

Verfahren zur Trübstoff- und Partikelentfernung

Bei Nutzung Partikel belasteter Grund- und Quellwässer (z.B. aus Kluft- und Karstgrundwasserleitern) sind häufig mikrobielle Belastungen vorhanden. Insbesondere nach starken Regenfällen trüben sie zudem deutlich ein und können auch sehr hohe Gehalte an Indikatorbakterien aufweisen. Bei Nutzung derartiger Wässer zur Trinkwasseraufbereitung ist vor der Desinfektion eine Trübstoff- und Partikelentfernung zwingend erforderlich. Dabei sind Trübungswerte von $< 0,1$ bis $0,2$ FNU im Ablauf der partikelabtrennenden Stufe einzuhalten.

Außerdem können chemische Substanzen und Schadstoffe partikulär vorliegen. Weiterhin können Partikel potenzielle Nährstofflieferanten für Mikroorganismen darstellen und Aufkeimungen verursachen. Darüber hinaus vermindern Partikel die Desinfektionswirkung von UV-Strahlen sowie die von chemischen Desinfektionsmitteln.

Aus diesen Gründen muss ein Ziel der Wasseraufbereitung die Herstellung eines möglichst partikelfreien Trinkwassers sein.

Zur Sicherung dieser Vorgaben stehen folgende Aufbereitungsstufen zur Verfügung:

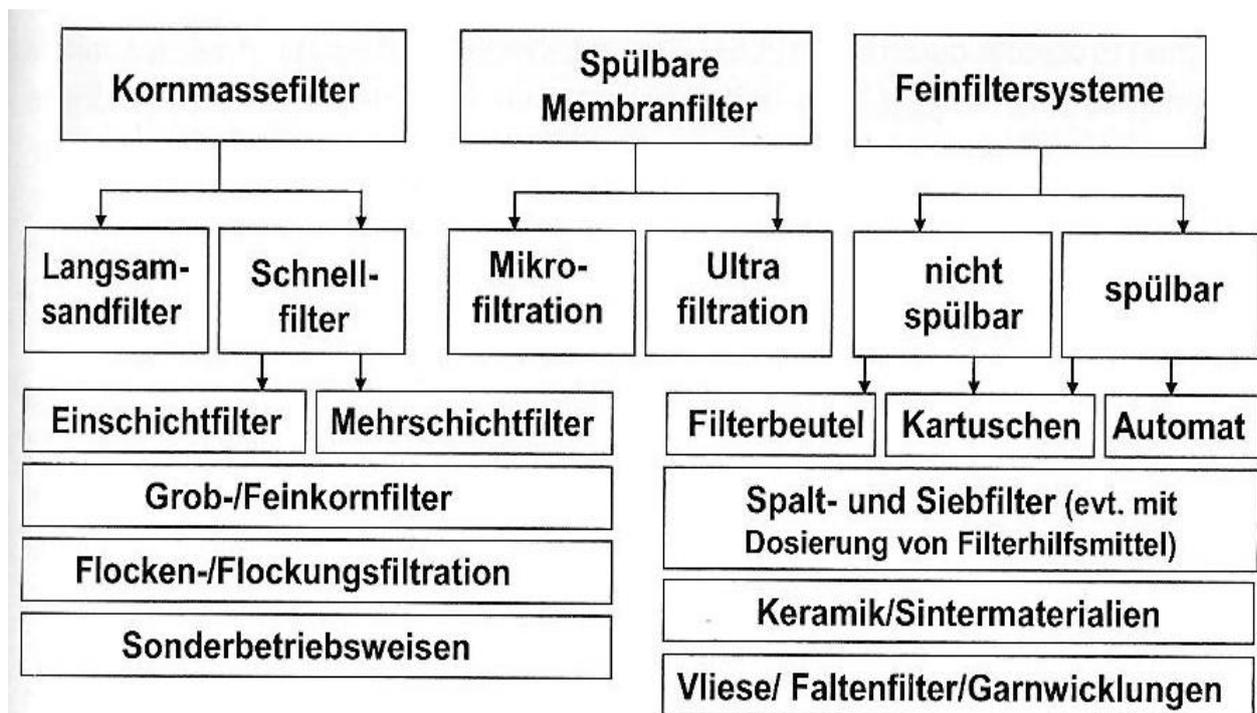


Bild: Verfahren zur Partikel und Trübstoffentfernung

Die Wirksamkeit der Partikelabscheidung eines Filtrationsverfahrens kann mit den Parametern Trübung und Partikelkonzentration überprüft werden. Die Festlegung von Zielwerten sollte für jedes Aufbereitungsverfahren individuell so erfolgen, dass die Anforderungen der Trinkwasserverordnung am Ausgang des Wasserwerks stets mit ausreichender Sicherheit eingehalten werden. Trübungsmessung oder Partikelzählung ersetzen nicht die nach Trinkwasserverordnung erforderlichen mikrobiologischen Untersuchungen. Bei der Aufbereitung von Oberflächenwässern zu Trinkwasser ohne Untergrundpassage ist vor der Desinfektion immer eine Trübstoff- oder Partikeleliminierung erforderlich. Dabei sind Trübungswerte im Ablauf der

partikelabtrennenden Stufe im Bereich von 0,1 FNU bis 0,2 FNU anzustreben, wenn möglich zu unterschreiten. Ein Überwachungskonzept für entsprechende Aufbereitungsanlagen wird in der Empfehlung des Umweltbundesamtes zur Vermeidung der Kontamination mit Parasiten vorgeschlagen. Nach dieser Empfehlung dürfen im Wasser vor der Desinfektion *E. coli* und coliforme Bakterien nur ausnahmsweise und dann auch nur in geringen Konzentrationen vorhanden sein.

Filtrationsverfahren

Unter Filtration versteht man die Verminderung der Partikelkonzentration beim Durchströmen eines Filtermediums.

Man unterscheidet folgende Filterarten:

	Langsamfilter	Offene Schnellfilter	Geschlossene Schnellfilter
mittl. Filtergeschwindigkeit in m/h	0,05 - 0,3	4 - 7	10 - 20
Filterform	Erd- und Betonbecken	Betonbecken, b bis 6,0 m	Stahlzylinder, D 2,5 - 5,0 m
Filtersand in mm	<0,5	0,63 - 1,0 0,71 - 1,25	0,63 - 1,0 0,71 - 1,25
Filterlaufzeit in d	20 - 100	0,5 - 10	0,5 - 10
Spülwassergeschwindigkeit in m/h	nicht spülbar	8 - 80	8 - 80
Spülluftgeschwindigkeit in m/h	nicht spülbar	bis 60	bis 60

Schnellfilter

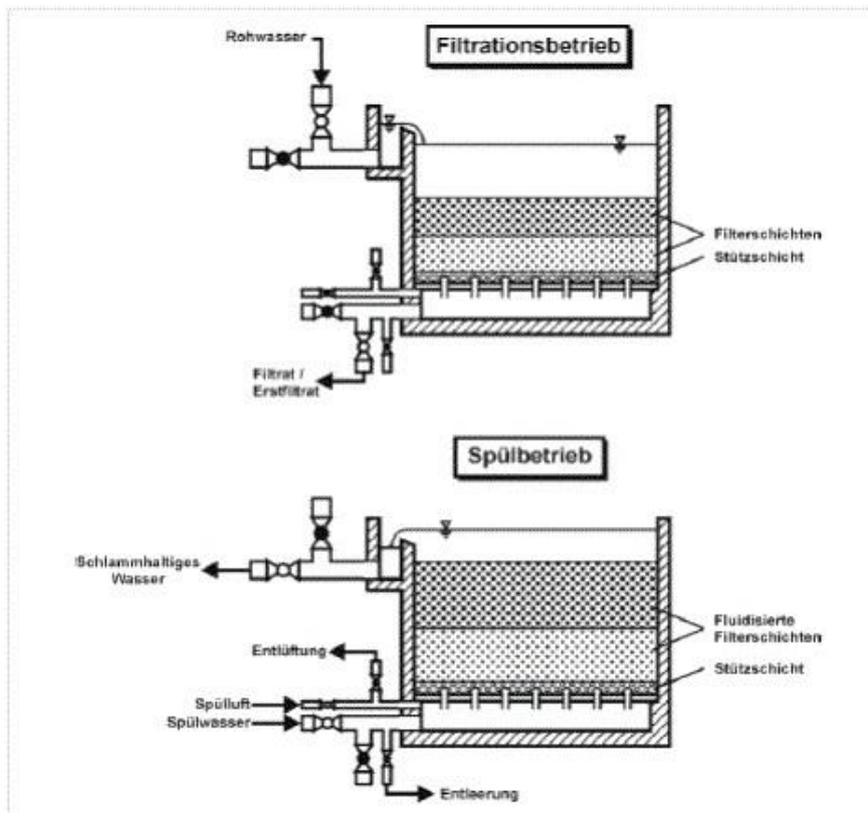
Schnellfilter werden als offene oder geschlossene Einschicht- oder Mehrschichtfilter gebaut. Die Filtergeschwindigkeiten betragen bis zu 30 m/h. Für Filtergeschwindigkeiten von mehr als 15 m/h sind normalerweise Druckfilter erforderlich. Eine ausreichende Entfernung von Partikeln im hygienisch interessierenden Größenbereich gelingt mit Schnellfiltern in der Regel nur in Verbindung mit einer Flockung bei Filtergeschwindigkeiten < 15 m/h. Als Filtermedium werden gekörnte Materialien verwendet, wobei in Mehrschichtfiltern mehrere Materialien unterschiedlicher Dichte und Körnung Anwendung finden. Die erforderliche Schichthöhe des Filtermediums beträgt im Allgemeinen 1 m bis 3 m und nimmt mit der Korngröße zu. Schnellfilter werden durch Spülen mit Wasser und Luft – gemeinsam oder getrennt – gereinigt.

Die Wirksamkeit der Partikelabtrennung wird bestimmt von:

- den Eigenschaften der Partikel,
- der Filtergeschwindigkeit und deren Änderungen,
- den Eigenschaften des Filtermaterials,
- der Filterschichthöhe,
- dem Aufbau des Filtermediums,
- der Filterlaufzeit,
- den Spülbedingungen.

Die optimalen Filtrationsbedingungen sind im Einzelfall zu ermitteln.

Schnellfilter, Offene



Schnellfilter, geschlossene

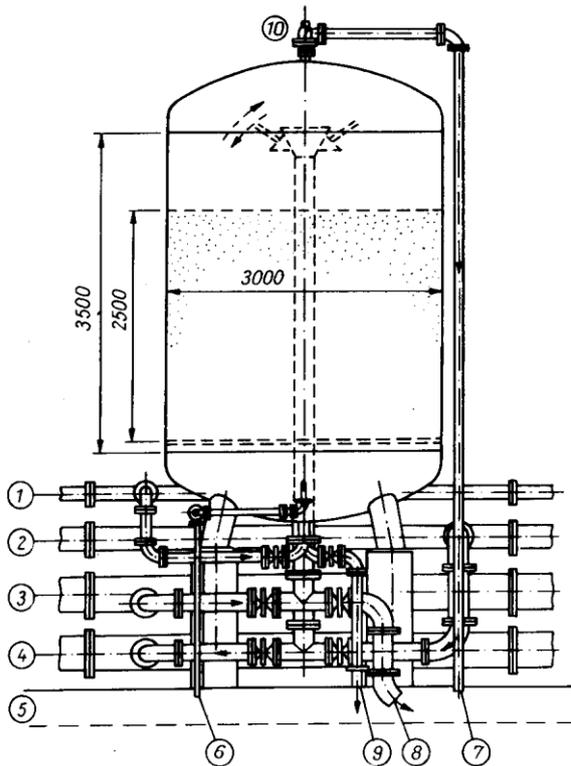


Bild 5.87 Einstufendruckfilter in Reihenschaltung
 1 Spülluft; 2 Spülwasser; 3 Rohwasser; 4 Reinwasser; 5 Schlammwasserkanal; 6 Filterbodenentlüftung; 7 Entlüftung mit Hand; 8 Schlammwasser; 9 Entleerung; 10 automatisches Entlüftungsventil

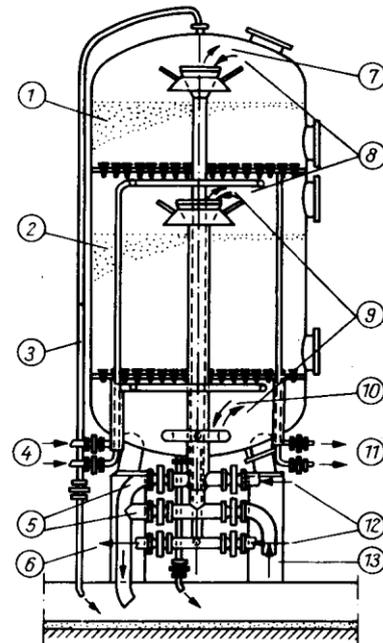
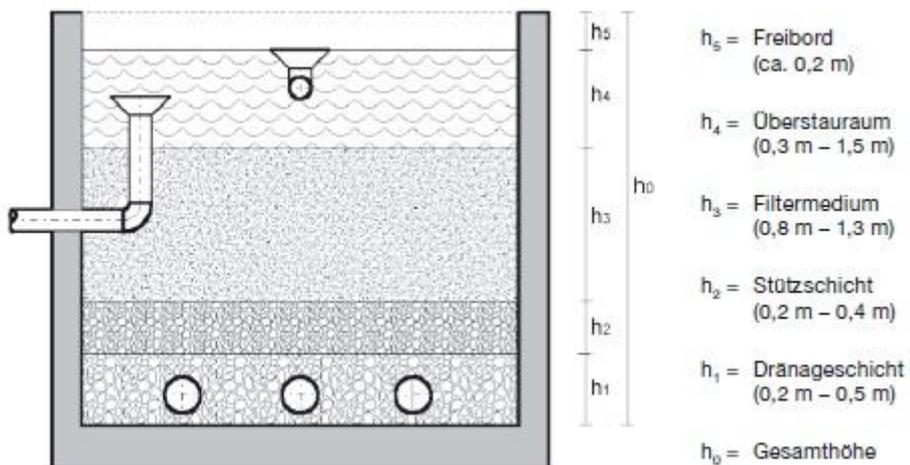


Bild 5.88 Zweistufenfilterung
 1 Filterkies, grob; 2 Filterkies, fein; 3 Entlüftung; 4 Spülluft; 5 Schlammwasser; 6 Reinwasser; 7 Rohwasserverteilung; 8 Schlammwasserabführung; 9 Spülwasserverteilung; 10 Reinwasserabführung; 11 Filterbodenentlüftung; 12 Spülwasser; 13 Rohwasser

Langsamfilter



Langsamfilter werden meist als offene Betonbecken ausgeführt, die mit Sand gefüllt werden. Die Filterfläche pro Einheit variiert zwischen wenigen m^2 bis 10.000 m^2 .

Der Aufbau eines Langsamfilters ist der Abb. 1 zu entnehmen. In der Sohle des Langsamfilters befindet sich eine Dränageschicht h1 mit dem Ableitungssystem zum Sammeln und Ableiten des Filtrats. Um das Eindringen von Feinsand in das Dränagesystem zu verhindern, ist eine Stützschiicht h2 aus sorgfältig abgestuften Kiesfraktionen erforderlich. Darüber liegt das eigentliche Filtermedium h3 sowie ein Überstauraum h4 mit Überlauf und das Freibord h5.

Langsamfilter können in Ausdehnung nach Länge und Breite an das vorhandene Gelände angepasst werden. Zum Schutz gegen Einspülen von Schmutz ist eine Überhöhung der Aussenumrandung vorzusehen.

Flockung und Fällung

Unter Flockung versteht man die künstliche Erzeugung von Flocken. Mit ihrer Hilfe sollen im Wasser gelöste partikuläre - feinsuspendierte oder kolloidal vorliegende - Substanzen, wie z.B. Tonerde und manche Metalloxidhydrate, entfernt werden. Diese kleinsten Teilchen tragen häufig negative elektrische Ladungen und müssen deshalb vor ihrer Abtrennung durch Zugabe eines Flockungsmittels entstabilisiert und damit in einen aggregationsbereiten Zustand versetzt werden. Dies gilt auch für kleine organische Materialien wie Algenzellen und Detritus sowie für manche organische Stoffe, wie z.B. Huminsäuren

Unter Fällung versteht man dagegen Maßnahmen, die echt oder kolloidal gelöste Bestandteile des Wassers in ein unlösliche absetzbare oder abfiltrierbare Form überführen.

Flockungs- und Fällungsvorgänge werden bei der Wasseraufbereitung durch die gleichen Zusätze häufig nebeneinander ausgelöst. Oft ist eine strenge Unterscheidung nicht möglich.

Die Flockung ist das Ergebnis mehrerer Einzelvorgänge, die aber mehr oder weniger gleitend ineinander übergehen. Im wesentlichen wird zwischen zwei Schritten unterschieden: Der Entstabilisierungs- und der Teilchenwachstumsphase.

Filterspülung

Die Filterspülung ist das Reinigungsverfahren zur Wiederherstellung der vollen Wirksamkeit im Filterbetrieb. Die Filterspülung wird erforderlich bei:

- Anstieg des Filterwiderstandes über einen Grenzwert,
- verminderter Filtratqualität,
- Gefahr der Verbackung des Filtermaterials,

Ziele der Filterspülung sind:

- Entfernen der eingelagerten und angelagerten Stoffe,
- Auflockerung des Filtermaterials zur Wiederherstellung einer lockeren Lagerungsdichte und somit eines ausreichenden Kornzwischenraumes,
- Verhinderung und Beseitigung von Verbackungen des Filtermaterials,
- Ausspülung von Gasen aus dem Filterbett.

Die Spülung kann manuell oder automatisch gesteuert werden. Das Spülprogramm beschreibt den Ablauf der Spülung hinsichtlich der Spülmedien (Wasser und Luft), der Spülgeschwindigkeit in m/h und der Dauer der einzelnen Programmschritte. Oft sind nach längerem Betrieb andere Voraussetzungen als bei der Inbetriebnahme gegeben. Daher sollten der Ablauf der Spülung veränderbar und eine Spülautomatik frei veränderbar sein.

Spülung nur mit Wasser:

Die Wasserspülung allein wird immer dann angewendet, wenn nur eine Auflockerung des Filtermaterials erforderlich ist, die am Filtermaterial angelagerten Stoffe nicht fest haften und sich somit ausspülen lassen.

Spülung mit Luft und Wasser:

In der Regel erfolgt die Luft-Wasser-Spülung in drei Schritten:

1. Luftspülung - 1 bis 3 min
2. Luft und Wasser-Spülung - 5 bis 10 min
3. Wasserspülung - 3 bis 5 min

Mit der Luftspülung soll das Filterbett aufgebrochen und aufgelockert werden. Es werden oft Spülgeschwindigkeiten im Bereich von 60 m/h gewählt.

Bei der anschließenden kombinierten Luft-Wasser-Spülung werden die aufgebrochenen Ablagerungen aus dem Filterbett ausgespült.

Mit der **Wasserspülung** als dritter Schritt wird die Luft aus dem Filter ausgetrieben und die letzten Ablagerungen herausgespült, bis das Spülwasser weitestgehend klar ist. Die gesamte Wassermenge im Filter soll einmal ausgetauscht werden.

Filtrationsprozeß:

- Filtermaterial: Quarzsand mit $d_w = 0,8 \dots 2 \text{ mm}$

$$d_w = (d_{10} - d_{90})/2$$

- Ungleichförmigkeitsfaktor $U = d_{60}/d_{10} < 1,5$
- Idealzustand: alle gleich große Körner - dies ist aber praktisch nicht lieferbar
- Theoretischer Sauerstoffbedarf: 0,15 mg pro mg Fe^{2+}
- Bei hohem Eisengehalt auch 8 mg Sauerstoff je Liter erforderlich
- Belüftung offen oder als Druckbelüftung
- Sauerstoffgehalte 4 – 11 mg/l üblich
- Erforderliche Redoxspannung 500 mV für Enteisung und 700 mV für Entmanganung
- Bei Druckbelüftung keine Entsäuerung gegeben, deshalb wird eine Nachbelüftung empfohlen.
- Bei Anwesenheit von komplex gebundenem Eisen: (huminsauer gebundenes Eisen) kann Zugabe von Oxidationsmitteln erforderlich werden
- Für sichere Oxidation und das Erreichen von Redoxspannungen von $> 500 \text{ mV}$ sollten vorher möglichst alle reduzierenden Substanzen aus dem Wasser entfernt werden. (Ammonium, Sulfide, organische Substanzen)
- Filter müssen eingearbeitet sein, dies gilt insbesondere für Entmanganung (mit MnO_2 belegtes Filterkorn)

Auf Grund des benötigten höheren Redoxpotentials findet die Entmanganung nach der Enteisung statt – entweder im unteren Bereich des Filters oder bei zweistufigen Filtern in der unteren Stufe.

Filtergeschwindigkeiten:

- praktischer max. Wert = $12 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h}) = \text{m/h} = \text{Durchsatz} / \text{Filterfläche}$: fiktiver Wert, stellt keine echte Fließgeschwindigkeit dar
- In offenen Anlagen ist die Filtergeschwindigkeit geringer.

Filterrückspülung:

Üblich sind drei Phasen:

1. Luft
2. Luft / Wasser
3. Wasser

Der Differenzdruck zwischen Filterzu- und ablauf sollte nicht größer als 0,5 bar betragen. Danach steigt Δp steil an.

Heutiger Stand der Technik:

- Fluidisierungsgeschwindigkeit = 25 % Ausdehnung der Filterbettes
- Abhängig von d_w , bei $d_w = 1 \text{ mm} = 80 \text{ m/h}$
- Bei Nachrüstungen ist die Forderung schwer zu realisieren
- 3-Phasen-Spülung wie oben:
- Luft: 50 – 60 ... 70 m/h; bis 3. min
- Wasser Luft: Luft wie Phase 1, Wasser 12 – 13 m/h; 3. – 20. min
- Wasser/ Klarspülung: 32 m/h (30 – 40 m/h); 20. – 25. Min

Praktische Probleme:

- gleichmäßige hydraulische Belastung der Filter (bei geschlossenen Filtern) ist zu gewährleisten
- schnell wechselnde Durchflussmengen bei Anlagen, die direkt in das Netz fördern oder von Bedarfsschwankungen beeinflusst werden
- eine gleichmäßig hohe Belastung der Filter ist besser als eine wechselnde Belastung bei geringen Durchflussmengen.
- Entlüftung der Filterkessel muss gut funktionieren, damit es nicht zum aufpumpen oder zur schlagartigen Entlüftung kommt, wobei Wasser in den Filter zurückströmt
- Schlammensorgung

Biologische Filtration

Organismen:

- Gallionella ferruginea
- Thiobacillus ferrooxidans
- Pseudomonas Manganoxidans
- Leptothrix ochracea

Crenothrix polyspora (auch "*Crenothrix Cohn*" nach dem Entdecker genannt (1870)), (Brunnenfaden, auch "Brunnenpest" genannt), sieht sehr unästhetisch aus! Die Bakteriengruppe wurde bereits in Meyers Konversationslexikon von 1888 beschrieben und erstmals in Brunnen in Breslau beobachtet!

- Spülung nicht zu aggressiv, da Biofilm beschädigt werden kann.
- Keine Spülung mit gechlortem Wasser!
- Hohe Filtergeschwindigkeiten sind möglich
- Keine Dosierung von Flockungsmitteln nötig
- Abbau verkeimungsfördernder DOC-Anteile im biologischen Filtrationsprozeß

Niedriger Wassergehalt der Fällungsprodukte

Der Anteil der biologischen Prozesse ist von großer Bedeutung und überwiegt gegenüber den chemischen. Durch Versuche, bei denen die Filter desinfiziert wurden, war nach Beendigung der Desinfektion eine Wiedereinarbeitung des Versuchsfilters von ca. 20 Tagen erforderlich. Auch die Abtötung von manganoxidationsfördernder Mikrobiologie durch UV-Strahlung im Rohwasser führt zu einer deutlichen Einschränkung der biologischen Manganoxidation im Filter.

Die biochemischen Stoffwechselprozesse sind noch weitestgehend unbekannt. Eisenoxidierende Bakterien, Eisenoxidierer, "echte" Eisenbakterien, die Eisen (II) zu Eisen(III) oxidieren und dabei ihre Stoffwechselenergie aus einer verkürzten Atmungskette gewinnen. In der Regel wird noch eine Kohlenstoffquelle benötigt! Davon dürfte in der Praxis die Wachstumsgeschwindigkeit abhängen.