

„Optimierung bestehender Aufbereitungsanlagen für huminstoffreiche Wässer im Waldviertel“

Broschüre zum Themenbereich „Filteraufbau und –betrieb beim Verfahren der Flockenfiltration“

Univ. Prof. DDI Dr. techn. Dr. h.c. Harald Kainz und DI Dr.techn. Jörg Kölbl

Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau

Technische Universität Graz

**Univ. Prof. DI Dr. nat. techn. Raimund Haberl, Dr. Franziska Zibuschka und
DI Gerhard Lindner**

Institut für Siedlungswasserbau, Industrierwasserwirtschaft und Gewässerschutz -
Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt

Universität für Bodenkultur, Wien

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Frank Wolfgang Günthert und Dr.-Ing. Steffen Krause

Institut für Wasserwesen - Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik

Universität der Bundeswehr München

Graz, Wien, München im Juli 2009

Danksagung

Höchster Dank gilt dem Auftraggeber, dem Amt der Niederösterreichischen Landesregierung – Abteilung Siedlungswasserwirtschaft, vertreten durch den Leiter Herrn Dipl.-Ing. Harald Hofmann und Herrn Dipl.-Ing. Walter Braun (Projektleiter seitens des Landes Niederösterreich), für die Finanzierung des Projektes über den NÖ Wasserwirtschaftsfonds und die gute Zusammenarbeit.

Frau Dr. Ulrike Schauer (Leiterin) und Herrn Dr. Christian Hochstöger von der Abteilung Umwelthygiene des Amtes der Niederösterreichischen Landesregierung wird für die Initiierung des Projektes und die Unterstützung in der Projektumsetzung gedankt. Besonderer Dank gilt Herrn Ing. Markus Wandaller von der Trinkwasseraufsicht Gmünd für sein hohes persönliches Engagement und seinen Einsatz im Projekt.

Großer Dank für die hervorragende Unterstützung und gute Zusammenarbeit gilt Herrn Bürgermeister Johann Pichler, Stadtamtsdirektor Mag. Bernhard Klug und Wassermeister Martin Tauber von der Stadtgemeinde Heidenreichstein.

Gedankt wird auch der Fa. Kamp, vertreten durch Herrn Leopold Eder, für die Mithilfe in der Projektumsetzung und das Bereitstellen von Filtermaterial für die Laborversuche.

1 Einleitung und Ausgangslage

Im Zuge eines Forschungsprojektes im Auftrag des Amtes der Niederösterreichischen Landesregierung im Waldviertel konnten zahlreiche wichtige Erfahrungen zum Betrieb von konventionellen Filtern zum Zwecke der Trinkwasseraufbereitung gewonnen werden.

Ziel dieser Broschüre ist es, diese Erfahrungen an Betreiber von Wasseraufbereitungsanlagen, an Planer sowie an Behördenvertreter weiterzugeben. Auf Basis der Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt im Waldviertel werden methodische Aspekte zu Filteraufbau und -betrieb erläutert. Des Weiteren wird auf bestehende Richtlinien und Normen verwiesen.

Konventionelle Filter (Ein- und Mehrschichtsandfilter) werden zu unterschiedlichen Aufbereitungszwecken eingesetzt. Die häufigsten Anwendungsbereiche sind:

- Enteisung
- Entmanganung
- Entsäuerung
- Flocken- bzw. Flockungsfiltration zur Partikelentfernung

Die Partikelentfernung ist von besonderer Bedeutung. Im Rohwasser enthaltene Partikel können gesundheitlich unbedenkliche Stoffe sein, aber es kann sich auch um Krankheitserreger oder andere unerwünschte Mikroorganismen handeln. Diese Organismen können auch an Partikel gebunden oder in Partikel eingeschlossen sein. Auch chemische Schadstoffe können partikulär oder an Partikel gebunden vorliegen. Zudem können Partikel als potenzielle Nährstofflieferanten für Mikroorganismen fungieren und Nachverkeimungen im Wasserverteilsystem verursachen. Partikel vermindern aber auch die Desinfektionswirksamkeit von UV-Strahlen und von chemischen Desinfektionsmitteln (vgl. DVGW W 213-1, 2005).

Obwohl die unterschiedlichen Verfahren für die oben genannten Einsatzbereiche schon seit langer Zeit angewandt und die Aufbereitungsanlagen zumeist problemlos betrieben werden, zeigen praktische Erfahrungen an bestehenden Anlagen, dass unter schwierigen Rahmenbedingungen (z.B. schwankende Rohwasserqualität, huminstoffreiche Wässer) Probleme auftreten können. Vor allem beim Verfahren der Flockungsfiltration bestehen oft Verbesserungspotentiale hinsichtlich der Effizienz, aber vor allem auch hinsichtlich der Sicherheit der Filterwirksamkeit. Verbesserungspotential gibt es häufig bei folgenden Punkten, wobei einige davon auch für die anderen Filterverfahren relevant sind:

- Auswahl geeigneter Filtermaterialien und Korngrößen
- Konstruktion der Filterkessel (z.B. Überlauf, Sichtfenster, Einstiegluke)
- Spülintervall, -geschwindigkeit und -dauer (Optimierung der Ausbeute)
- Art des Flockungsmittels, dessen Dosiermenge sowie pH-Wert
- Eintrag und Einwirkdauer des Flockungsmittels
- Überwachung der Wirksamkeit der Filter (z.B. Flockenrückhalt)

2 Grundlagen der Partikelentfernung in Schnellfiltern

Für die Entfernung von Partikeln können sowohl die Langsamfiltration als auch Schnellfilter und Membranverfahren eingesetzt werden. In der vorliegenden Broschüre werden ausschließlich die Prozesse der Partikelentfernung in Schnellfiltern betrachtet. In diesen Filtern können parallel auch Prozesse wie Entsäuerung, Entmanganung und Enteisung ablaufen. Auf diese wird nicht bzw. nur am Rande eingegangen. Die Entfernung von Eisen und Mangan wird nur im Zuge der Flockenabtrennung berücksichtigt.

Die hier besprochenen geschlossenen Schnellfilter gehören bezüglich der zu Grunde liegenden Prozesse in den Bereich der Tiefenfiltration. Das bedeutet, daß die abzuscheidenden Trübstoffe im Inneren des Filters und möglichst über die gesamte Tiefe abgeschieden werden sollen. Es muß vermieden werden, daß es zu einer Abscheidung ausschließlich an der Oberfläche kommt. Dies würde zu einem raschen Druckanstieg und somit zu kurzen Filterlaufzeiten führen.

Um das Vordringen der Partikel in die tieferen Filterschichten zu ermöglichen, wird das feinkörnige Filtermaterial oft mit einem gröberen Material geringerer Dichte kombiniert. Dies wird dann als Mehr- bzw. Zweischichtfilter bezeichnet. Durch die Verwendung der Mehrschichtfilter kann die Filterlaufzeit bei stark belasteten Wässern, wie sie bei der Flockenfiltration vorliegen, wesentlich verlängert werden, da das grobkörnige Material ein deutlich größeres Aufnahmevermögen für Trübstoffe besitzt.

Für die Abscheidung der Partikel im Filter sind der Transport zum Filterkorn und die Haftung am Filterkorn maßgeblich. Dies bedeutet, daß die Filtergeschwindigkeit nicht zu hoch sein darf und eine ausreichende Haftung der Partikel am Filterkorn vorhanden sein muß. Letzteres ist gerade nach der Spülung von Filtern nicht gewährleistet. Wie der Eintrag von Partikeln, also auch Keimen, nach dem Spülen minimiert werden kann, wird in Kapitel 4.5 ausführlich erläutert.

2.1 Bauliche Voraussetzungen

Die Abbildung 2-1 zeigt den schematischen Aufbau eines geschlossenen Zweischichtfilters bei Filtration (linke Seite) und bei Rückspülung (rechte Seite). Detaillierte Angaben zu diesen Filtern finden sich zudem in DIN 19605:1995-04.

Die Höhe des Freiboards über der ersten Filterschicht bestimmt zusammen mit der Filtergeschwindigkeit und dem Abstand der Dosierstelle vom Filtereingang die Verweilzeit der Flocken vor dem Filter. Diese ist maßgeblich für die Ausbildung gut filtrierbarer Flocken (s. Kap. 3). Außerdem bestimmt die Höhe des Freiboards mit welcher Ausdehnung des Filterbettes der Filter gespült werden kann, ohne daß es zum Austrag von Filtermaterial kommt. Dabei ist zu beachten, daß eine Bettausdehnung von ca. 20 % der ursprünglichen Schichthöhe für eine ausreichende Spülwirkung erforderlich ist. Eine zu große Bemessung des Freiboards führt dazu, daß nach der Spülung große Mengen an Schlammwasser im Überstau verbleiben bzw. mit einem Mehraufwand an Spülwasser ausgespült werden müssen.

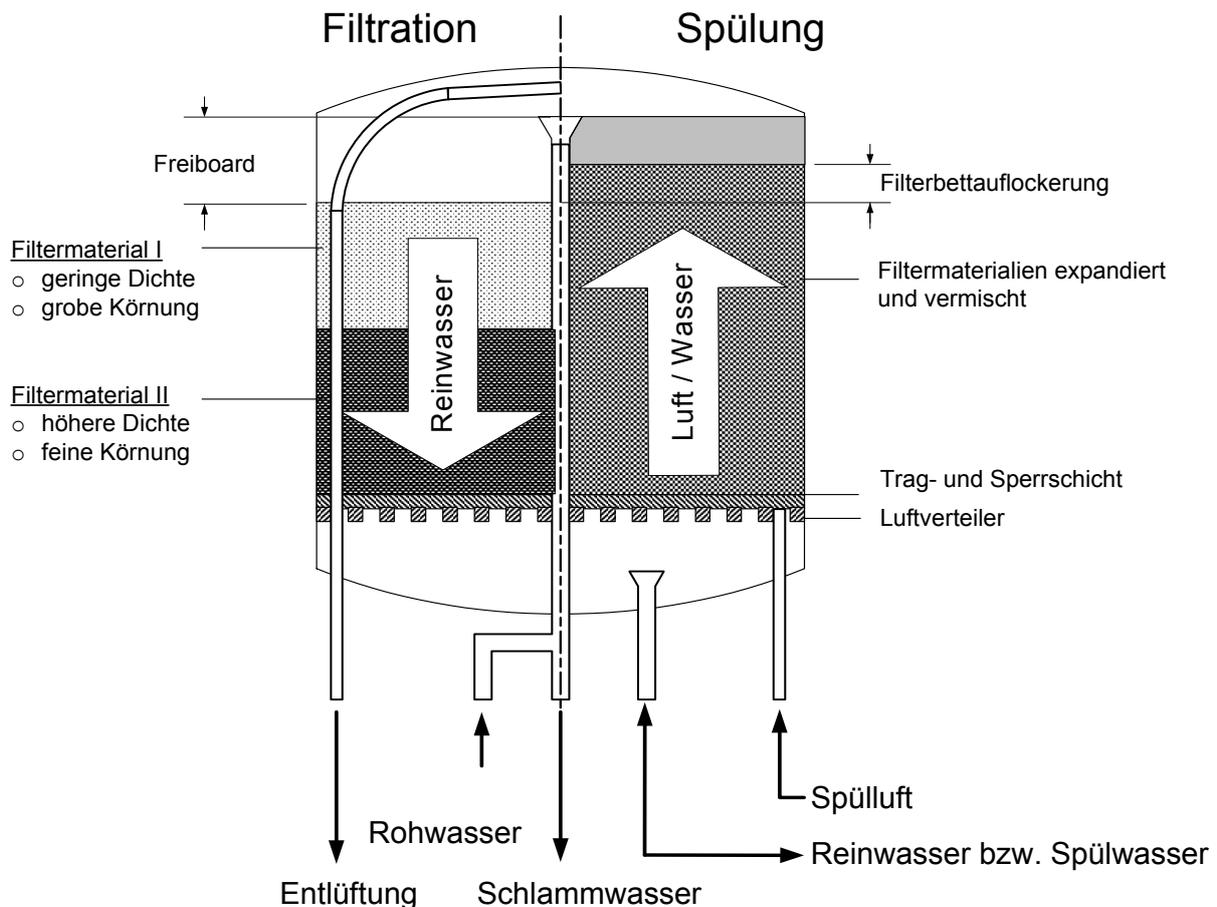


Abbildung 2-1: Schematischer Aufbau geschlossener Zweischichtfilter

Für den Erfolg der Spülung ist es außerdem erforderlich, daß das Spülwasser und die Spülluft den gesamten Filterquerschnitt gleichmäßig durchströmen. Das setzt voraus, daß der Filterboden exakt waagrecht ausgerichtet ist und die Filterdüsen in ausreichender Zahl vorhanden, gleichmäßig verteilt und ebenfalls höhengleich ausgerichtet sind. Anderenfalls kommt es zu Verklumpungen im Filtermaterial, die zu einer Verringerung des freien Querschnitts im Filter führen. Dies hat kurze Laufzeiten und eine Verschlechterung der Reinwasserqualität zur Folge.

Die Schlammwasserleitungen müssen so dimensioniert sein, daß das anfallende Schlammwasser frei abfließen kann.

Um den gleichmäßigen Eintritt von Spülluft sowie den freien Ablauf des Schlammwassers überprüfen zu können, sollen geschlossene Filter über Einstiegluken verfügen, durch die der Ablauf der Spülung visuell kontrolliert werden kann.

Durch eine Einstiegluke unterhalb des Filterbodens kann gegebenenfalls kontrolliert werden, ob Filtermaterial durch gebrochene Filterkerzen ausgetreten ist.

Geschlossene Schnellfilter, die zur Partikelentfernung durch Flockenfiltration eingesetzt werden, müssen über eine Mess-, Steuer- und Regeltechnik verfügen, die eine exakte Regelung der Filtergeschwindigkeit ermöglicht. Sie muß dem Betreiber außerdem ermöglichen, die Filtergeschwindigkeit langsam zu erhöhen. Ventile, Schieber etc. müssen ausreichend langsam zu Öffnen bzw. Schließen sein, damit zu rasche Änderungen der Fließgeschwindigkeit vermieden werden können.

2.2 Betrieb von Schnellfiltern

Die zulässige Filtergeschwindigkeit ist abhängig vom verwendeten Filtermaterial und der Rohwasserbeschaffenheit. Die Anbieter der Filtermaterialien geben Empfehlungen für die Filtergeschwindigkeit und auch für die Schichthöhe der Materialien. Bei der Planung neu zu errichtender Filteranlagen sollte die Gültigkeit dieser Empfehlungen für die aktuelle Problemstellung durch Vorversuche überprüft werden. Im laufenden Betrieb dürfen die empfohlenen bzw. ermittelten Filtergeschwindigkeiten keinesfalls überschritten werden. Die maximale Filterlaufzeit resultiert aus der Filtergeschwindigkeit, der vorhandenen Schichthöhe des Filtermaterials und dessen Aufnahmevermögen für Trübstoffe.

Beim Betrieb der Flockenfiltration steigt die Trübung bzw. Eisen- oder Mangankonzentration im Reinwasser deutlich eher an als der Druckverlust. Daher kann und sollte die Auslösung der Filterspülung anhand der online gemessenen Trübung erfolgen.

Die Rückspülung soll die während der Filtration abgeschiedenen Trübstoffe aus dem Filtermaterial entfernen. Sie dient außerdem der Auflockerung des Filtermaterials, um dessen Durchlässigkeit und Aufnahmevermögen wiederherzustellen und Verkalkungen zu vermeiden. Sie muß außerdem den Abrieb des Filtermaterials aus dem Filter sicherstellen, damit die ursprüngliche Körnung des Filtermaterials nicht nachteilig beeinflusst wird (s. Kap. 2.4).

Um diese Ziele zu erreichen, werden bei Zweischichtfiltern Spülungen mit Wasser, Luft und erneut Wasser nacheinander durchgeführt. Eine kombinierte Luft-Wasser-Spülung würde bei Mehrschichtfiltern zum Austrag des leichteren Filtermaterials führen. Vor der Luftspülung muß das Wasserniveau daher abgesenkt werden (s. Tabelle 2-1).

Die Rückspülung sollte mit dem gleichem Wasser erfolgen, das im Ablauf des Filters anfällt. Wird ein anderes Wasser verwendet, z.B. aus dem Ablauf anderer Prozessstufen, verändert sich das chemische Milieu im Filter und es kann gegebenenfalls zu chemischen Reaktionen im Filter kommen.

Die erforderliche Spülwassergeschwindigkeit ändert sich mit der Temperatur des Spülwassers und dem Kornwachstum des Filtermaterials. Daher ist die Betaausdehnung in Abständen zu kontrollieren.

Tabelle 2-1: Beispiel eines Spülprogramms (Hydro-Anthrasit H, Kornkombination I)

	Dauer [min]	Luft [m/h]	Wasser [m/h]
1. Wasserspülung	3 – 5	-	30
2. Absenken Wasserspiegel bis knapp über Filterschicht			
3. Luftspülung	3 – 5	60	-
4. Ausgasen der Luft	2 – 5	-	-
5. Klarspülen mit Wasser	2 – 5	-	30
6. Einfiltrieren	Kontrolle über Trübung	-	-

Die Überwachung der Filter mittels Trübungsmessung ist Voraussetzung für die Sicherstellung einer einwandfreien Wasserqualität (s. Kap. 4.3).

Schnellfilter sollten möglichst dauerhaft in Betrieb sein und gleichmäßig betrieben werden. Vor der Außerbetriebnahme müssen die Filter gespült werden.

2.3 Störungen des Filterbetriebes

Während des Betriebs von geschlossenen Schnellfiltern kann es zu Störungen kommen, die zu einer Verringerung der Filterleistung und somit zu einer Verschlechterung der Reinwasserqualität führen. Die Tabelle 2-2 gibt einen Überblick über mögliche Störungen. Voraussetzung für die Erkennung der genannten Störungen sind die kontinuierliche Überwachung der Filtratqualität und die regelmäßige Verfolgung einzelner Spülvorgänge anhand der Spülwasserbeschaffenheit und des Spülbildes.

Tabelle 2-2: Beispiele für Störungen des Filterbetriebes

Beobachtung	mögliche Ursache(n)	Auswirkung(en)
ungleichmäßige Verteilung der Luftblasen	<ul style="list-style-type: none"> • verstopfte Filterdüsen • durchhängender Filterboden 	<ul style="list-style-type: none"> • Verbackungen • schlechte Filtratqualität
keine ausreichende Betaufweitung	<ul style="list-style-type: none"> • Spülgeschw. zu gering 	<ul style="list-style-type: none"> • unzureichende Spülung • schneller Druckanstieg und kurze Laufzeit • schlechte Filtratqualität
Filtermaterial im Spülwasser	<ul style="list-style-type: none"> • Spülgeschw. zu hoch für eine oder beide Materialien • falsche Materialien kombiniert • ungenügende Entlüftung nach der Luftspülung 	<ul style="list-style-type: none"> • Verlust von Filtermaterial • nachlassende Filterleistung
Fontänen bei der Spülung Filtermaterial unter Filterboden	<ul style="list-style-type: none"> • Filterkerzen gebrochen 	<ul style="list-style-type: none"> • unzureichende Spülung • Verlust von Filtermaterial
Filtermaterialien nicht getrennt	<ul style="list-style-type: none"> • Spülgeschw. zu gering • falsche Materialien kombiniert • Spülgeschw. zu schnell abgesenkt 	<ul style="list-style-type: none"> • unzureichende Spülung • schneller Druckanstieg und kurze Laufzeit • schlechte Filtratqualität
Deckschicht auf dem Filtermaterial	<ul style="list-style-type: none"> • Körnung des obersten Filtermaterial zu fein • zu geringe Spülgeschw. 	<ul style="list-style-type: none"> • schneller Druckanstieg • schlechte Filtratqualität
anhaltende Eintrübung des Erstfiltrats	<ul style="list-style-type: none"> • Filter zu schnell u./o. mit zu hoher Geschwindigkeit angefahren 	<ul style="list-style-type: none"> • langer Abschlag • geringe Ausbeute
dauerhaft zu hohe Trübung im Filtrat	<ul style="list-style-type: none"> • Störung der Flockung • geänderte Rohwasserqualität 	<ul style="list-style-type: none"> • Über- bzw. Unterdosierung • falscher pH-Wert

Die in der Spalte „Beobachtung“ genannten Fakten können als Grundlage für eine regelmäßige Überprüfung der Filter dienen.

Letztlich bedingen häufige Rückspülungen des Filters und ein langer Abschlag (Anm.: darunter versteht man das Ausleiten) des Erstfiltrats eine geringe Ausbeute und somit hohe spezifische Kosten.

2.4 Filtermaterial

Das Filtermaterial für die Flockenfiltration ist hinsichtlich Art und Korngröße den Anforderungen (Rohwasserbeschaffenheit) und den vorherrschenden Rahmenbedingungen (baulich-konstruktive und elektro-maschinelle Ausrüstung) auszuwählen.

Die Rohwasserbeschaffenheit bestimmt die erforderliche Konzentration an Flockungsmittel und somit die Menge an abzuscheidenden Flocken in den Filtern. Je höher die Konzentration an eingesetztem Flockungsmittel und je länger die Einwirkdauer, desto größere Flocken bilden sich und desto größer ist die abzuscheidende Menge an Flocken.

Die Korngröße des Filtermaterials hat entscheidenden Einfluss auf die Filtergeschwindigkeit (Anm.: das ist in der Auslegung zu beachten!), aber auch auf die Filterstandzeiten. Filtermaterialien feinerer Korngrößen haben kürzere Filterstandzeiten als jene mit gröberen Körnungen. Um die Filterstandzeiten zu optimieren, werden daher häufig Kombinationen unterschiedlicher Korngrößen (Mehrschichtfilter) eingesetzt. Dabei werden das gröbere Filtermaterial in der oberen Filterschicht und das feinere Filtermaterial in der unteren Filterschicht eingesetzt. Um die vollständige Separierung der Filtermaterialien zu gewährleisten, werden Materialien unterschiedlicher Dichte (Anm.: = spezifisches Gewicht) eingesetzt:

- obere Filterschicht: grobkörnig, geringere Dichte
- untere Filterschicht: feinkörnig, höhere Dichte

Folgende Filtermaterialien kommen in Mehrschichtfiltern zum Zwecke der Flockenfiltration häufig zum Einsatz:

- Hydro-Anthrazit
- Quarzsand
- Bimskies

Die verschiedenen Filtermaterialien verlangen in Abhängigkeit der Korngröße unterschiedliche Spülgeschwindigkeiten, um eine vollständige Fluidisierung (Anm.: darunter versteht man die Auflockerung und das in Schwebelage bringen des Filtermaterials) und eine geforderte Bettausdehnung von ca. 20 % zu erreichen. Bei Mehrschichtfiltern ist es wichtig, dass die eingesetzten Filtermaterialien beim Rückspülen bei gleicher Spülgeschwindigkeit fluidisieren, da ansonsten die Gefahr besteht, dass Filtermaterial ausgetragen wird bzw. keine ausreichende Reinigungswirkung erreicht wird. Die Spülgeschwindigkeiten für verschiedene Materialien bzw. Kornkombinationen gehen aus Tabelle 2-3 bzw. den Datenblättern und Produktnormen der Filtermaterialien hervor.

Tabelle 2-3: Anhaltswerte für hinreichende Spülgeschwindigkeit (nach DVGW W 211, 1987; DVGW W 213-2, 2005)

Filtermaterial	Körnung (mm)	spezifisches Gewicht g/cm ³	hinreichende Spülgeschwindigkeit (m/h)
Filtersand	0,63-1,0	ca. 2,65	50-55
Filtersand	0,71-1,25	ca. 2,65	60-65
Anthrazit	0,8-1,6	ca. 0,95	40-50
Anthrazit	1,6-2,5	ca. 0,95	60-80
Bims	0,8-1,6	ca. 0,75-1,2 *	30-35
Bims	1,5-2,5	ca. 0,75-1,2 *	45-50

* vulkanisches Material, Eigenschaften vom Fundort abhängig

Eine wichtige Kenngröße für die Zusammensetzung des Filtermaterials ist der Ungleichförmigkeitsgrad U. Darunter versteht man den Quotienten aus den Siebweiten, die dem Siebdurchgang von 60 % und dem Siebdurchgang von 10 % entsprechen (Anm.: die Werte von d_{60} und d_{10} werden aus der Sieblinie ermittelt):

$$U = d_{60} / d_{10}$$

Um bei der Spülung von Mehrschichtfiltern Kornklassierungen innerhalb der einzelnen Schichten zu vermeiden, soll der Ungleichförmigkeitsgrad U unter 1,5 liegen. Kornklassierungen haben negativen Einfluss auf die gewünschte stetige Abnahme der Größe der Kornzwischenräume mit der Filtertiefe und beeinflussen auch die Mischungs- und Verdichtungsverhältnisse an den Schichtgrenzen (vgl. DVGW W 213-2, 2005).

3 Grundlagen der Flockung und Fällung

Für die Entfernung von gelösten Eisen- und Manganverbindungen stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung. Das DVGW Arbeitsblatt W 223 (Teil 1 bis 3) gibt einen Überblick über dieser Verfahren und hilft bei der Auswahl des Vorzugverfahrens in Abhängigkeit von der Rohwasserbeschaffenheit.

Das im vorliegenden Fall besprochene Verfahren der Flockenfiltration sollte nur dann angewandt werden, wenn Eisen und Mangan an Huminstoffe gebunden vorliegen, da es im Vergleich zu den anderen Verfahren ein ungünstigeres Betriebsverhalten besitzt. Dies betrifft die Filterlaufzeit und auch die Reinwasserqualität.

Liegen in einem Wasser neben Eisen und Mangan auch Huminstoffe vor, die aus dem überdeckenden Boden ausgewaschen wurden, gehen dieses Huminstoffe Bindungen mit Eisen und Mangan ein. Dadurch können weder Eisen noch Mangan mit den bevorzugten Verfahren entfernt werden. Entweder müssen die Huminstoffe oxidativ, z.B. durch Ozon, zerstört werden oder Eisen und Mangan müssen gemeinsam mit den Huminstoffen entfernt werden.

Grundlage der Entfernung von Eisen und Mangan mittels Flockenfiltration ist die Einbindung des durch Huminstoffe stabilisierten Eisens und Mangans gemeinsam mit den Huminstoffen in Flocken. Meist finden parallel auch Fällungsprozesse statt. Die entstandenen Flocken können anschließend durch Sedimentation und/oder Filter abgetrennt werden.

3.1 Phasen der Flockung

Die Abbildung 3-1 zeigt die verschiedenen Phasen, in denen die Flockung abläuft. Im Folgenden werden die Prozesse während dieser Phasen beschrieben.

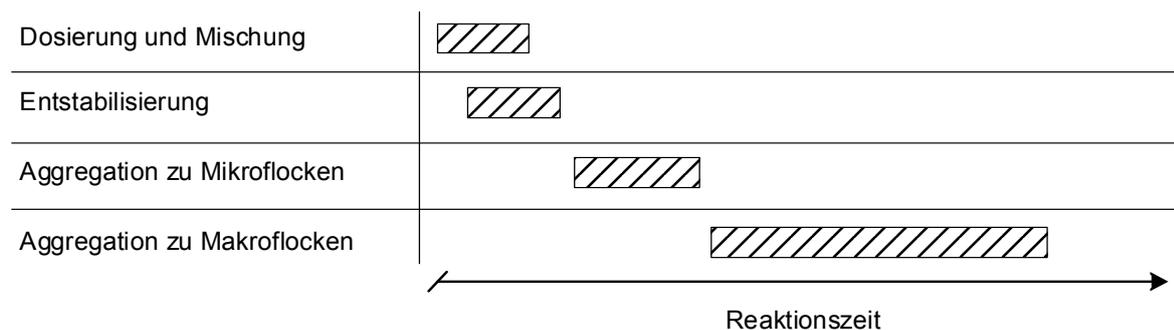


Abbildung 3-1: Phasen der Flockung

Die Dosierung des Flockungsmittels erfolgt mengenproportional, setzt also das Vorhandensein einer Durchflußmessung voraus. Die Konzentration ist abhängig von der Rohwasserbeschaffenheit und dem gewünschten Aufbereitungsziel (s. Tabelle 3-1). Dabei wird unterschieden, ob allein Partikel, Partikel und Eisen/Mangan oder zusätzlich auch Huminstoffe entfernt werden müssen.

Ein hoher Energieeintrag, ist dabei für eine gute Verteilung des Flockungsmittels, eine schnelle Entstabilisierung und den schnellen Beginn der Aggregation wichtig. Das Verhältnis der Volumenströme von Rohwasser zu Dosiermittel ist dabei zu be-

achten. Eventuell ist ein Vormischen mit Bypass sinnvoll. Dies kann auch von Vorteil sein wenn gleichzeitig mehrere Chemikalien dosiert werden sollen. Dabei sind Herstellerangaben zu beachten! Im Allgemeinen dürfen polymere Aluminiumsalze nicht vorverdünnt werden.

Zur Intensivierung der Einmischung werden unterschiedliche statische Mischer eingesetzt, die für hohe Turbulenz in der Rohrstrecke sorgen (s. Abbildung 3-2).

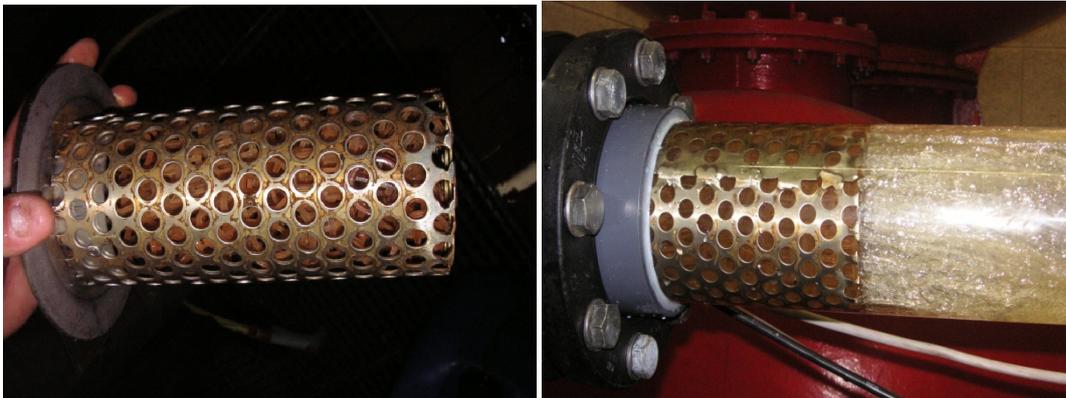


Abbildung 3-2: Statischer Mischer (Beispiel, Hüllrohr mit Füllkörpern)

Da die Dosierung und die Entstabilisierung fast im gleichen Zeitraum (Sekunden) stattfinden, spielt die Einmischung auch für die Entstabilisierung eine wichtige Rolle.

Die im Rohwasser vorliegenden Partikel besitzen an ihrer Oberfläche meist einen Überschuß an negativen Ladungen, der verhindert, daß sich die Teilchen zusammenlagern und filtrierbar werden. Die **Entstabilisierung durch Ladungsneutralisation** dient der Verringerung bzw. dem Ausgleich der abstoßenden Kräfte zwischen diesen Teilchen. Dabei kommt es zur Anlagerung der positiv geladenen Metall-Ionen bzw. der aus ihnen gebildeten Hydroxo-Aquo-Komplexe an die negativ geladenen Oberflächen der zu flockenden Inhaltsstoffe.

Dieser Mechanismus impliziert ein Optimum der Flockungsmittelmenge, nach dessen Überschreitung es zu **Restabilisierung** kommt (durch „Umkehr der Ladungen“). Dadurch wird der Wirkungsgrad der Flockung bzw. Filtration wieder verschlechtert.

Unter **Mitflockung** bzw. **Mitfällung** (auch Einschlußflockung) versteht man das Einschließen der zu entfernenden Substanzen in großvolumige Flocken, die aus dem Flockungsmittel oder aus Fällprodukten entstehen.

Nach der Entstabilisierung können sich die Substanzen zu Flocken zusammenlagern. Dazu bedarf es einer Relativbewegung zueinander. In der Phase, in der zunächst Mikrofloken gebildet werden, ist eine schnelle turbulente Relativbewegung vorteilhaft um die Kollisionswahrscheinlichkeit zu erhöhen. Die Flocken sind noch so klein, daß sie fast immer aneinander haften und die so entstandenen Flocken stabil bleiben.

Auf dem Weg zum Filter bzw. im Überstau des Filters können sich die Mikrofloken zu größeren Aggregaten zusammenlagern. Hohe Turbulenzen sind dabei zu vermeiden. Ist die Ausbildung der Makrofloken beim Eintritt in den Filter bereits weitgehend abgeschlossen, spricht man von der **Flockenfiltration**. Findet der Flockungsprozeß dagegen im Wesentlichen im Filtermedium statt, spricht man von der **Flockungsfiltration**.

3.2 Flockungsmittel

Als Flockungsmittel kommen hauptsächlich Lösungen dreiwertiger Salze von Eisen und Aluminium zum Einsatz. Unter anderem sind das Al(III)Sulfat, Al(III)Chlorid, Fe(III)Sulfat, Fe(III)Chlorid, Poly-Aluminium-Chlorid [PACl].

Die Salze liegen bei Lösung im Wasser als Hexaquo-Komplexe $[\text{Me}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}]$ vor¹. Mit steigendem pH-Wert bilden sich Hydrolyseprodukte, sogenannte Hydroxo-Aquo-Komplexe wie $\text{Me}(\text{H}_2\text{O})_5(\text{OH})^{2+}$ und $\text{Me}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{OH})_2^+$, bis das praktisch unlösliche Hydroxid $\text{Me}(\text{OH})_3$ entsteht und in Form von Flocken ausfällt. Die Hydroxo-Aquo-Komplexe, neigen zur Ausbildung von Verbindungen mit mehreren Metallatomen, die dann stärkere kationische Ladung als unpolymerisierte Hydroxo-Aquo-Komplexe tragen. Dadurch sind diese polymerisierten Produkte besonders flockungswirksam, insbesondere bei der Entladung der zu flockenden Verbindungen, und zeigen eine hohe Tendenz zur Anlagerung an negativ geladene Partikeloberflächen. Um diesen Umstand besser zu nutzen, werden Aluminiumsalze oft „vorhydrolysiert“ - Polyaluminiumsalze (z.B.: PACl). Bei Eisensalzen ist diese „Vorhydrolyse“ zu stabilen Polymeren nicht möglich. Die Hydrolyse findet bei der Dosierung statt. Die Geschwindigkeit mit der die Hydrolyse abläuft ist von der Temperatur abhängig. Je niedriger die Temperatur, umso langsamer verläuft die Hydrolyse. Dadurch ergeben sich unter Umständen Vorteile für PACl.

Die Wirkung aller Flockungsmittel ist von der Wassertemperatur abhängig. Dies beruht neben dem zuvor beschriebenen Temperatureinfluß auf die Hydrolyse auch auf der Temperaturabhängigkeit der Viskosität des Wassers, welche wiederum die Beweglichkeit der Partikel und somit die Kollisionswahrscheinlichkeit beeinflusst.

Weitere, zum Teil steuerbare Einflußfaktoren, die für die Wirksamkeit der Flockung wesentlich sind, sind der pH-Wert, die Beschaffenheit des Rohwassers, die dosierte Menge und die Art des Flockungsmittels sowie eventuell verwendete Flockungshilfsmittel. Insbesondere eine schwankende Rohwasserbeschaffenheit kann erhebliche Auswirkungen auf das Flockungsgeschehen haben. Sie erfordert daher eine regelmäßige Kontrolle der Filtratqualität und unter Umständen eine Anpassung der Dosiermenge und/oder des pH-Wertes.

Die Randbedingungen für den Einsatz von Aluminium- und Eisensalzen als Flockungsmittel zeigt Tabelle 3-1.

¹ Me - flockungsaktives Metall-Ion (Fe oder Al)

Tabelle 3-1: Verwendung von Eisen- und Aluminiumsalzen als Flockungsmittel

	Eisen-Salze (Fe(III)Chlorid)	Aluminium-Salze (Al-Sulfat, PACI)
Me(OH) ₃ -Bildung	ab pH-Wert = 5	ab pH-Wert = 6
Rücklösung	ab pH-Wert >10	ab pH-Wert > 7,5 PACI ab pH-Wert > 9
Dosierung für Flockungfiltration	0,02 – 0,4 mmol / l	
	ca. 1 – 20 mg/l Fe ³⁺	ca. 0,5 – 10 mg/l Al ³⁺
pH-Wert für DOC Entfernung	4 – 6	5 – 6,5
Dosierung für DOC-Entfernung	0,5 – 2,0 mg Fe / mg DOC	0,3 – 1,0 mg Al / mg DOC
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • so gut wie immer einsetzbar (Al-Salze sind nur manchmal effektiver) • Vorteile bei DOC Entfernung (Wirkung bei niedrigerem pH) • vorteilhafter bei Entfernung von Eisen, Huminsäuren + Eisen (beides bes. bei höheren Fe-Gehalten) • vorteilhafter bei hohem Flockungsmittelbedarf 	<ul style="list-style-type: none"> • Vorhydrolyse möglich (PACI) • geringere Dosiermengen • bei geringeren Mengen zu flockender Inhaltsstoffe ggf. effektiver • basische Poly-Al-Salze senken den pH-Wert weniger ab, → ggf. Vorteil für die Flockenbildung insbes. Flockengröße • wegen geringerer Dichte vorteilhaft beim Einsatz der Flotation als Abtrennschritt

Wie die Tabelle 3-1 zeigt, können bei der Flockung erhebliche Mengen an Flocken erzeugt werden. Unter Umständen ist es wirtschaftlicher, einen Großteil dieser durch eine Sedimentationsstufe vor dem Filter zu entfernen.

Die Wahl des geeigneten Flockungsmittels und des optimalen pH-Wertes kann auf der Basis von Vorversuchen im Labormaßstab oder Pilotversuchen im halbtechnischen Maßstab erfolgen. Im Betrieb sollte dann eine schrittweise Optimierung der Dosiermenge und des pH-Wertes für verschiedene Rohwasserqualitäten erfolgen.

4 Erfahrungen und Handlungsempfehlungen zum Betrieb der Flockenfiltration

4.1 Grundlagenermittlung und experimentelle Untersuchungen

Vor Beginn detaillierter Untersuchungen ist die Ermittlung der gegebenen Rahmenbedingungen und Grundlagen der bestehenden Filter anzuraten. Dazu zählen die baulichen und konstruktiven Rahmenbedingungen, die grundsätzlich aus den Bestandsplänen hervorgehen sollten, sowie die elektromaschinelle Ausrüstung. Folgende Punkte sind zu prüfen:

- Höhe und Durchmesser des Filterkessels
- Sichtfenster vorhanden?
- Einstiegluke an Oberseite des Filterkessels und unterhalb des Filterbodens vorhanden?
- Anzahl, Ausbildung und Zustand der Filterdüsen
- Schichthöhe des Filtersandes bzw. bei Mehrschichtfiltern die Schichthöhen der einzelnen Filtermaterialien
- Höhe und Durchmesser des Spülwasserüberlaufes
- maximal erreichbare Rückspülgeschwindigkeit
Diese ist abhängig davon, ob eine Rückspülpumpe oder der Vordruck z.B. eines Hochbehälters genutzt wird. Die Rückspülgeschwindigkeit kann aus Rückspülwassermenge und dem Filterdurchmesser berechnet werden.

Nach der Grundlagenermittlung können verschiedene Untersuchungen durchgeführt werden, wobei in Bezug auf die Flockenfiltration, aber auch für die anderen eingangs genannten Filterverfahren, vor allem folgende Fragestellungen relevant sein können:

- Welches Ausdehnungsverhalten haben die eingesetzten Filtermaterialien beim Rückspülen bzw. welche Änderung der Filterschichthöhe ist durch Auflockerung des Filterbettes und die Fluidisierung des Korngefüges zu beobachten?
- Wie hoch ist die maximal zulässige Rückspülgeschwindigkeit?
 - Wann beginnt der Materialaustrag?
 - Wann geht der Filterkessel unter Druck?
- Gibt es Verklumpungen im Filtermaterial oder sind Belüftungsdüsen verstopft, sodaß es beim Rückspülen „Totzonen“ im Filtermaterial gibt (d.h. nicht ausreichend bewegte Zonen, wo die gewünschte Reinigungsleistung des Filtersandes nicht erreicht wird)?
- Wird beim Rückspülen eine ausreichende Reinigungsleistung erreicht?
 - Sichtinspektion: Wie sieht die Filteroberfläche nach dem Rückspülen aus?
 - chemisch-physikalisch: Welche Werte werden nach dem Rückspülen im Filtrat gemessen (z.B. Eisen, Mangan, Trübung, Partikel)?

Zur Beantwortung dieser Fragestellungen gibt es unterschiedliche Untersuchungsmöglichkeiten. Einige dieser Untersuchungen erfolgen bei geschlossener Einstiegluke, andere bei geöffneter Einstiegluke bzw. über ein Sichtfenster (sofern vorhanden):

- Beobachtung des Rückspülwassers auf darin enthaltenes Filtermaterial
 - Dabei wird während des Rückspülens Rückspülwasser in einem durchsichtigen Behälter (z.B. aus Plexiglas) aufgefangen und auf das Vorhandensein von ausgetragenen Filtermaterial untersucht.
- Sichtkontrolle bei geöffneter Einstiegluke (oder Sichtfenster)
 - Kontrolle der Schichthöhe des Filtersandes (dies sollte in regelmäßigen Abständen erfolgen, insbesondere dann, wenn anzunehmen ist, dass es aufgrund zu hoher Spülgeschwindigkeiten oder unzureichend kontrollierter Rückspülgeschwindigkeiten immer wieder zum Austrag von Filtermaterial kommt)
 - Kontrolle der Filteroberfläche vor dem Rückspülen (Kommt es zur Flockenabscheidung an der Filteroberfläche?)
 - Kontrolle des Überlaufes (Ist ein freier Abfluss gewährleistet?)
 - Kontrolle der Filteroberfläche nach dem Rückspülen (Reinigungsleistung zufriedenstellend?)
- Rückspülen bei geöffneter Einstiegluke (oder Sichtfenster) unter Beobachtung der Filteroberfläche
 - Ist die Filteroberfläche während des Rückspülens gleichmäßig bewegt (v.a. bei der Luftspülung – wenn nicht, ist das ein Hinweis auf verstopfte Belüftungsdüsen)?
 - Untersuchung des Ausdehnungsverhaltens in Abhängigkeit der Rückspülgeschwindigkeit (Zunahme der Schichtmächtigkeiten der Filtermaterialien im Zuge der Fluidisierung beim Rückspülen)
 - Untersuchung des Zusammenhanges von Druckverlust, Spülgeschwindigkeit und Filterbettausdehnung (Anm.: wenn der Druckverlust Δp nicht mehr steigt, ist das Filterbett aufgelockert), siehe Abbildung 4-1
 - Bei welcher Rückspülgeschwindigkeit wird Filtermaterial ausgetragen?
 - Bei welcher Rückspülgeschwindigkeit geht der Filterkessel unter Druck?

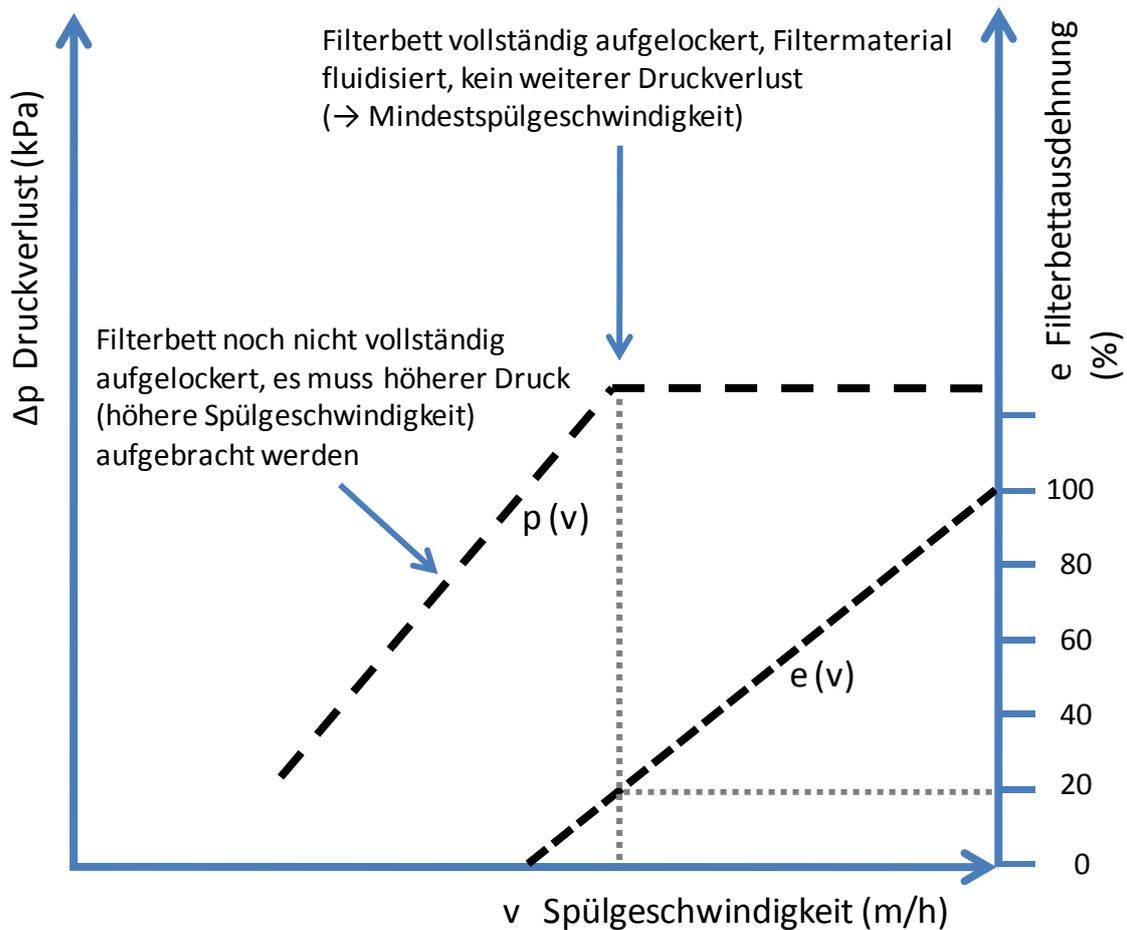


Abbildung 4-1: Zusammenhang Spülgeschwindigkeit – Druckverlust – Filterbettausdehnung beim Rückspülen (nach DVGW W 213-2, 2005 und Brouckaert, 2004)

Neben den Untersuchungen an bestehenden Anlagen, gibt es auch die Möglichkeit, Versuche an einem Modellfilter durchzuführen. Anleitung dazu gibt das DVGW-Arbeitsblatt W 211. Über die Nachbildung des Filters in einem Modell können unterschiedliche Betriebssituationen nachgespielt werden. Das hat den großen Vorteil, daß man über das Modell eine gute Vorstellung über die Vorgänge im „echten“ Filter erlangt. Beispielsweise können folgende Untersuchungen durchgeführt werden:

- Überprüfung des Flockenrückhaltes durch das Filtermaterial
- chemisch-physikalische Untersuchungen des Filtrats (z.B. Eisen, Mangan, Trübung, Partikelgehalt, TOC)
- Filtergeschwindigkeit und Druckverlauf
- Filterstandzeiten
- Fluidisierungsverhalten des Filtermaterials beim Rückspülen
- Reinigungsleistung bei Rückspülen

Je nach Fragestellung und Anwendung ist der Einsatz unterschiedlich komplexer Modelle anzuraten. Einfache, oben offene Plexiglaszylinder (siehe Abbildung 4-2) ermöglichen z.B. die Untersuchung des Fluidisierungsverhaltens des Filtermaterials beim Rückspülen. Solche Modelle sind z.B. aber nicht für längere Flockungs-

versuche geeignet, da sie nicht unter Druck gesetzt werden können und der Durchfluss nur von der Schwerkraft bewirkt wird.

Mit technisch aufwendigeren Modellen, welche entweder geschlossen sind und auch unter Druck gesetzt werden können, oder mit offenen Filtern, die Druck durch Überstau erzeugen können (siehe Abbildung 4-3) können auch längere Filterversuche durchgeführt werden. Solche Modelle eignen sich auch für Pilotversuche in der Planungsphase von Neuanlagen. Zum Beispiel können damit Versuche zur Planung, Anwendung und Optimierung einer Flockenfiltration durchgeführt werden.

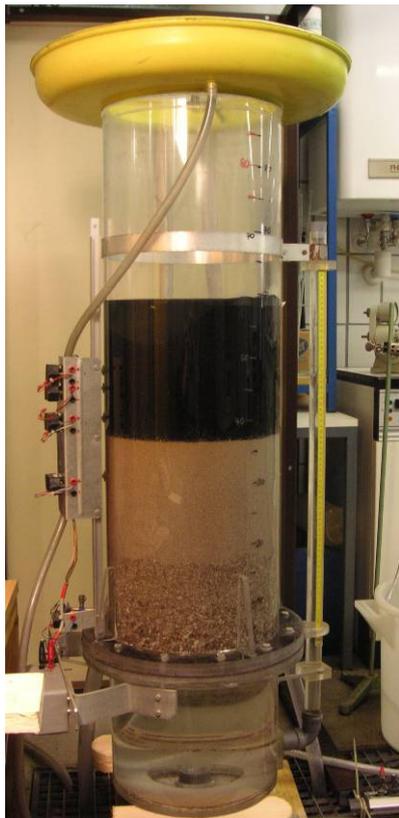


Abbildung 4-2: einfacher Modellfilter



Abbildung 4-3: High-Tech-Modellfilter

Bei Versuchen mit Modellfiltern ist es wichtig, daß die wesentlichsten Parameter auf den großtechnischen Filter übertragbar sind. Je nach Modellkonfiguration können gewisse Parameter im Modell im 1:1 Maßstab simuliert, wie z.B.

- Filtergeschwindigkeit
- Kontaktzeit
- Rückspülgeschwindigkeit

Durchsatz, Rückspülgeschwindigkeit und Druck sind über geeignete Messeinrichtungen zu erfassen bzw. entsprechend den Anforderungen zu regeln.

4.2 Materialauswahl der Filter

Grundlagen zum Filtermaterial zum Zwecke der Flockenfiltration wurden bereits im Kapitel 2.4 beschrieben. Bei der Materialauswahl für bestehende Filteranlagen ist es

wichtig, auf die baulich-konstruktiven Rahmenbedingungen (Leitungsquerschnitte, maximaler Überlauf etc.) und auf die technisch mögliche und erforderliche Rückspülgeschwindigkeit zu achten.

Neben den Angaben aus Regelwerken und Normen müssen auch die Vorgaben in den Datenblättern der einzelnen Filtermaterialien unbedingt eingehalten werden. Keinesfalls dürfen Filtermaterialien, die unterschiedliche Rückspülgeschwindigkeiten erfordern, in Kombination eingesetzt werden, da ansonsten die Spülung und Reinigung des Filtermaterials nicht vollständig funktioniert.

Zur Überprüfung der Eignung des ausgewählten Filtermaterials werden auch Versuche in Modellfiltern (siehe Kapitel 4.1) empfohlen.

Für nähere Informationen zu Planung und Betrieb von Filteranlagen kann auf folgende DVGW Richtlinien verwiesen werden:

- DVGW W 211: Filtration in der Wasseraufbereitung, Teil 2: Planung und Betrieb von Filteranlagen
- DVGW W 213 - Teil 1 bis 6: Filtrationsverfahren zur Partikelentfernung (Teil 2 behandelt das Thema „Filtermaterialien“)

4.3 Überwachung der Filtratqualität

Beim Betrieb von Anlagen zur Flockenfiltration besteht das Aufbereitungsziel in der zuverlässigen Abscheidung von Partikeln. Dies ist entscheidend für die mikrobiologisch-hygienische Beschaffenheit eines Wassers und Voraussetzung für eine wirkungsvolle Desinfektion. Daher müssen zur Überwachung der Filtratqualität solche Meßtechniken eingesetzt werden, mit denen Partikel im Filtrat nachgewiesen werden können. Diese Meßtechniken können durch andere ergänzt werden, um z.B. den Erfolg der DOC-Entfernung (Anm.: DOC ist der gelöste organische Kohlenstoff) durch die Flockung zu überwachen.

Das am weitesten verbreitete und kostengünstigste Analyseverfahren zum quantitativen Nachweis von Partikeln ist die Trübungsmessung nach EN ISO 7027:1999. Diese Messung beruht auf der Erfassung des an den Partikeln gestreuten Lichtes. Das Licht hat dabei eine Wellenlänge von 880 nm. Durch die Verwendung dieser Wellenlänge und die Messung im Winkel von 90 °, bezogen auf den Eintrittswinkel, ist das Meßsignal unabhängig von der Eigenfärbung des Wassers. Bezüglich des Feststoffgehaltes des Wassers und des Meßsignals besteht über einen sehr weiten Bereich ein linearer Zusammenhang.

Die Trübungsmessung kann sowohl kontinuierlich durch Onlinegeräte als auch durch Feld- bzw. Labormeßgeräte erfolgen. Störungen durch Gasblasen in der Wasserprobe oder durch Kondenswasser an den verwendeten Küvetten müssen ausgeschlossen werden. Bei der Planung der Meßwasserleitungen zur Heranführung des Wassers an das Meßgerät ist darauf zu achten, daß bei teilgefüllten Rohren keine Luft in das Meßgerät gelangt. Die Leitung sollten ständig und mit ausreichender Geschwindigkeit durchspült werden und möglichst kurz sein.

Neben der Kontrolle der Filtratqualität können Onlinetrübungsmeßgeräte auch zur Überwachung der Rohwasserqualität verwendet werden. Sie eröffnen damit die Möglichkeit, die Flockung bei sich ändernder Rohwasserqualität zu steuern und zum Beispiel die Dosierkonzentration des Flockungsmittels anzupassen.

Empfindlicher aber auch wesentlich teurer als Trübungsmeßgeräte sind Partikelmeßgeräte. Im Bereich der Wasseraufbereitung kommen fast ausschließlich Geräte zum Einsatz, die nach dem Laserabschattungsprinzip arbeiten. Sie erfassen Partikel bereits ab einer Größe von etwa 1 μm . Zur Messung wird die Wasserprobe mit konstanter Geschwindigkeit durch eine Glaskapillare von ca. 200 μm Durchmesser gesaugt. Alternativ kann die Probe durch eine konstante Überstauhöhe durch die Kapillare gedrückt werden. Dafür kommen Gefäße mit einem Überlauf zum Einsatz. Die vom Wasser durchströmte Kapillare wird von einem Laser durchstrahlt. Gelangen Partikel in den Strahlengang, unterbrechen sie den Laserstrahl. Diese Unterbrechungen werden erfaßt und gezählt. Die Dauer der Laserabschattung ist gleichzeitig ein Maß für den Partikeldurchmesser. Dabei liegt die Annahme zugrunde, dass die Partikel die Kapillare einzeln passieren. Erst bei hohen Partikelkonzentrationen, die im Filtrat jedoch nicht erreicht werden sollten, macht sich der sogenannte Koinzidenzfehler bemerkbar und die Partikel werden nicht mehr einzeln erfaßt.

Partikelmeßgeräte werden in einfacher Form mit der Erfassungsmöglichkeit in drei bis fünf Größenbereichen bis hin zu Geräten mit etwa 30 Größenklassen angeboten. Letztere liefern dann neben der Partikelkonzentration auch ein Größenspektrum. Bei der Angabe einer Partikelkonzentration ist immer der erfaßte Größenbereich anzugeben. Anhand dieser Messungen können der Rückhalt in den verschiedenen Größenklassen und auch die Trenngrenze eines Filters bestimmt werden.

Für die Partikelmeßgeräte gelten dieselben Anforderungen an die Meßstelleneinrichtung wie für Trübungsmeßgeräte. Häufigste Ausfallursache solcher Geräte sind das Verstopfen durch größere Partikel und die Abscheidung von Belägen (Eisen, Mangan, Kalziumkarbonat) an der Kapillarwandung. Daher ist der Durchfluß insbesondere der ungehinderte Abfluß dieser Geräte regelmäßig zu überwachen.

Alternativ zu fest eingebauten Partikelmeßgeräten kann die Überwachung durch die beschriebenen Online-Trübungsmeßgeräte erfolgen und durch den Einsatz mobiler Partikelmeßgeräte ergänzt werden.

Die Messung der Trübung sollte im Ablauf jedes Einzelfilters erfolgen. Die Dauer des Abschlags von Erstfiltrat kann dann über eine Steuerung in Abhängigkeit von der Trübung optimiert werden. In Deutschland existiert für die Aufbereitung von Oberflächenwasser die Empfehlung des Umweltbundesamtes, dass die Trübung im Ablauf des Einzelfilters den Wert von 0,2 FNU nicht überschreiten soll. Dabei ist dem Erstfiltrat nach einer Filterspülung besondere Aufmerksamkeit zu widmen (Bundesgesundheitsblatt, 1997).

Soll die Wirksamkeit der Flockungsfiltration bezüglich der Entfernung von Huminstoffen beurteilt werden, bietet sich die Überwachung der UV-Durchlässigkeit an. Dies kann im Labor durch die Bestimmung des spektralen Schwächungskoeffizienten SSK bzw. des spektralen Absorptionskoeffizienten SAK bei der Wellenlänge von 254 nm nach DIN 38404-3:2005 erfolgen. Für dieses Analyseverfahren werden auch Onlinegeräte angeboten, für deren Einbau gleiche Anforderungen gelten wie für die Trübungsmeßgeräte.

Die Restkonzentration des verwendeten Flockungsmittels (Eisen oder Aluminium) ist durch entsprechende Laboranalysen regelmäßig zu überwachen.

4.4 Optimierungsmöglichkeiten bei der Filterspülung

Filter müssen in regelmäßigen Abständen rückgespült werden. Das Spülintervall hängt von den Eigenschaften der Flockenfiltration ab und liegt üblicherweise zwischen einem und mehreren Tagen. Auskunft über das Erfordernis einer Filterspülung geben der Differenzdruck (Druckunterschied zwischen Rohwasser- und Reinwasserseite) sowie Messungen von z.B. Trübung oder Partikelgehalt auf der Reinwasserseite. Beim Rückspülen wird mit Wasser, Luft bzw. Luft und Wasser (nicht bei Zweischichtfiltern) entgegen der Filtrationsrichtung gespült.

Über die vorgeschlagene Spüldauer und Spülgeschwindigkeit geben die Datenblätter des Filtermaterials Auskunft. Dennoch wird empfohlen, durch Versuche am bestehenden Filter, die Spülungen hinsichtlich

- Spülgeschwindigkeit
- Spüldauer und
- Zeit für das Einfiltrieren nach dem Rückspülen

zu optimieren, um die Ausbeute an Reinwasser zu maximieren. Dabei ist auch darauf zu achten, daß die erforderliche Dauer des Abschlags von Erstfiltraten von der Spülung der Filter anhängig sein kann.

Die Überprüfung und Optimierung kann anhand von Spülversuchen mit begleitender Trübungskontrolle erfolgen. Abbildung 4-4 zeigt ein Beispiel einer Trübungsmessung des Spülwassers beim Rückspülen eines Mehrschichtfilters zur Flockenfiltration. Aus den Trübungskurven ist ableitbar, daß für die erste Spülung eine Spüldauer von 3 bis 4 Minuten ausreichend ist. Für die zweite Spülung, die in diesem Fall nach 10-minütiger Luftspülung stattgefunden hat, ist eine Dauer von 5 Minuten ausreichend.

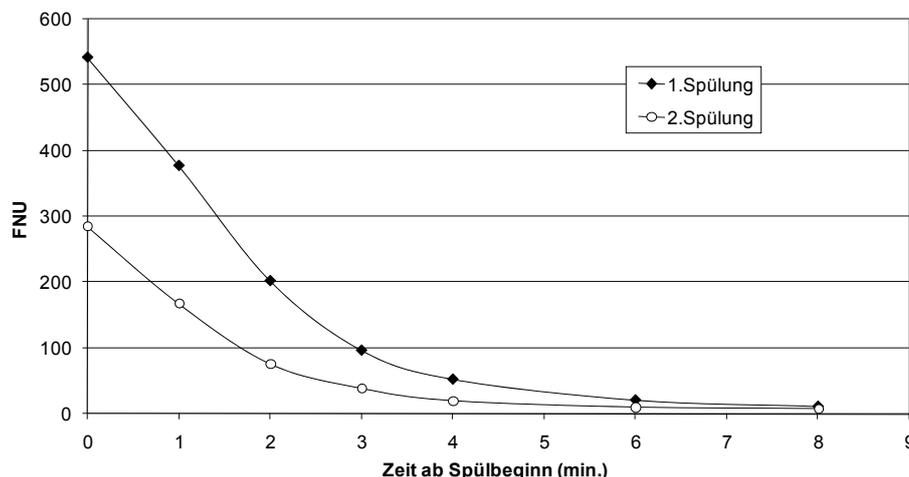


Abbildung 4-4: Trübungskurve des Rückspülwassers bei Filterspülung (Beispiel)

Nach dem Rückspülen ist es in der Regel erforderlich, das Filtrat aufgrund eines erhöhten Trübungs- bzw. Partikelgehaltes während einer Erstfiltratphase (Einarbeitungsphase) zu verwerfen. Die Dauer der Erstfiltratphase kann ebenfalls mittels Trübungsmessung im Filtrat untersucht werden.

Nach Amirtharajah & Wetstein (1980) können fünf Phasen der **Filterreifung** nach dem Rückspülen unterschieden werden:

- Phase 1 - Verzögerungsphase
- Phase 2 - Gestörtes Filtermedium und Rückstände im Filtermaterial
- Phase 3 - Rückstände vom Überstand
- Phase 4 - Mischung mit Zulauf und Stabilisierung der Partikel
- Phase 5 - Filter Konditionierung und feinstverteilte Rückstände

Abbildung 4-5 zeigt einen typischen Verlauf der Trübung nach dem Rückspülen im Ablauf des Filters. In der Verzögerungsphase (**Phase 1**) nach dem Rückspülen verläßt als erstes das saubere Rückspülwasser aus dem Bereich unter dem Filterboden den Filterablauf. Dieses Wasser weist keine Trübung auf. In **Phase 2** werden die resuspendierten und gelösten Partikel des Filterbettes ausgetragen. In **Phase 3 und 4** werden Rückstände aus dem Überstand ausgetragen und es kommt zur Mischung mit Zulaufwasser. Der Einfluß des Zulaufwassers führt dann zu einer Stabilisierung der Partikel. Die letzte **Phase 5** ist die Konditionierungsphase, in welcher sich der Austrag feinstverteilter Partikel zunehmend verringert und schlußendlich der Filter seine volle Wirkung erreicht.

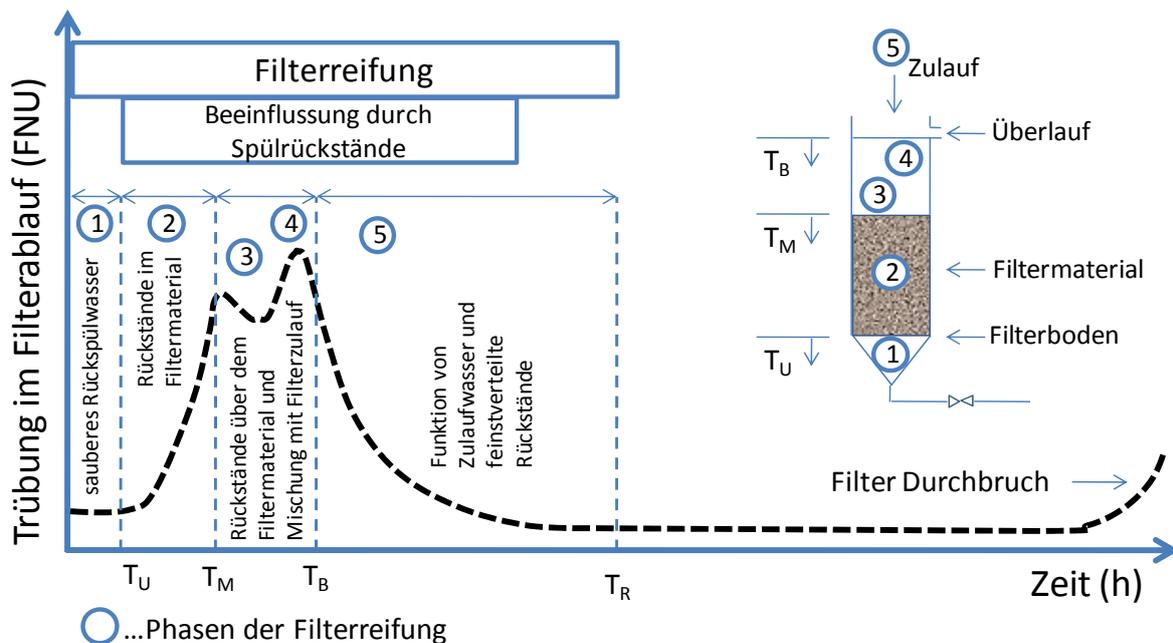


Abbildung 4-5: Typischer Verlauf der Trübung nach dem Rückspülen (nach Amirtharajah & Wetstein, 1980)

4.5 Optimierung der Erstfiltratphase

Nach Nahrstedt (2005) ist die **Abscheideleistung** eines rückgespülten Filters mit nahezu unbeladener Filterkornoberfläche in der **Erstfiltratphase** relativ **gering**. Ein Grund dafür ist die Abstoßung von Partikeln und Filtermaterial durch elektrostatische Doppelschichtkräfte. Daher ist die Vorbehandlung des Rohwassers mittels Flockung sehr wichtig. Rauigkeiten und Vertiefungen des Kornmaterials verbessern Kontakt und Haftung und somit die Abscheideleistung (Gimbel, 1983). Zusätzlich verbessern Polymere auf dem Filtermaterial die Haftung (Gimbel & Sehn, 1983 und Sehn 1984).

Durch ein **langsames Erhöhen der Filtergeschwindigkeit (v_f)** beim Start der Filtration kann die Abscheideleistung erhöht werden. Die Filtergeschwindigkeit (v_f) sollte dabei um nicht mehr als 3 % des Endwertes pro Minute erhöht werden.

Eine Methode, die Erstfiltratphase zu verkürzen, ist die **Konditionierung des Spülwassers** mit Polymeren, wie es z.B. in der britischen Aufbereitungspraxis allgemein gemacht wird (Nahrstedt, 2005). Eine Möglichkeit der Konditionierung ist der Zusatz von 100 µg/l eines nichtionischen Polymers zum Spülwasser (Yapjikis, 1982). In Versuchen mit dieser Maßnahme konnte die Erstfiltratphase von 2 h auf weniger als 15 min. reduziert werden. Es dürfen nur Stoffe eingesetzt werden, die explizit für die Anwendung in Trinkwasser zugelassen sind. Dabei sind die Anforderungen der Trinkwasserverordnung (TWV, 2001) und des LMSVG idgF. (2006) zu beachten. Für den Stoff Acrylamid liegt der Parameterwert der TWV (2001) bei 0,1 µg/l. Laut deutscher Trinkwasserverordnung (TrinkwV, 2001) wird bei einer maximalen Polymer-Zugabekonzentration von 0,5 mg/l der Parameterwert von 0,1 µg/l eingehalten. Nähere Informationen zu Polymeren sind auch in der Produktnorm DIN EN 1407 (2008) zu finden.

Ist der Einsatz von Polymeren nicht gewünscht, kann eine Konditionierung des Spülwassers auch erfolgen, indem man die Spülung bei verbleibenden 4 bis 5 FNU an Trübung im Spülwasser stoppt. Durch den **Rest-Trübungsgehalt** wird die Haftwahrscheinlichkeit erhöht. Diese ist gemeinsam mit der Kollisionswahrscheinlichkeit für die Abscheidung im Filter verantwortlich.

Eine weitere Möglichkeit zur Optimierung der Erstfiltrationsphase ist ein Verfahren, das in der Literatur als **ETSW (Extended Terminal Subfluidisation Wash)** beschrieben wird (Amburgey, 2003). Nach dem Rückspülen verbleiben immer geringe Mengen abgelöster Trübstoffe im Filter. Zusätzlich werden durch das Erstarren und das Setzen des Filterbettes nach einer Fluidisierung Partikel mobilisiert und resuspendiert. Das ETSW Verfahren sieht nach dem eigentlichen Rückspülen eine zusätzliche Rückspülphase vor. Dabei wird mit so geringer Geschwindigkeit gespült, dass es zu keiner Fluidisierung des Filtermaterials kommt, aber die resuspendierten Partikel im Filterbett oder im Überstau ausgetragen werden. Die Eintrübung des Erstfiltrates tritt durch diese Maßnahme nur mehr sehr kurz oder gar nicht auf (Amburgey, 2003 in Nahrstedt, 2005).

Eine weitere Optimierungsmöglichkeit besteht in der **Verzögerung des Filtrationsstarts** nach erfolgter Rohwasserzufuhr. D.h. nach dem Rückspülen bzw. nach Anwendung des ETWS Verfahrens, wird der Filter mit Rohwasser, dem bereits Flockungsmittel zugesetzt wurde, beschickt. Danach wird die Filtration gestoppt und eine Ruhepause von bis zu 60 min. eingelegt. Durch diese Ruhepause können autonom auftretende Flockungseffekte für den Filtrationsstart genutzt werden, wobei die Flockung im Überstau und im Filterbett durch die vorangehende Rohwasserzufuhr verstärkt wird. Durch die Kombination der Verzögerung mit dem ETWS Verfahren können Synergien genutzt werden (Amburgey et al., 2004 in Nahrstedt, 2005).

5 Flockungsversuche zur Huminstoff- und Trübungsentfernung

Die Notwendigkeit, Vorversuche zur Flockung durchzuführen ergibt sich aus der Komplexität der bei der Flockung ablaufenden Prozesse. Auch wenn die einzelnen Vorgänge bei der Flockung theoretisch gut beschrieben sind, fehlen bislang allgemein gültige Bemessungsgrundlagen für Flockungsanlagen. Daher wird die Durchführung von Flockungsversuchen zur experimentellen Bemessung der Anlagen empfohlen (vgl. Grombach et al., 2000).

Flockungsversuche werden in der einfachsten Form als sogenannte „Jar-Test“ durchgeführt. Untersucht bzw. variiert werden dabei die Einflüsse der für die Flockung entscheidenden Parameter:

- pH-Wert, Art der verwendeten Säuren und Laugen
- Art & Menge des Flockungsmittels
- eventuell Art & Menge von Flockungshilfsmitteln
- Zugabezeitpunkt und Reihenfolge
- Energieeintrag durch Rühren und Dauer des Eintrags

Die Bewertung erfolgt anhand der Sedimentationsfähigkeit und des Wirkungsgrades. Der Jar-Test wird für verschiedene Kombinationen der genannten Parameter durchgeführt. Dabei sollte jeweils nur ein Parameter variiert werden. Erfolgen die verschiedenen Versuche nicht nacheinander sondern simultan mit einem Reihenrührwerk, können durch visuelle Beurteilung Informationen über die Flockenbildung und –abtrennung im Vergleich gewonnen werden.

Der Test erfolgt in Bechergläsern, der Energieeintrag durch ein einfaches oder durch ein Serienrührwerk. Im Zusammenhang mit der Anwendung der Schnellfiltration zur späteren Abtrennung der Flocken sind vor allem die Variation des pH-Wertes, der Dosiermenge und der Art des Flockungsmittels, ein etwaiger Flockungshilfsmittelzusatz und die Abfolge der Chemikalienzugabe von Bedeutung.

Der Energieeintrag durch das Rührwerk wird an die jeweilige Flockungsphase angepasst. Nach 5 bis 30 Sekunden hohem Energieeintrag für das Einmischen folgen 3 bis 30 Minuten für Aggregation und 5 bis 60 Minuten Sedimentation.

Beim Variieren des pH-Wertes und der Dosiermengen sollte der Energieeintrag in der jeweiligen Phase für alle Bechergläser gleich sein. Bei Verwendung eines Serienrührwerks sollten auch die Zeitpunkte der Dosierung in den verschiedenen Bechergläsern gleich sein.

Zur Auswertung der Versuche wird anschließend ca. 4 cm unterhalb der Oberfläche eine Probe aus dem Überstand genommen. Davon wird ein Teil über eine 0,45 µm Membran filtriert. Beide Teile (filtriert und unfiltriert) werden auf die interessierenden Parameter wie Trübung und TOC untersucht. Diese Art der Durchführung des Tests stellt die Flockung mit anschließendem Sedimentationsschritt nach.

Für andere Verfahren der Flockenabtrennung, ohne vorangehende Sedimentation, kann ein Jar-Test zu folgenden Aspekten qualitative Aussagen liefern:

- am besten geeignetes Flockungsmittel
- Einfluß des pH-Wertes auf Trübungs- und DOC-Reduktion
- erreichbarer Wirkungsgrad bei gegebenen hydraulischen Aufenthaltszeiten
- Filtrierbarkeit des Überstandes in Abhängigkeit vom Filtermedium

- Einschränkung des Dosiermengenbereichs für weitere Versuche

Beim Einsatz der Schnellfiltration zur Abtrennung der Flocken kann die Durchführung des Tests bezüglich der Zeiten für Aggregation und Sedimentation an die realen Verhältnisse der Aufbereitungsanlage angepaßt werden. Weiterführende Flockungstests müssen dann an die jeweils gewünschte Methode der Flockenabtrennung angepaßt werden.

Die am besten an die realen Bedingungen angepaßten Testverfahren sind kontinuierliche Flockungstests und Pilotanlagen.

Auf Grund des komplexen Zusammenwirkens der Einflußfaktoren bei der Flockung und der Abtrennung ist eine Kombination vom sehr einfachen Jar-Test, zur Gewinnung erster Anhaltspunkte, und kontinuierlichen Flockungstests bzw. Pilotanlagen in folgenden Fällen zu empfehlen:

- schwierige bzw. stark schwankende Rohwasserbeschaffenheit, insbesondere bei gleichzeitig hohen Konzentrationen an Huminstoffen und Eisen
- fehlende Erfahrungen mit vergleichbaren Anlagen mit vergleichbarem Wasser
- fehlende Referenzinformation über das gewünschte Aufbereitungsverfahren, einschließlich aller relevanten Prozesse
- Adaption von Altanlagen

Technologisch einfache Aufbereitungsschritte wie Flockung, Filtration zur Enteisung und Entmanganung werden zwar, wie zuvor geschildert, durch zahlreiche komplexe Zusammenhänge beeinflußt. Sie bieten jedoch auch erhebliche Optimierungsmöglichkeiten und können mit geringen Kosten zu einem hohen Reinigungserfolg beitragen, der durch andere Verfahren nicht oder nur mit wesentlich höheren Kosten erbracht werden kann.

Weitere Informationen zu Flockungstestverfahren finden sich z.B. im DVGW Arbeitsblatt W 218, Teil 2.

6 Handlungsempfehlungen für bestehende Wasseraufbereitungsanlagen

6.1 Überprüfung der Abscheideleistung vorhandener Filter anhand der Filtratqualität

- Online-Messung bzw. regelmäßige Kontrolle der Trübung im Ablauf der einzelnen Filter. Die Trübung im Ablauf eines Tiefenfilters sollte bei der Verwendung eines Flockungsmittels unter 0,2 FNU liegen.
- Regelmäßige Kontrolle von Fe/Mn bzw. SAK 254 oder Transmission im Ablauf der einzelnen Filter.
- Kontrolle des Einfahrverhaltens von Filtern nach Rückspülung durch Trübungsmessung, gegebenenfalls durch Anschluss eines Trübungsmessgerätes mit Datenaufzeichnung. Die Hauptfracht an Trübstoffen gelangt während der Einfahrphase in das Trinkwasser!

6.2 Eignungsüberprüfung der eingesetzten Filtermaterialien unter den gegebenen Rahmenbedingungen

- Feststellung der Materialeigenschaften durch Beprobung und Analyse
 - Materialart
 - Korngrößenverteilung (Das Filtermaterial unterliegt gegebenenfalls einem Kornwachstum.)
 - Schichthöhen
- Prüfen, ob die festgestellten Materialwerte den Spezifikationen der Hersteller und dem angegebenen Verwendungszweck entsprechen.
- Werden die richtigen Materialien kombiniert?
- Beobachtung des Rückspülvorgangs bei geöffneter Einstiegluke:
 - Gibt es ein gleichmäßiges Blasenbild bei der Luftspülung? Wenn nicht können Verklumpungen des Filtermaterials entstehen bzw. vorhanden sein.
 - Wird eine hinreichende Ausdehnung des Filtermaterials erreicht?
 - Ist der freie Ablauf des Schlammwassers gewährleistet?
 - Eventuell Proben des Filtermaterials vor und nach der Spülung entnehmen, um den Reinigungserfolg zu dokumentieren. Dazu können die am Filtermaterial anhaftenden Trübstoffe abgewaschen und gravimetrisch bestimmt werden.
 - Sind die Schichten eines Mehrschichtfilters nach der Spülung wieder getrennt?

6.3 Ableitung von Optimierungsmaßnahmen

- Bei festgestellter Abweichung der Materialeigenschaften von den Vorgaben, neues bzw. anderes Filtermaterial einfüllen.
- Bei zu geringen Schichthöhen fehlendes Material ergänzen.
- Gleichmäßige hydraulische Beschickung mit nur langsamen Änderungen der Filtergeschwindigkeit realisieren. Hydraulische Stöße oder Eintrag von Ablagerungen aus Zwischenbehältern vermeiden.

- Spülgeschwindigkeit gemäß Vorgaben der Hersteller des Filtermaterials wählen oder Filtermaterial auswählen, das mit der vorhandenen Anlagen- und Maschinenteknik ausreichend gespült werden kann.
- Bei ungleichmäßigem Blasenbild, Höhenausrichtung der Filterdüsen kontrollieren bzw. verstopfte Düsen austauschen.
- Erforderliche Dauer der Einfahrphase verkürzen:
 - Dauer der Rückspülung variieren (siehe ETSW), Trübung im Spülwasser beobachten
 - Spülwasser konditionieren
 - Anfahren des Filters verzögern
- Bei zu hohen Fe/Mn-Werten:
 - Filtergeschwindigkeit anpassen
 - Eventuell kommt es nach einer Druckbelüftung zu Ausgasungen, daher Belüftungsintensität anpassen.
 - Dosierung und Einmischung des Flockungsmittels optimieren
 - Eventuell Vorversuche mit anderem Flockungsmittel oder anderem pH-Wert

Literatur

- Amburgey, J. E. (2003): Optimization of the extended terminal subfluidization wash (ETSW) filter backwashing procedure. - *Water Research* **39** (2005) S. 314-330.
- Amburgey, J.E., Amirtharajah, A., Brouckaert, B.M. & N.C. Spivey (2004): Effect of washwater chemistry and delayed start on filter ripening. - *J. Am. Water Works Assoc.* **96** (1), 97–110.
- Amirtharajah, A. & D.P. Wetstein (1980): Initial degradation of effluent quality during filtration. *J. Am. Water Works Assoc.* **72** (10), 518–524.
- Brouckaert, B. M. (2004): Hydrodynamic Detachment of Deposited Particles in Fluidized Bed Filter Backwashing.- Dissertation, Georgia Institute of Technology, USA.
- Bundesgesundheitsblatt (1997): Anforderungen an die Aufbereitung von Oberflächenwässern zu Trinkwasser im Hinblick auf die Eliminierung von Parasiten. – *Bundesgesundheitsblatt* 12/1997, Deutschland.
- DIN 19605:1995-04 (1995): Festbettfilter zur Wasseraufbereitung - Aufbau und Bestandteile.
- DIN 38404-3:2005 (2005): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Physikalische und physikalisch-chemische Kenngrößen (Gruppe C) - Teil 3: Bestimmung der Absorption im Bereich der UV-Strahlung, Spektraler Absorptionskoeffizient (C 3).
- DIN EN 1407 (2008). Produkte zur Aufbereitung von Wasser für den menschlichen Gebrauch - Anionische und nicht-ionische Polyacrylamide. DIN Deutsches Institut für Normung, Berlin.
- DVGW W 211 (1987): Filtration in der Wasseraufbereitung, Teil 2: Planung und Betrieb von Filteranlagen. - Technische Regel der DVGW, Bonn, Deutschland.
- DVGW W 213-1 (2005): Filtrationsverfahren zur Partikelentfernung; Teil 1: Grundbegriffe und Grundsätze. - Technische Regel der DVGW, Bonn, Deutschland.
- DVGW W 213-2 (2005): Filtrationsverfahren zur Partikelentfernung; Teil 2: Beurteilung und Anwendung von gekörnten Filtermaterialien. - Technische Regel der DVGW, Bonn, Deutschland.
- DVGW W 213-3 (2005): Filtrationsverfahren zur Partikelentfernung; Teil 3: Schnellfiltration. - Technische Regel der DVGW, Bonn, Deutschland.
- DVGW W 213-4 (2005): Filtrationsverfahren zur Partikelentfernung; Teil 4: Langsamfiltration. - Technische Regel der DVGW, Bonn, Deutschland.
- DVGW W 213-5 (2005): Filtrationsverfahren zur Partikelentfernung; Teil 5: Membranfiltration. - Technische Regel der DVGW, Bonn, Deutschland.
- DVGW W 213-6 (2005): Filtrationsverfahren zur Partikelentfernung; Teil 6: Überwachung mittels Trübung und Partikelmessung. - Technische Regel der DVGW, Bonn, Deutschland.
- DVGW W 218 (1998): Flockung in der Wasseraufbereitung – Flockungstestverfahren. – Technische Regel der DVGW, Bonn, Deutschland.
- DVGW W 223-1 (2005): Enteisenung und Entmanganung – Teil 1: Grundsätze und Verfahren – Technische Regel der DVGW, Bonn, Deutschland.
- DVGW W 223-2 (2005): Enteisenung und Entmanganung – Teil 2: Planung und Betrieb von Filteranlagen – Technische Regel der DVGW, Bonn, Deutschland.

- DVGW W 223-3 (2005): Enteisenung und Entmanganung – Teil 3: Planung und Betrieb zur unterirdischen Aufbereitung – Technische Regel der DVGW, Bonn, Deutschland.
- EN ISO 7027:1999 (2000): Wasserbeschaffenheit – Bestimmung der Trübung.
- Gimbel R. & P. Sehn (1983): Effects of Polymers on Particle Adhesion Mechanisms in Deep Bed Filtration. - in "Solid-Liquid Separation" Kap.21 Hrsg.: Gregory, J. Ellis Horwood, Chichester, Großbritannien, S.315-341.
- Gimbel R. (1983): Entwicklung eines neuartigen Tiefenfilters zur Trübstoffabscheidung. - Vom Wasser 61, VCH Weinheim Berlin, Deutschland.
- Grombach, P. Haberer, K. & G. Merkl (2000): Handbuch der Wasserversorgungstechnik, 3. Auflage, Oldenbourg Industrieverlag München Wien.
- LMSVG (BGBl. 13/2006): Lebensmittelsicherheits- und Verbraucherschutzgesetz. – Österreich.
- Nahrstedt (2005): Spülung von Schnellfiltern und Erstfiltratabschlag. – Literaturstudie im Auftrag des DVGW, Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung Gemeinnützige GmbH, Deutschland.
- Sehn, P. (1984): Zum Einfluß von Polyelektrolyten auf die Partikelhaftung in wässrigen Systemen. – Dissertation an der Universität Karlsruhe, Deutschland.
- TWV (BGBl. II Nr. 304/2001 idgF): 304. Verordnung des Bundesministers für soziale Sicherheit und Generationen über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung – TWV). – Österreich.
- TrinkwV (2001, BGBl. I S. 959): Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch. Deutschland.
- Yapjakis, C. (1982): Direct filtration: polymer in backwash serves dual purpose. - J. Am. Water Works Assoc. **74** (5), 426–428.