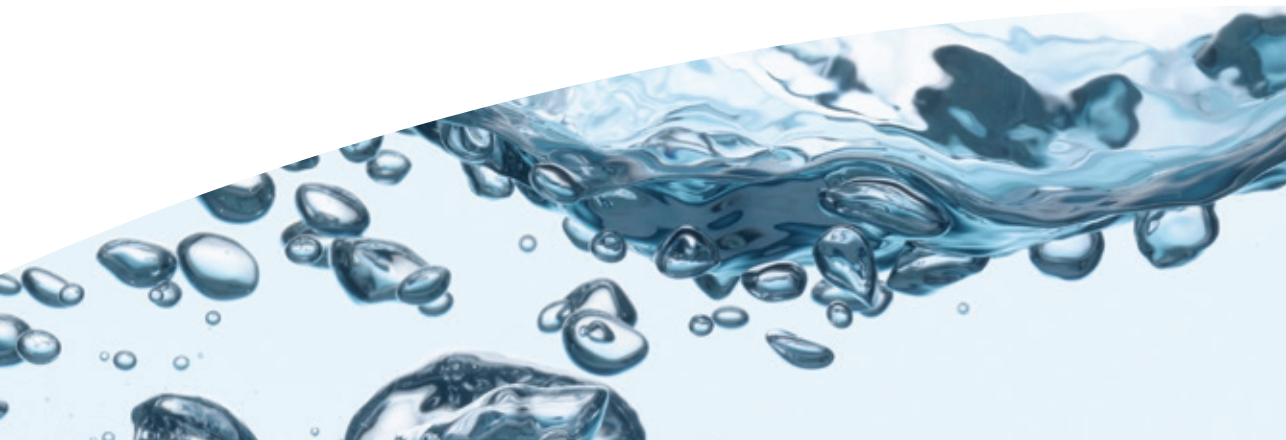
Typ 2

Wasser des Typs 2 zeichnet sich durch einen sehr geringen Gehalt an anorganischen, organischen oder kolloidalen Verunreinigungen aus. Dieses Wasser ist für sensible analytische Anwendungen, einschließlich der Atomabsorptions-Spektrometrie (AAS) und der Spurenanalytik, geeignet. Es kann durch mehrfache Destillation, Ionenaustausch oder Umkehrosmose, gefolgt von einer weiteren Destillation, hergestellt werden.

Typ 3

Wasser des Typs 3 ist für die meisten nasschemischen Untersuchungen im Labor sowie zum Ansetzen von Reagenzlösungen geeignet. Es kann durch einfache Destillation, mittels Ionenaustausch oder durch Umkehrosmose hergestellt werden. Wasser vom Typ 3 ist, sofern nicht anderweitig angegeben, für allgemeine analytische Arbeiten einzusetzen.

Parameter	Typ 1	Typ 2	Typ 3
pH-Wert bei 25 °C inklusiver Bereich	NZ	NZ	5,0 bis 7,5
Spez. elektrische Leitfähigkeit $\mu\text{S}/\text{cm}$ 25 °C, max.	0,1	1,0	5,0
Oxidierbare Materie, Sauerstoff (O_2) Gehalt mg/l , max.	NZ	0,08	0,4
Absorption bei 254 nm und einer optischen Weglänge von 1cm, Absorptionseinheiten, max.	0,001	0,01	keine Angabe
Rest nach Verdampfung bei Erhitzen auf 110 °C mg/kg , max.	NZ	1	2
Silicium (SiO_2) Gehalt mg/l , max.	0,01	0,02	keine Angabe



American Society for Testing and Materials (ASTM) D1193-06 Standardspezifikation für aufbereitetes Wasser

Diese Spezifikation behandelt die Anforderungen an Wasser für die chemische Analyse und physikalische Tests. Die Wahl des entsprechenden Typs hängt von der verwendeten Methode bzw. vom Prüfer ab.

	Typ I*	Typ II**	Typ III***	Typ IV
Spez. elektrische Leitfähigkeit, max. ($\mu\text{S}/\text{cm}$ bei 25 °C)	0,056	1,0	4,0	5,0
Spez. elektrischer Widerstand, min. ($\text{M}\Omega\text{-cm}$ bis 25 °C)	18,0	1,0	0,25	0,2
pH bei 25 °C	-	-	-	5,0 - 8,0
Gesamter organischer Kohlenstoff (TOC), max. ($\mu\text{g}/\text{l}$)	50	50	200	Keine Begrenzung
Natrium max. ($\mu\text{g}/\text{l}$)	1	5	10	50
Silicium max. ($\mu\text{g}/\text{l}$)	3	3	500	Keine Begrenzung
Chlorid max. ($\mu\text{g}/\text{l}$)	1	5	10	50

*Erfordert die Verwendung eines 0,2 μm Membranfilters

**Durch Destillation hergestellt

***Erfordert die Verwendung eines 0,45 μm Membranfilters

Bei der Kontrolle von Bakterienkonzentrationen sind die Wassertypen gemäß der folgenden Spezifikation weiter zu klassifizieren:

	Typ A	Typ B	Typ C
Gesamter Bakteriengehalt, max. KBE/100 ml	1	10	1000
Endotoxin max. EU/ml	0,03	0,25	-

Pharmakopöe-Normen

Viele Behörden, insbesondere in den USA, Europa und Japan, haben separate Pharmakopöen herausgegeben. Jede Pharmakopöe spezifiziert Materialien, einschließlich Wasser, zur medizinischen Anwendung. Die Standardnormen für gereinigtes Wasser sind diesen ähnlich, unterscheiden sich jedoch im Detail. Für sterile Anwendungen wurden besondere Kriterien aufgestellt. Die in der Europäischen Pharmakopöe (EP) und der US-Pharmakopöe (USP) angegebenen Normen für gereinigtes Wasser sind nachfolgend zusammengefasst. Wasser für Injektionen unterliegt hierbei strengen Kriterien im Hinblick auf Bakterien und Pyrogene. Die Herstellungsverfahren sind exakt vorgeschrieben.

Anforderungen der Pharmakopöe zum Reinheitsgrad von aufbereitetem Wasser („Purified Water“)

Eigenschaften	EP	USP
Spez. Leitfähigkeit	<4,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bei 20 °C	<1,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bei 25 °C
TOC	<500 $\mu\text{g}/\text{l C}$	<500 $\mu\text{g}/\text{l C}$
Bakterien (Richtlinie)	<100 KBE/ml	<100 KBE/ml
Nitrate	<0,2 ppm	-
Schwermetalle	<0,1 ppm	-

Europäische Norm EN285

Die europäische Norm EN285:2006+A1:2008 legt die Anforderungen und die relevanten Tests für große Dampfsterilisatoren mit einem Kammervolumen von mindestens 60 Litern fest. Diese Dampfsterilisatoren werden vorrangig im Gesundheitswesen zur Sterilisation medizinischer Geräte und des entsprechenden Zubehörs sowie bei der Fertigung medizinischer Geräte eingesetzt. Die Norm enthält Empfehlungen zu Höchstwerten für Verunreinigungen im Speisewasser, das diesen Sterilisatoren zugeführt wird.

Empfohlene Höchstwerte für Verunreinigungen im Speisewasser für große Dampfsterilisatoren (EN285)

Speisewasser	
Rest nach Verdampfung	< 10 mg/l
Silicium (SiO_2)	< 1 mg/l
Eisen	< 0,2 mg/l
Kadmium	< 0,005 mg/l
Blei	< 0,05 mg/l
Reste von Schwermetallen außer Eisen, Kadmium und Blei	< 0,1 mg/l
Chlorid (Cl)	< 2 mg/l
Phosphat (P_2O_5)	< 0,5 mg/l
Spez. Leitfähigkeit (bei 25 °C)	< 5 $\mu\text{S}/\text{cm}$
pH-Wert (Säuregrad)	5 bis 7,5
Erscheinungsbild	Farblos, sauber, ohne Sediment
Härte (Σ Ionen von Erdalkalien)	< 0,02 mmol/l

HINWEIS: Die Konformität ist mittels anerkannter Analysemethoden zu überprüfen.



Glossar

Abscheider – Die Stufe eines Destillationssystems, in dem einer verdampften Flüssigkeit so viel Wärme entzogen wird, dass ein Wechsel von der Dampfphase zur flüssigen Phase erfolgt.

Absorption – Ein Vorgang, bei dem eine Substanz chemisch oder physikalisch in großen Mengen durch ein Material (Absorbens oder Adsorptionsmittel) aufgenommen und in Poren oder Zwischenräumen im Innern festgehalten wird.

Adsorption – Die Anreicherung von Molekülen, Atomen und geladenen Teilchen eines gasförmigen oder flüssigen Stoffes an der Oberfläche einer anderen Substanz (fest oder flüssig) infolge unterschiedlicher, schwacher Anziehungskräfte.

Aktivkohle – Eine hoch poröse Form von Kohlenstoff, die zur Adsorption organischer Verbindungen und zum Entfernen von Chlor und Chloraminen verwendet wird.

Anionenaustauscherharz – Ein Ionenaustauscherharz mit positiv geladenen austauschbaren Gruppen, die negativ geladene Teilchen (Anionen) binden können.

Azeotrop – Ein Gemisch aus zwei oder mehr Komponenten, dessen Dampfphase bei gegebenen Temperatur- und Druckwerten dieselbe Zusammensetzung aufweist wie die flüssige Phase.

Bakterizid – Ein chemisch oder physikalisch wirkendes Mittel, das Bakterien abtötet.

Biofilm – In einer Matrix aus Glykoproteinen und Polysacchariden eingeschlossene Schicht aus Mikroorganismen, die aneinander bzw. an Oberflächen haften bleiben.

Biozid – Ein chemisch oder physikalisch wirkendes Mittel, das Mikroorganismen abtötet.

Destillation – Ein Aufbereitungsprozess bei dem eine Flüssigkeit verdampft und die anschließende Kondensation des gebildeten Dampfes zum Destillat führt. Die meisten nicht flüssigen Verunreinigungen werden dadurch dem Wasser entzogen.



Elektroionisierung (EDI) –

Technologie, die Ionenaustauscherharze und ionenselektive Membranen mit Gleichstrom kombiniert, um Ionenverunreinigungen aus dem Wasser zu entfernen.

Endotoxin – Eine thermisch stabile Lipopolysaccharid-Komponente von der Zellwand gramnegativer, lebensfähiger oder nicht lebensfähiger Mikroorganismen. Sie können Fieber hervorrufen (Pyrogene).

Endotoxineinheiten (EU/ml) – Eine mengenmäßige Bestimmung von Endotoxin-Konzentrationen in Bezug auf eine spezifische Menge von Referenz-Endotoxin. 1 EU/ml entspricht ungefähr 0,1 ng/ml.

Enthärten – Ein Wasseraufbereitungsprozess, bei dem Kationen, insbesondere Calcium und Magnesiumionen, die für die Wasserhärte verantwortlich sind, unter Verwendung von Kationenaustauscherharzen in Natriumform gegen Natriumionen ausgetauscht werden.

Entionisierung (DI) – Entfernen von Ionenverunreinigungen aus dem Wasser. Dieser Vorgang wird auch als Ionenaustausch bezeichnet – siehe Ionenaustausch.

Entnahmestelle (Point of Use, POU) – Punkt in einem Wasseraufbereitungssystem, an dem Wasser entnommen werden kann (Dispenser).

Epifluoreszenz – Eine Methode der Fluoreszenzmikroskopie, die zum Nachweis von Keimen nach der Filtration und Färbung verwendet werden kann.

Filtration – Ein Aufbereitungsprozess, bei dem eine Flüssigkeit durch ein poröses Material geleitet wird, um Verunreinigungen zu entfernen.

Fines (Feinstaub) – Kleine Partikel, die sich aus einem Materialbett lösen, z. B. bei Ionenaustauscherharzen.

Gasabscheidung – Das Entfernen von O₂ und CO₂ aus dem Wasser, in der Regel per Transfer durch eine wasserabweisende Membran. CO₂ wird dem Wasser entzogen, um die Kapazität zum Ionenaustausch in nachgeschalteten Prozessen zu erhöhen.

Gramnegativ – Bezieht sich auf Bakterien, die keine violette Farbe absorbieren. Ursprünglich von Gram beschrieben.

Härte – Maß für den Gehalt an Calcium- und Magnesiumsalzen, angegeben in Härtegraden. Die Salze liegen in Form von Bicarbonaten, Chloriden, Sulfaten, Phosphaten und Silikaten und Nitraten vor. Gesamthärte ist die Summe aller Calcium- und Magnesiumsalze. Carbonathärte ist der Gehalt an Bicarbonaten des Calciums und Magnesiums, und wird bei längeren Kochen unter Abscheidung unlöslicher Carbonate beseitigt, daher auch temporäre Härte genannt.

Ion – Ein nicht aggregierter Partikel mit einer geringeren Größe als ein Kolloid, der entweder eine positive oder negative elektrische Ladung trägt.

Ionenaustausch – Ein Wasseraufbereitungsprozess, bei dem ionisierte Salze aus der Lösung entfernt werden. In diesem Prozess werden Wasserstoffionen gegen Kationenverunreinigungen und Hydroxylionen gegen Anionenverunreinigungen ausgetauscht.

Kartusche – Gebrauchsfertiger Einwegbehälter zur Unterbringung eines Harzes, Mediums oder einer Membran zur Wasseraufbereitung.

Kationenaustauscherharz – Ein Ionenaustauscherharz mit immobilisierten, negativ geladenen austauschbaren Gruppen, die positiv geladene Teilchen (Kationen) binden können.

KBE/ml – Koloniebildende Einheiten (engl.: CFU = Colony Forming Units) pro Milliliter. Eine Maßzahl für lebensfähige mikrobielle Populationen.

Kohlenstaub – Sehr kleine Kohlepartikel, die aus einem Aktivkohlefilter ausgewaschen werden können.

Kolloid – Eine stabile Dispersion feiner Partikel im Wasser, deren typische Größe weniger als $1\ \mu\text{m}$ beträgt. Kolloide, die Eisen (Fe), Aluminium (Al), Silicium (SiO_2) und organische Verbindungen enthalten, kommen gewöhnlich im Roh- und Trinkwasser vor.

Konzentrat – Das verworfene Wasser aus einem Umkehrosmodul. Es wird als Konzentrat bezeichnet, da es eine höhere Konzentration an Verunreinigungen als das Speisewasser enthält.

Mikroorganismus – Ein Organismus, der zu klein ist, um mit bloßem Auge gesehen zu werden. Hierzu zählen Bakterien, Viren, Schimmel, Hefe, Protozoen, einige Pilzarten und Algen.

Offline – Überwachungssysteme für eine Verwendung im Wasser, die Messgeräte bezeichnen, die nicht direkt an den Wasserstrom gekoppelt sind.

Online – Überwachungssysteme für eine Verwendung im Wasser, die Messgeräte bezeichnen, die direkt an den Wasserstrom gekoppelt sind.

Partikel – Winzige Mengen in Wasser gelöster Feststoffe.

Permeat – Die gereinigte Lösung, die eine semipermeable Umkehrosmembran passiert hat.

pH – Der pH-Wert ist eine Maßzahl für den Säure- bzw. Alkaligehalt einer Lösung, der dem negativen $\log [\text{H}^+]$ entspricht.

Photooxidation – Siehe Ultraviolette (photochemische) Oxidation.

Planktisch – Beschreibt im Wasser schwebende Mikroorganismen.

Polishern – Die letzte(n) Stufe(n) der Behandlung in einem Wasseraufbereitungssystem.

ppb – Parts per Billion (Teilchen pro Milliarde) ist eine Einheit, die Mikrogramm pro Kilogramm Wasser ($\mu\text{g}/\text{kg}$) entspricht. Numerisch betrachtet sind die ppb-Werte äquivalent zu Mikrogramm pro Liter ($\mu\text{g}/\text{l}$) in verdünnten Lösungen.

ppm – Parts per Million (Teilchen pro Million) ist eine Einheit, die Milligramm pro Kilogramm Wasser (mg/kg) entspricht. Numerisch betrachtet sind die ppm-Werte äquivalent zu Milligramm pro Liter (mg/l) in verdünnten Lösungen.

ppt – Parts per Trillion (Teilchen pro Billion) ist eine Einheit, die Nanogramm pro Kilogramm Wasser (ng/kg) entspricht. Numerisch betrachtet sind die ppt-Werte äquivalent zu Nanogramm pro Liter (ng/l) in verdünnten Lösungen.

Pyrogen – Eine Kategorie von Substanzen, einschließlich bakterieller Endotoxine, die bei Injektion bzw. Infusion Fieber hervorrufen können.

Regeneration – Die Methode, nach der erschöpfte Ionenaustauscherharze durch die Behandlung mit einer starken Säure oder Base reaktiviert werden.



Reihenzelle (Line Cell) – Ein Elektroden-zusammenschluss, der in einen Wasserfluss geführt wird um die spezifische Leitfähigkeit bzw. den spezifischen Widerstand zu messen.

Reservoir – Behälter/Tank in Wasseraufbereitungssystemen, der zur Speicherung von gereinigtem Wasser dient.

Sanitisierung – Chemische bzw. physikalische Prozesse, die zum Abtöten von Mikroorganismen und zur Reduzierung der Verunreinigung durch Mikroorganismen dienen.

Schlamm-/Sedimentdichteindex (SDI) – Auch als Fouling Index (FI, Verschmutzungsindex) bezeichnet. Dieser Test wird zur Schätzung des Potenzials von Wasser zur Verblockung von Filtern eingesetzt. Die Werte werden aus der Verblockung eines 0,45µm Filters unter standardmäßigen Bedingungen abgeleitet.

Speisewasser – Das Wasser, das einem Aufbereitungsprozess zugeführt wird.

Spezifische Leitfähigkeit – Die spezifische Leitfähigkeit ist der Kehrwert des spezifischen Widerstands. Bei Wasseraufbereitungssystemen wird die spezifische Leitfähigkeit gewöhnlich bei einer Temperatur von 25 °C in Mikrosiemens pro Zentimeter (µS/cm) gemessen.

Spezifischer Widerstand – Der elektrische Widerstand, der zwischen gegenüberliegenden Seiten eines 1 cm großen Würfels wässriger Lösung bei einer bestimmten Temperatur gemessen wird. Der spezifische Widerstand ist der Kehrwert der spezifischen Leitfähigkeit. Bei der Wasseranalyse wird der spezifische Widerstand gewöhnlich in Megaohmzentimeter (MQ-cm) angegeben und auf den Wert bei 25 °C korrigiert. Sofern nicht anders angegeben, beziehen sich alle spezifischen Widerstandswerte in diesem Leitfadens auf eine Temperatur von 25 °C.

Sterilisation – Zerstören oder Entfernen aller lebenden Mikroorganismen.

Total Dissolved Solids (TDS) – Gesamte gelöste Feststoffe. Ein Maß der gesamten organischen und anorganischen Salze, die im Wasser gelöst sind. Der Wert wird durch Trocknen der Lösung bei 180 °C ermittelt.

Total Organic Carbon (TOC) – Gesamtgehalt organischer Kohlenstoffverbindungen. Die Gesamtkonzentration von Kohlenstoff in organischen Verbindungen.

Trübung – Der Grad der Trübung des Wassers infolge des Vorhandenseins schwebender Partikel bzw. kolloidaler Verunreinigung. Die Trübung verringert die Übertragung von Licht und wird in Nephelometric Turbidity Units (NTU, nephelometrischen Trübungseinheiten) gemessen.

Ultrafiltration – Ein Prozess, bei dem Wasser durch eine polymere Membran mit einer sehr feinen Porenstruktur filtriert wird.

Ultraviolette (photochemische) Oxidation – Ein Prozess, bei dem unter Verwendung von kurzwelligem Licht organische Moleküle gespalten bzw. oxidiert werden.

Umkehrosmose – Ein Vorgang, bei dem Wasser mittels Druck durch eine semipermeable Membran geführt wird. Gelöste organische Verunreinigungen, gelöste Ionenverunreinigungen und schwebende Verunreinigungen werden dabei zurückgehalten.

Validierung – Bei der Validierung wird der Nachweis geführt, dass die Anforderungen für einen bestimmten vorgesehenen Verwendungszweck oder eine Anwendung erfüllt wurden.

Verschmutzungsindex – Siehe Schlamm-/Sedimentdichteindex.

Weiterführende Literatur

Es existieren keine Bücher in englischer Sprache mit spezifischem Schwerpunkt auf Reinwasser für Laboranwendungen. Das „Ultra pure Water Journal“ (Tall Oaks Publishing) enthält Artikel zu diesem Thema, ebenso zwei Bücher von T.H. Meltzer von demselben Herausgeber: „High Purity Water Preparation for the Semiconductor, Pharmaceutical and Power Industries“ (1993) und „Pharmaceutical Water Systems“ (1996). Ebenfalls zu nennen ist das „Handbook of Water Purification“, herausgegeben von Walter Lorch, veröffentlicht von McGraw Hill.

Water Treatment Handbook – Degrémont, veröffentlicht von Lavoisier.

Viele der ASTM-Normen sind für aufbereitetes Wasser relevant (www.astm.org).

Informationen zur Wasseraufbereitung finden Sie unter www.groupve.com und www.elgalabwater.com.

Copyright-Hinweis

Die Texte, technische Informationen und Abbildungen im Pure LabWater Guide sind Eigentum von ELGA, einem Geschäftsbereich von Veolia Water Systems Ltd, und durch Urheberrechte geschützt.

Der Herausgeber der Informationen übernimmt keine Haftung für Fehler oder Auslassungen. Der Pure LabWater Guide darf ohne vorherige schriftliche Genehmigung von ELGA weder als Ganzes noch in Teilen in irgendeiner Form kopiert, vervielfältigt oder übertragen werden. Sei es auf elektronischem, mechanischem, magnetischem oder manuellem Wege, einschließlich Fotokopieren, Aufzeichnen oder unter Verwendung von Speichersystemen, oder an Dritte weitergegeben oder für jegliche andere Zwecke verwendet werden, die über den persönlichen Gebrauch durch den Leser hinausgehen.

ELGA behält sich das Recht vor, Texte, technische Informationen und Abbildungen im Pure LabWater Guide ohne vorherige Ankündigung zu ändern.
01/06/2005

Wir senden Ihnen gerne weitere Informationen.

Hier finden Sie Ihren ELGA Vertriebspartner in Ihrer Nähe:

Besuchen Sie unsere Webseite www.elgalabwater.de.
Senden Sie uns eine E-Mail unter de-vwst.labwater@veolia.com.

© 2008 ELGA LabWater/VWS (UK) Ltd. Alle Rechte vorbehalten.

Wenn Sie Fehler oder Auslassungen in diesem Dokument entdecken oder Vorschläge für zusätzliche Inhalte haben, setzen Sie sich bitte telefonisch unter +44 (0) 1494 887500 mit uns in Verbindung oder besuchen Sie unsere Webseite: www.elgalabwater.com

Die Laborwasser-Spezialisten

ELGA gehört zu Veolia, dem weltweit führenden Anbieter für optimiertes Ressourcenmanagement. Mit über 169.000 Beschäftigten auf allen fünf Kontinenten plant und implementiert die Veolia-Gruppe Lösungen für die Bereiche Wasser-, Abfall- und Energiemanagement im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung von Kommunen und der Wirtschaft.

Das Team von ELGA ist auf die Aufbereitung von Laborwasser spezialisiert. Wir arbeiten kontinuierlich an der Erweiterung des technischen und wissenschaftlichen Anwendungsfachwissens, das wir im Laufe der vergangenen 80 Jahre erworben haben. Dank unserer Erfahrung setzen wir Maßstäbe bei der Entwicklung und Installation sowie im Kundenservice für einzelne Wasseraufbereitungssysteme bis hin zu Großprojekten. Und das in enger Zusammenarbeit mit Kunden, Architekten und Planungsbüros.

Verpflichtung zur Nachhaltigkeit

Das Design von ELGA-Anlagen ist darauf ausgerichtet, den Einfluss auf die Umwelt während ihrer gesamten Lebensdauer so gering wie möglich zu halten – angefangen bei der Herstellung über den Betrieb bis hin zur Entsorgung. Wir können die Kohlenstoff-Emissionen für alle unsere Produkte über ihre gesamte Lebensdauer hinweg berechnen und stellen diese Information unseren Kunden und Partnern zur Verfügung.

Kontaktieren Sie uns:

ELGA in Deutschland

Veolia Water Technologies Deutschland GmbH • ELGA LabWater

Telefon: +49 (0) 51 41 803 0 • Telefax: +49 (0) 51 41 803 384

vertrieb.vwt.de@veolia.com

www.elgalabwater.de

Folgen Sie uns:

www.linkedin.com/elga-labwater

Tweeten Sie uns @sciencewater

www.elgalabwater.com/blog



Scannen Sie diesen QR-Code mit Ihrem Smartphone,
um mehr über ELGA zu erfahren und Ihren lokalen

Labtec Services AG

Nordstrasse 9

CH-5612 Villmergen

T +41 56 619 89 19

F +41 56 619 89 18

info@labtec-services.ch

www.labtec-services.ch

