

Übersicht über Aufbereitungsverfahren in der Trinkwasseraufbereitung

Für die Konzeption und Auslegung einer Aufbereitungsanlage sind umfangreiche Voruntersuchungen erforderlich, wobei Fachleute verschiedener Fachrichtungen zusammenarbeiten: Geologen, Chemiker, Biologen, Hygieniker, Verfahreningenieure sowie Maschinenbau- und Elektrotechnikingenieure.

Anforderungen an Rohwasser

Als Rohwasser wird das Wasser bezeichnet, das einem Gewässer (Grundwasser, Oberflächenwasser) zur Nutzung als Trinkwasser entnommen wird.

In den Fällen, in denen das gewonnene Wasser (Rohwasser) nicht stets mit ausreichender Sicherheit die erforderliche Güte besitzt, muss es zu Trinkwasser aufbereitet werden. Insbesondere sind an das Trinkwasser hygienische Anforderungen zu stellen, die zum einen beinhalten, dass es mikrobiologisch so beschaffen ist, dass durch seinen Genuss eine Erkrankung des Menschen nicht zu besorgen ist, zum anderen, dass es in physikalisch-chemischer Hinsicht so beschaffen ist, dass selbst bei lebenslangem Genuss eine Schädigung der menschlichen Gesundheit nicht zu besorgen ist.

In Deutschland nutzen 80 % der Wasserversorger echtes Grundwasser als Rohwasser. Die restlichen 20 % verwenden Uferfiltrat (7 %), angereichertes Grundwasser (3 %) und Oberflächenwasser (10 %).

Während Grundwasser aus Porengrundwasserleitern sowohl gut mechanisch gefiltert als auch in physikalisch-chemischer Hinsicht relativ konstant ist, ist dies bei Rohwasser aus Klufftgrundwasserleitern nicht unbedingt gegeben.

Insbesondere das Wasser aus Porengrundwasserleitern kann häufig ohne weitere Aufbereitung oder Desinfektion direkt als Trinkwasser eingesetzt werden. Als häufigstes Verfahren wird die Enteisenung und Entmanganung eingesetzt (57 %). Als Rohwässer mit konstanter Wasserqualität sind v.a. Tiefengrundwässer anzusehen, da sie im Hinblick auf die chemische Zusammensetzung i.d.R. gleichmäßig sind. Auf Grund der guten Filterung und der langen Verweilzeit handelt es sich hierbei immer um mikrobiell nicht kontaminierte Wässer.

Dagegen handelt es sich bei Oberflächenwässern immer um mikrobiell (fäkal) belastete Rohwässer, wobei die Belastung allerdings je nach Abwasseranteil bzw. je nach Größe bei einer Talsperre unterschiedlich stark sein kann. Hier kann es auch im Jahresverlauf starke Schwankungen geben. Bei Oberflächenwässern muss deshalb immer eine Aufbereitung und Desinfektion vorgesehen werden, die die möglichen Kontaminanten sicher beherrschen.

Mikrobiell belastete Rohwässer müssen desinfiziert und vorher durch Partikelentfernung so aufbereitet werden, dass eine Desinfektion sicher möglich ist, d.h. es muss ein weitgehend trübstofffreies Wasser in der Desinfektionsstufe vorliegen.

Aufbereitungsziele und zugehörige Verfahren

Aufbereitungsziel	Aufbereitungsverfahren
Entkeimung	<ul style="list-style-type: none"> • Langsamsandfiltration • Untergrundpassage • Natriumhypochloriddosierung • Chlorgasdosierung • Chlordioxidosierung • UV-Bestrahlung
Enteisenung Entmanganung	<ul style="list-style-type: none"> • Oxidation • Filtration • unterirdische Entfernung
säuerung	<ul style="list-style-type: none"> • Belüftung • Marmor-/Jura-/Dolomitfilter • Natronlauge-, Kalkmilch-, Soda-Dosierung
Oxidation	<ul style="list-style-type: none"> • Belüftung • O₂-Dosierung • Ozon, H₂O₂, • Kaliumpermanganat
Kohlenwasserstoff- entfernung	<ul style="list-style-type: none"> • Belüftung (Strippen) • Aktivkohlefilter
Enthärten / Entsalzen	<ul style="list-style-type: none"> • Ionenaustauscher • Umkehrosmose • Elektrodialyse • Nanofiltration
Entcarbonisierung	<ul style="list-style-type: none"> • Langsam-, Schnell-, • physikalische Entcarbonisierung
Trübung	<ul style="list-style-type: none"> • Flockung • Filtration • Untergrundpassage
Schwebstoffe	<ul style="list-style-type: none"> • Sedimentation • Filtration
Nitratentfernung (Entsalzung)	<ul style="list-style-type: none"> • Ionenaustauscher • Umkehrosmose • Elektrodialyse • biologische Denitrifikation • unterirdische Entfernung

Zu entscheiden, welche Verfahren oder Kombinationen von Aufbereitungsschritten einzusetzen sind, kann in diesem Rahmen nicht abschließend behandelt werden. Darum sollen die nachfolgenden Ausführungen einen Überblick über einige verbreitete Aufbereitungsverfahren verschaffen. Hierbei ist zu beachten, dass sich die Aufbereitung von Grundwasser und Oberflächenwasser deutlich voneinander unterscheiden.

Grundwasseraufbereitungsverfahren

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über einige typische Qualitätsprobleme im Grundwasser und deren Aufbereitungsverfahren.

Qualitätsproblem	Aufbereitungsverfahren
zu wenig Sauerstoff zu viel Kohlensäure, Stickstoff Schwefelwasserstoff u. ä. Gase zu viel Eisen, Mangan, Ammonium	offene Belüftung/Entgasung Enteisungs- und Entmanganungsfiltration
zu wenig Sauerstoff zu viel Kohlensäure zu hohe Härte zu viel Eisen	Belüftung, Begasung Enthärtung, Entsäuerung Filtration
hohe Halogenkohlenwasserstoff- konzentration	Belüftung und/oder Aktivkohle-Filtration
sehr hohe Belastung mit organischen Inhaltsstoffen	Ozonung und aktivkohle-Filtration Kaliumpermanganatdosierung
Gefahr bakterieller Belastung	Langsamfiltration Desinfektion mit Chlor, Chlordioxid oder UV-Bestrahlung

Durch anthropogene Einflüsse verursachte Verunreinigungen/ Qualitätsprobleme und deren Aufbereitung

Qualitätsproblem	Aufbereitungsverfahren
vielfältige Verunreinigungen durch städtische, industrielle und gewerbliche Immissionen (Abwässer, Luft, Verkehr, Landwirtschaft)	Untergrundpassage / Uferfiltration und/oder künstliche Grundwasseranreicherung
Trübstoffe, Algen, Mikroorganismen, organische Verunreinigungen	Flockung mit chemischen Zusatzstoffen, Sedimentation und Filtration
gelöste organische Verunreinigungen	Ozonung und Aktivkohle-Filtration
Gefahr durch Krankheitserreger ist immer gegeben	Untergrundpassage Langsamsandfiltration Desinfektion

Übersicht über die Anwendung von Aufbereitungsverfahren in den deutschen Wasserversorgungsunternehmen (Quelle: Umfrage des DVGW 2008)

Aufbereitungsverfahren	Anzahl Unternehmen	Prozentuale Verteilung
Enteisenung/Entmanganung	489	57
Entsäuerung	405	47
Langsam-/Schnellfiltration	252	30
Flockung	132	16
Aufhärtung	103	12
Adsorption (Aktivkohlefilter/Pulverkohle)	92	11
Zentrale Dosierung von Korrosionsinhibitoren	80	9
Oxidation (Ozon, Wasserstoffperoxid, Kaliumpermanganat)	79	9
Zentrale Mischung	77	9
Membranfiltration (Nano-, Ultrafiltration, Umkehrosmose)	57	7
Enthärtung	56	7
Unterirdische Enteisenung/Entmanganung	9	1

Anwendung von Desinfektionsverfahren in Deutschland

Verfahren	Prozentualer Anteil
Chlordioxid	24
Chlor/Hypochlorit	29
Ozon	5
Ultraviolettbestrahlung	42

Rohwasserbeeinträchtigungen und verfahrenstechnische Maßnahmen zur Risikobeherrschung

Problem	Aufbereitungsverfahren	Aufbereitungsziel
Pathogene Mikroorganismen > Bakterien, Viren, Parasiten > Trübung als Indikator für potentiell verunreinigtes Oberflächenwasser	> Partikelentfernung, z.B.: - Bodenpassage, Filtration, Membranfiltration > Desinfektion z.B.: - Chlorung, UV-Desinfektion	Gesundheitliche Aspekte stehen im Vordergrund
Geogene Störstoffe I > Toxische Stoffe bzw. Vorläuferverbindungen, (z.B. As, U, Rn, NH_4^+) > CO_2 (führt zu Schwermetallfreisetzung in Hausinstallationen - Korrosion)	> z.B. As-/U-Elimination mit Adsorbentien/Ionenaustauschern RN-Entfernung durch Strippen > Stabilisierung z.B. mittels Entsäuerungsfiltration	Abnehmendes Risiko
Organische Spurenstoffe > LHKW, PFT, PSM > Pharmaka > andere Spurenstoffe, z.B. EDTA, Süßstoffe	z.B. Aktivkohlefiltration und Oxidationsverfahren	
Geogene Störstoffe II > Geruchs- und Geschmacksstoffe > Fe, Mn	> Aktivkohle/Ozonung > Fe(II)-, Mn(II)-Filtration	Ästhetische Aspekte stehen im Vordergrund

Technische Regeln Wasseraufbereitung (TRWA) - Planung, Bau, Betrieb und Instandhaltung von Anlagen zur Trinkwasseraufbereitung

Grundsätzliche Anforderungen an TW-Aufbereitungsanlagen

1. Qualität

- auch bei ungünstiger Rohwasserbeschaffenheit und gleichzeitig maximaler Auslastung der Anlagen ist die geforderte Qualität des Trinkwassers sicherzustellen
- Beachtung der Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2001), Einhaltung der allgemein anerkannten Regeln der Technik, Einhaltung des Minimierungsgebotes sowie die ausschließliche Verwendung von Aufbereitungsstoffen und Desinfektionsverfahren, die nach § 11 zugelassen sind.
- Die Überwachung des Rohwassers, des Aufbereitungsprozesses und des Trinkwassers ist hinsichtlich der Parameter und der Häufigkeit der Untersuchung so vorzunehmen, dass auftretende Störungen frühzeitig erkannt werden.
- Bei der Auswahl der Aufbereitungsverfahren und dem Betrieb sind mögliche Güteveränderungen bei Transport, Verteilung und Verwendung des Trinkwassers zu berücksichtigen.

2. Aufbereitungskapazität

- Die Kapazität richtet sich nach dem Wasserbedarf, dem Speichervolumen und der jeweiligen Versorgungssituation. Falls die Anlage den gesamten Wasserbedarf in einem Versorgungsgebiet deckt, werden die Auslegung durch den dort vorhandenen Wasserbedarf (Spitzenbedarf und Jahresbedarf) und dessen absehbare Entwicklung bestimmt.
- Bei mehreren Trinkwasseraufbereitungsanlagen für ein Versorgungsgebiet ist für die Auslegung einer Anlage die Redundanz der Anlagen des gesamten Systems zu berücksichtigen.

3. Prozesssicherheit

Eigensichere Verfahren mit hoher Prozesssicherheit und mit geringem Betreuungs- und Überwachungsaufwand sind zu bevorzugen. Technisch aufwändige und komplexe Aufbereitungsverfahren können nur eingesetzt werden, wenn die Betriebssicherheit und eine laufende Überwachung gewährleistet sind und qualifiziertes Personal ständig zur Verfügung steht.

4. Verfahrensauswahl und –konzeption

Bei der Auswahl von Aufbereitungsprozessen und der Konzeption der gesamten Aufbereitungsanlage sind folgende Aspekte besonders zu beachten:

- Kontinuierlicher Betrieb

Ein kontinuierlicher Betrieb der Wasseraufbereitungsanlagen ist vorteilhaft.

- Zuverlässigkeit

Verfahren und Anlagen zur Trinkwasseraufbereitung müssen einen zuverlässigen Betrieb unter allen voraussehbaren Belastungszuständen hinsichtlich der Menge und Beschaffenheit ermöglichen. Es ist eine betriebssichere und fehlertolerante Aufbereitungstechnik zu wählen.

- Zulässige Aufbereitungsverfahren und Aufbereitungsstoffe

Es dürfen nur Verfahren und Anlagen eingesetzt werden, bei denen ausschließlich Stoffe verwendet werden, die zur Erreichung des Aufbereitungszieles erforderlich sind und von denen nur unbedenkliche Anteile im Wasser zurückbleiben. Aufbereitungsstoffe müssen in der Liste der Aufbereitungsstoffe und Desinfektionsverfahren gemäß § 11 TrinkwV 2001 aufgeführt sein.

- Festlegung von Probenahmestellen

Vor und nach einer Aufbereitungsanlage und nach jeder Aufbereitungsstufe sind Möglichkeiten zur Entnahme repräsentativer Wasserproben vorzusehen. Auch die Entnahme von Filtermaterialproben muss möglich sein.

- Bedienung, Automatisierung und Fernüberwachung

Der Automatisierungsgrad einer Wasseraufbereitungsanlage muss dem Aufbereitungsprozess und den sonstigen örtlichen Bedingungen angepasst und angemessen sein. Unzureichende Aufbereitungsleistung/ Überlastung oder Fehlfunktionen müssen zu Warnmeldungen führen. Im Bedarfsfall müssen manuelle oder automatisierte Eingriffsmöglichkeiten bis hin zur Abschaltung der Anlage möglich sein. Es ist dafür zu sorgen, dass Anlagen bei Betriebsstörungen möglichst automatisch in einen eigensicheren Zustand überführt werden, der sicherstellt, dass die Gesundheit der Kunden oder des Personals nicht bedroht wird. Die Anbindung an eine Fernüberwachung ist bei der Planung zu berücksichtigen.

- Schutz vor unbefugtem Eingriff

Die Anlagen der Aufbereitung müssen so gestaltet und ausgestattet sein, dass unbefugter Zugang und Zugriff verhindert werden.

- Auswirkungen auf Wassertransport, -verteilung und -verwendung

Bereits bei Vorüberlegungen zur Verfahrenswahl sind Auswirkungen einer veränderten Wasserbeschaffenheit auf Korrosionsvorgänge und mikrobiologische Prozesse bei Wassertransport und -verteilung zu prüfen. Auf die Belange der Trinkwasserkunden sollte bereits im Vorfeld eingegangen werden, insbesondere bei grundlegender Veränderung der Wasserbeschaffenheit (z. B. bei zentraler Enthärtung, Dosierung von Korrosionsinhibitoren).

- Ressourcenschonende Aufbereitung

Bei der Planung sollten bei gleicher Eignung zur Erfüllung der Aufbereitungsziele ressourcenschonende Aufbereitungsverfahren bevorzugt werden. Dies gilt insbesondere hinsichtlich des minimierten Einsatzes von Energie und Aufbereitungsstoffen. Bestandteil der Planung ist die Ermittlung der Rückstände (Menge, zeitlicher Anfall, Beschaffenheit) und die Prüfung der Entsorgungsmöglichkeiten unter technisch-wirtschaftlichen Aspekten. Generell

gilt die Prioritätenfolge: Vermeidung vor Verwertung und Verwertung vor Beseitigung von Abfällen.

Anhang A – DVGW Arbeits- und Merkblätter zur Verfahrenstechnik der Wasseraufbereitung mit Aussagen zum Einfluss der Hydraulik auf die Wasserbeschaffenheit (Auswahl)

Nummer Titel

- W 213-1 Filtrationsverfahren zur Partikelentfernung; Teil 1: Grundlagen und Grundbegriffe
- W 213-2 Filtrationsverfahren zur Partikelentfernung; Teil 2: Beurteilung und Anwendung von gekörnten Filtermaterialien
- W 213-3 Filtrationsverfahren zur Partikelentfernung bei der Wasseraufbereitung; Teil 3: Schnellfiltration
- W 213-4 Filtrationsverfahren zur Partikelentfernung bei der Wasseraufbereitung; Teil 4: Langsamfiltration
- W 213-5 Filtrationsverfahren zur Partikelentfernung bei der Wasseraufbereitung; Teil 5: Membranfiltration
- W 214-1 Entsäuerung von Wasser – Teil 1: Grundsätze und Verfahren
- W 214-2 (Entwurf) Entsäuerung von Wasser – Teil 2: Planung und Betrieb von Filteranlagen
- W 214-3 Entsäuerung von Wasser – Teil 3: Planung und Betrieb von Anlagen zur Ausgasung von Kohlenstoffdioxid
- W 217 Flockung in der Wasseraufbereitung; Teil 1: Grundlagen
- W 219 Einsatz von polymeren Flockungshilfsmitteln bei der Wasseraufbereitung
- W 220 Einsatz von Aluminiumverbindungen und Entfernung von Aluminium bei der Wasseraufbereitung
- W 223-1 Enteisung und Entmanganung; Teil 1: Grundsätze und Verfahren
- W 223-2 Enteisung und Entmanganung; Teil 2: Planung und Betrieb von Filteranlagen
- W 223-3 Enteisung und Entmanganung; Teil 3: Planung und Betrieb von Anlagen zur unterirdischen Aufbereitung
- W 239 Planung und Betrieb von Aktivkohlefilteranlagen für die Wasseraufbereitung
- W 290 Trinkwasserdesinfektion – Einsatz- und Anforderungskriterien
- W 293 UV-Anlagen zur Desinfektion von Trinkwasser
- W 294-1 UV-Geräte zur Desinfektion in der Wasserversorgung, Teil 1: Anforderungen an Beschaffenheit, Funktion und Betrieb
- W 622 Dosieranlagen für Flockungsmittel und Flockungshilfsmittel
- W 623 Dosieranlagen für Desinfektionsmittel bzw. Oxidationsmittel; Dosieranlagen für Chlor
- W 624 Dosieranlagen für Desinfektionsmittel und Oxidationsmittel; Dosieranlagen für Chlordioxid
- W 625 Anlagen zur Erzeugung und Dosierung von Ozon
- W 626 Dosieranlagen für Natriumhydroxid

Anhang B – DVGW Arbeits- und Merkblätter mit Aussagen zur Instandhaltung von Aufbereitungsanlagen (Auswahl)

Nummer Titel

- W 213-1 Filtrationsverfahren zur Partikelentfernung; Teil 1: Grundbegriffe und Grundsätze
- W 213-2 Filtrationsverfahren zur Partikelentfernung; Teil 2: Beurteilung und Anwendung von gekörnten
- Filtermaterialien
- W 213-3 Filtrationsverfahren zur Partikelentfernung; Teil 3: Schnellfiltration
- W 213-4 Filtrationsverfahren zur Partikelentfernung; Teil 4: Langsamfiltration
- W 213-5 Filtrationsverfahren zur Partikelentfernung; Teil 5: Membranfiltration
- W 213-6 Filtrationsverfahren zur Partikelentfernung; Teil 6: Überwachung mittels Trübungs- und Partikelmessung
- W 214-1 Entsäuerung von Wasser – Teil 1: Grundsätze und Verfahren
- W 214-2 (Entwurf) Entsäuerung von Wasser – Teil 2: Planung und Betrieb von Filteranlagen
- W 214-3 Entsäuerung von Wasser – Teil 3: Planung und Betrieb von Anlagen zur Ausgasung von Kohlenstoffdioxid
- W 214-4 Entsäuerung von Wasser – Teil 4: Planung und Betrieb von Dosieranlagen
- W 217 Flockung in der Wasseraufbereitung; Teil 1: Grundlagen
- W 223-1 Enteisenung und Entmanganung; Teil 1: Grundsätze und Verfahren
- W 223-2 Enteisenung und Entmanganung; Teil 2: Planung und Betrieb von Filteranlagen
- W 223-3 Enteisenung und Entmanganung; Teil 3: Planung und Betrieb von Anlagen zur unterirdischen Aufbereitung
- W 239 Planung und Betrieb von Aktivkohlefilteranlagen für die Wasseraufbereitung
- W 240 Beurteilung von Aktivkohlen zur Wasseraufbereitung
- W 270 Vermehrung von Mikroorganismen auf Werkstoffen für den Trinkwasserbereich - Prüfung und Bewertung
- W 271 Tierische Organismen in Wasserversorgungsanlagen
- W 290 Trinkwasserdesinfektion – Einsatz- und Anforderungskriterien
- W 291 Reinigung und Desinfektion von Wasserverteilungsanlagen
- W 294-1 UV-Geräte zur Desinfektion in der Wasserversorgung, Teil 1: Anforderungen an Beschaffenheit, Funktion und Betrieb
- W 621 Entfeuchtung, Lüftung, Heizung in Wasserwerken
- W 622 Dosieranlagen für Flockungsmittel und Flockungshilfsmittel
- W 623 Dosieranlagen für Desinfektionsmittel bzw. Oxidationsmittel; Dosieranlagen für Chlor
- W 624 Dosieranlagen für Desinfektionsmittel und Oxidationsmittel; Dosieranlagen für Chlordioxid
- W 625 Anlagen zur Erzeugung und Dosierung von Ozon
- W 626 Dosieranlagen für Natriumhydroxid
- W 628 Innenbeschichtung und Auskleidung von Stahlbehältern in Wasserwerken
- W 630 Elektrische Antriebe in Wasserwerken

Siehe auch:

- DVGW-W 202 Technische Regeln Wasseraufbereitung (TRWA) - Planung, Bau, Betrieb und Instandhaltung Anlagen zur Trinkwasseraufbereitung (2010-03)