

# Partikelentfernung in der Trinkwasseraufbereitung: Problematiken und Lösungsansätze

Akongha Lambert · Helfried Welsch · Michael Kollete

Eingegangen: 19. Juli 2010/Akzeptiert: 11. September 2010/Online veröffentlicht: 6. Oktober 2010  
© Springer-Verlag 2010

**Zusammenfassung** Die Stadtwerke Trier (SWT) betreiben zur Wasserversorgung der Stadt Trier u. a. das Wasserwerk Irsch, in dem Rohwasser aus der Riveristalsperre seit 1958 zu Trinkwasser aufbereitet wird. Ein besonderes Augenmerk gilt dabei der Partikelelimination aus dem Rohwasser der Talsperre, da diese Partikel bei unzureichender Elimination zu Ablagerungen im Verteilnetz führen können, welche u. a. als Nährboden für Bakterien dienen. Ein Ziel der Aufbereitung ist daher die sichere Entfernung von Partikeln aus dem Rohwasser zur Bereitstellung eines mikrobiologisch und hygienisch einwandfreien Trinkwassers. Die Stadtwerke Trier betreiben die Trinkwasseraufbereitung nach dem Multibarrierenprinzip. Bei diesem Prinzip stellt die Aufbereitung eine Einheit dar, bestehend aus der Kontrolle des Einzugsgebiets der Talsperre, den Vorsperren der Talsperre, der Talsperre selbst, der Aufbereitung (bestehend aus einer einstufigen Flockenfiltration) und der Pflege des Verteilnetzes. So soll jederzeit die Versorgung mit einem mikrobiologisch und hygienisch einwandfreien Trinkwasser sichergestellt werden. Als Qualitätskontrolle wird u. a. eine Partikelmessung nach erfolgter Filtration durchgeführt. Konventionelle Aufbereitungsverfahren wie z. B. die Flockenfiltration können die gestiegenen und steigenden Anforderungen an die Trinkwasserqualität häufig nicht mehr mit absoluter Sicherheit erfüllen. Daher werden in der jüngeren Vergangenheit vermehrt Membranfiltrationsanlagen zur Ergänzung oder als Ersatz bestehender konventioneller

Aufbereitungsanlagen geplant und errichtet. Für das Wasserwerk Irsch wird derzeit eine Erweiterung um eine Ultrafiltrationsstufe geplant.

**Schlüsselwörter** Flockenfiltration · Membranfiltration · Partikelentfernung · Partikelmessung · Trinkwasserversorgung

## Removal of particulate matter in drinking water treatment: problems and solution approaches

**Abstract** The drinking water treatment plant (WTP) in Irsch-Treves is one of the WTPs operated by the Public Utility Company of Treves (SWT) responsible for supplying the city of Treves with drinking water. This treatment plant has been responsible for the treatment of raw, soft water from the oligotrophic reservoir Riveris since 1958. The main functions of the WTP are the removal of particulate matter, manganese, iron, aluminium and organic material, especially humic substances. The removal of particulate matter such as bacteria, other microorganisms and plankton is very important to ensure a microbiologically and hygienically stable drinking water. Insufficient removal of particulate manganese may lead to manganese scaling in the supply system and, in extreme conditions, may lead to a brown-coloured drinking water. The so called Multi-Barrier-System is being used in the entire water treatment process. Under this system, great importance is given to the monitoring of the catchment area, the inflows, and the reservoirs. After a preliminary and subsequent sedimentation and biological treatment in the preliminary and in the main reservoirs respectively, the raw water is finally treated through flocculation filtration over the rapid multi-layer sand filters in the WTP Irsch. With this approach, only a

---

Verantwortliche Herausgeber: Organisationskomitee der Tagung

A. Lambert (✉) · H. Welsch · M. Kollete  
SWT Stadtwerke Trier Versorgungs- GmbH, Asset Management,  
Ostallee 7–13, 54290 Trier, Deutschland  
E-Mail: A.Lambert@swt.de

rigid application of the above mentioned steps and the application of the latest recognized technology to maintain the supply system can best guarantee a constant supply of clean drinking water. Online particle count in raw water and in drinking water is one of the main quality control measures applied in the WTP Irsch. The conventional flocculation filtration is not always able to fulfil the increasing quality demands for drinking water, especially during adverse raw water quality conditions. This is the reason why more and more membrane filtration units are currently being installed in completely new plants, as substitutes in conventional plants, or for upgrade purposes. The SWT is currently planning an enlargement and upgrade of the WTP Irsch, integrating ultrafiltration, which was successfully tested in a pilot study. The upgrade of the elimination of particulate matter is one of the most important targets, after the enlargement and upgrade of the plant.

**Keywords** Drinking water supply · Flocculation filtration · Membrane filtration · Particle count · Particulate matter · Particle elimination

## 1 Trinkwasserversorgung aus Oberflächenwasser

Etwa 10% der Bevölkerung Deutschlands werden mit Trinkwasser aus Talsperren versorgt. Für die Trinkwasserversorgung der Stadt Trier beziehen die SWT seit 1958 Rohwasser u. a. aus der Riveristalsperre. Die jährliche Aufbereitungsleistung im Wasserwerk Trier-Irsch beträgt ca. 6 Mio. m<sup>3</sup>.

Trinkwasser muss den Leitsätzen der DIN 2000 entsprechen und den Anforderungen der Trinkwasserverordnung genügen. Die Rohwasserbeschaffenheit von Talsperren wird durch anthropogene und geogene Faktoren beeinflusst. Hierbei stellen partikuläre Stoffe (v. a. in wenig anthropogen beeinflussten Talsperren wie der Riveristalsperre) den größten Anteil an unerwünschten Wasserinhaltsstoffen dar. Diese umfassen sowohl allochthone, d. h. aus dem Einzugsgebiet eingeschwenkte, als auch autochthone, d. h. im Gewässer gebildete, Feststoffe (Clasen 1994). Während allochthone Feststoffe zum größten Teil aus anorganischen Partikeln (z. B. Schwebstoffe) bestehen, gehören zu den autochthonen Partikeln hauptsächlich die in der Talsperre lebenden Planktonorganismen (Phyto- und Zooplankton). In Gewässern mit geringem allochthonen Stoffeintrag, wie der Riveristalsperre, geht es in erster Linie um die Elimination autochthoner partikulärer Stoffe sowie um die Entmanganung und Enteisenung.

Während konventionelle Trinkwasseraufbereitungsanlagen die im Wasser suspendierten Feststoffe >100 nm entfernen, können mittels Membrantechnologie auch nichtflockbare Kolloide (100–1 nm) eliminiert werden.

## 2 Probleme in der Trinkwasserversorgung durch unzureichende Partikelelimination

Eine Anlage zur Trinkwasseraufbereitung muss in der Lage sein, sowohl gelöste als auch partikuläre Wasserinhaltsstoffe, z. B. Schwebstoffe, gelöste Humin-Stoffe, Bakterien, Viren, Algen, Farbstoffe oder Zooplankton, zu entfernen. Restkonzentrationen an Partikeln im Filtrat können zu unterschiedlichen Problemen im Versorgungsnetz bis hin zum Verbraucher führen. Beispielsweise können Restkonzentrationen an gelöstem Mangan durch Oxidationsprozesse zu problematischen Ablagerungen im Versorgungsnetz führen, die als Nährboden das Bakterienwachstum begünstigen und somit die mikrobiologische Wasserqualität negativ beeinflussen. Weiterhin kann Mangan im Filtrat zu erhöhter Trübung und zu Verfärbungen führen (Steidl 2008).

Einige Arten von Phyto- und Zooplankton, wie z. B. *Chrytomonas eroso* und *Gymnodinium uberrimum*, können bei unzureichender Elimination in der Trinkwasseraufbereitung im Versorgungsnetz zur Wiederverkeimung führen. Viele andere Arten wie *Dinobryon cylindricum*, *Peridinium cinctum* und *Synura americana* sind als Produzenten von Metaboliten bekannt (Niesel et al. 2006) und Verursacher von Geruchs- und Geschmacksbeeinträchtigungen. Humin-Stoffe und Planktonorganismen können im Verteilungsnetz als Quelle für mikrobiologisch assimilierbare Kohlenstoffe dienen, was ein erhöhtes Wiederverkeimungspotenzial in sich birgt.

Krankheitserreger führen bei unvollständiger Elimination und Desinfektion zu direkten hygienischen Problemen beim Verbraucher. Unter anderem aufgrund von aufgetretenen Erkrankungen in den USA und in Großbritannien (Baldauf 2001) wurden in den vergangenen Jahren zunehmend parasitäre Mikroorganismen der Gattungen *Giardia* und *Cryptosporidium* wie z. B. *Giardia lamblia* und *Cryptosporidium parvum* erfasst (Consonery et al. 1996). Eine Verringerung der Partikelgehalte führt meist auch zu einer verbesserten mikrobiologischen Beschaffenheit des Wassers.

## 3 Methoden der Partikelentfernung bei der Trinkwasseraufbereitung

Laut § 4 der Trinkwasserverordnung muss Wasser für den menschlichen Gebrauch frei von Krankheitserregern, genusstauglich und rein sein. Um diese hohe Qualität von Trinkwasser aus Rohwasser von Oberflächenwasserkörpern wie Talsperren zu erreichen, wird in den meisten Fällen das Prinzip des Multibarrieresystems angewendet. Unter diesem Begriff ist die erforderliche Einheit zwischen dem Einzugsgebiet der Talsperre, den Zuflüssen, dem Wasserkörper (Vorsperren und Hauptsperre) und der Trinkwasseraufbereitungstechnologie zu verstehen (Bun-

nemann und Schulze 2000). Die Beschaffenheit des Wassers aus den verschiedenen Zuflüssen und diffusen Quellen im Einzugsgebiet wird hinsichtlich der Schwebestoffgehalte durch kleine, periodisch zu räumende Vorsperren verbessert (Merkl 2008). In der Hauptsperre wird durch weitere Sedimentationsvorgänge der restliche Feinpartikelgehalt weiter reduziert. Durch autochthone Vorgänge in der Hauptsperre, wie Resuspension, Rücklösung und insbesondere Planktonwachstum, unterliegt der Partikelgehalt saisonalen Schwankungen. Die Dimensionierung einer Trinkwasseraufbereitungsanlage und die Anzahl der Aufbereitungsstufen hängen vom Trinkwasserbedarf sowie von der Qualität des Rohwassers ab. Konventionelle Verfahren der Trinkwasseraufbereitung wurden in den vergangenen Jahren zunehmend durch Membranfiltrationstechnologie ersetzt oder ergänzt.

### 3.1 Flockungsverfahren zur Partikelentfernung

Oberflächenwasser enthält Wasserinhaltsstoffe aller Art. Diese können in den meisten Fällen mittels einer Kombination von Flockung mit abschließender Sedimentation und/oder Filtration über Mono- oder Mehrschichtfilterbetten unterschiedlicher Filtermaterialien entfernt werden.

Flockungsverfahren überführen feinste suspendierte Teilchen und kolloidal gelöste Wasserinhaltsstoffe in abtrennbare Flocken. Da die zu eliminierenden Partikel negativ geladen sind, wird das Wachsen von größeren, absehbaren Partikeln durch elektrostatische Abstoßungskräfte verhindert. Um die fein verteilten und stabil dispergierten Feststoffe flockungsfähig zu machen, müssen sie durch Zugabe und Einmischung von Fremdionen (u. a. Rührer, statischer Mischer, Reaktionsbecken, Reaktionsstrecke) destabilisiert werden. Als Flockungsmittel (FM) werden überwiegend die Salze höherwertiger Metallionen wie  $\text{Fe}^{3+}$  oder  $\text{Al}^{3+}$  eingesetzt.

Die  $\text{Fe}^{3+}$ - bzw.  $\text{Al}^{3+}$ -Ionen lagern aufgrund ihrer hohen Ladung sechs Wassermoleküle unter Bildung eines Hexa-aquakomplexes ( $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ ) an, woran die negativ geladenen Partikel dann adsorbieren. Mit steigenden pH-Werten geben die Hexa-aquakomplexe Protonen ab. Es bilden sich

stufenweise verschiedene Hydroxy-Aqua-Verbindungen, bis bei mittleren pH-Werten (ab  $\text{pH} = 5$ ) die unlöslichen Neutralverbindungen  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  als voluminöse Niederschläge in Flockenform ausfallen. Die Löslichkeit der Hydroxide ist dabei so gering, dass die Metalle im pH-Wert-Optimum weitgehend entfernt werden können (Wilhelm 2008; Merkl 2008) (Abb. 1). Bei höheren pH-Werten (z. B. ab pH-Wert 7 bei der Anwendung von  $\text{FeCl}_3$  als FM) ist mit einer Wiederauflösung zu rechnen.

Je nach Flockungsmittel, -bedingungen und -reaktionszeit wachsen die entstandenen Mikrofloccen zu Makrofloccen heran. Durch Sedimentation, Flotation oder Filtration werden die gebildeten Flocken aus dem Wasser getrennt.

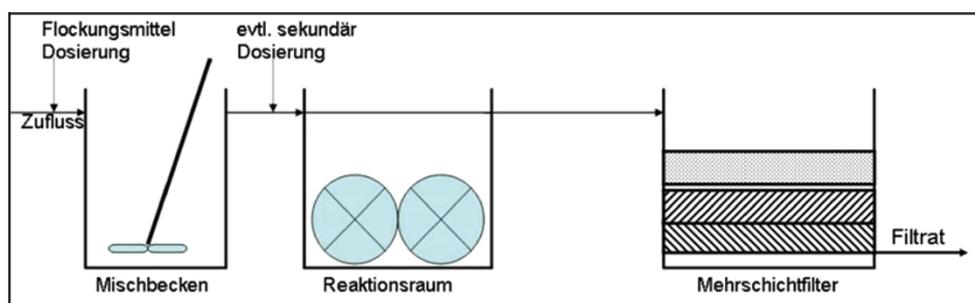
Während das Sedimentationsflockungsverfahren bei einem Schmutzstoffanfall von 200 mg/l und mehr in Betracht zu ziehen ist, eignet sich das Flockenfiltrationsverfahren bei einem Schmutzstoffanfall von 20 bis 200 mg/l und das Mikro- oder Sekundärflockungsverfahren bei weniger als 20 mg/l Schmutzstoffanfall.

Im WW Trier-Irsch wird ausschließlich das Flockenfiltrationsverfahren eingesetzt. Bei diesem werden nach Zugabe, Einmischung und Reaktion der Flockungsmittel mit dem aufzubereitenden Wasser die gebildeten Flocken direkt über Mono- oder Mehrschichtfilter filtriert (Abb. 1).

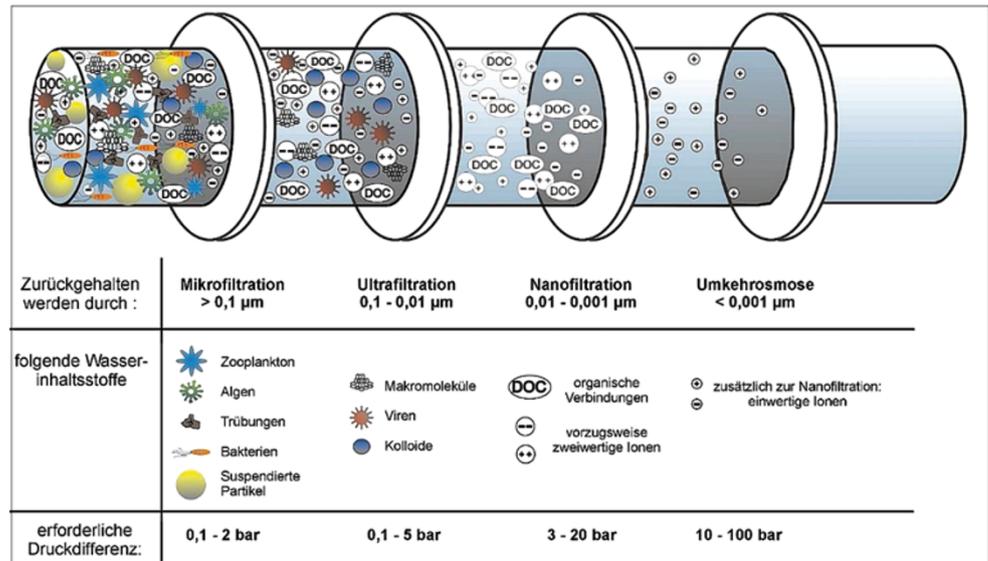
### 3.2 Membranfiltrationstechnologie

Die steigenden Anforderungen an die Trinkwasserqualität erfordern ein Umdenken bzgl. der Aufbereitung von Oberflächenwasser zu Trinkwasser. Mit den etablierten Verfahren der Flockenfiltration können diese hohen Standards nicht immer erreicht werden. So führen z. B. starke Niederschlagsereignisse oder ein hohes Planktonaufkommen zu Betriebssituationen, in denen die konventionelle Flockenfiltration keine ausreichende Sicherheit aus hygienischer Sicht gewährleistet. Daher wurde in den vergangenen Jahren die Membrantechnologie als zusätzliche oder einzige Aufbereitungsstufe verstärkt angewendet. Die Membranfiltration zeichnet sich durch einen sicheren, konstanten Rückhalt von partikulärem Material aus. Auch bei schwankender Rohwasserqualität erreicht man durch die physikalische Barriere der

**Abb. 1** Flockenfiltration (nach Merkl 2008)



**Abb. 2** Druckbereiche und Porengrößen von Membranfiltern (Quelle: DVGW-Technologiezentrum Wasser [TZW] in DVGW Technologie-Report Nr. 3/08)



Membranen eine konstante Filtrat- und Permeat-Qualität. Abbildung 2 verdeutlicht die stofflichen Trenngrenzen der in der Trinkwasseraufbereitung eingesetzten Membranfilter in Abhängigkeit von ihrer Porengröße.

Nach einer erfolgreichen Pilotphase ist zurzeit die Integration einer Ultrafiltrationsstufe im Wasserwerk Trier-Irsch geplant. Die neue Anlage wird unabhängig von der Rohwasserqualität in der Lage sein, alle Wassereinhaltstoffe >0,02 µm vollständig zurückzuhalten. Die in der Ultrafiltration eingesetzten Membranen sind druckbetriebene Porenmembranen. Diese sind ausschließlich aus Polyethersulfon oder Polyvinylidenfluorid gefertigt und können von innen nach außen (In/Out) bzw. von außen nach innen (Out/In) betrieben werden.

Während laut Melin und Rautenbach (2007) der Arbeitsbereich der Ultrafiltration üblicherweise bei 0,5 bis 10 bar transmembraner Druckdifferenz (TMP) liegt, konnten bei der Pilotierung im Wasserwerk Trier-Irsch konstante Betriebszustände mit TMPs von ca. 0,2 bar erreicht werden.

### 3.3 Betriebsweise der Ultrafiltration

Das zentrale Problem im Betrieb der Ultrafiltrationsanlagen ist die Gewährleistung einer hohen Permeabilität mit möglichst geringem Energieaufwand (niedriger TMP), geringem Chemikalieneinsatz und bei gleichzeitig hoher Betriebssicherheit. Die durch die Ultrafiltration abgetrennten Wassereinhaltstoffe bilden eine Deckschicht auf der Membranoberfläche. Diese führt zu einer Erhöhung des Strömungswiderstands und zu einem Rückgang der Permeabilität bzw. zu steigendem TMP. Bei einer konstanten Permeat-Flusseinstellung muss der erhöhte Transmembran-Druck durch mehr Energieaufwand oder mehr Chemikalieneinsatz kompensiert werden. Bei der Ultrafiltration wird

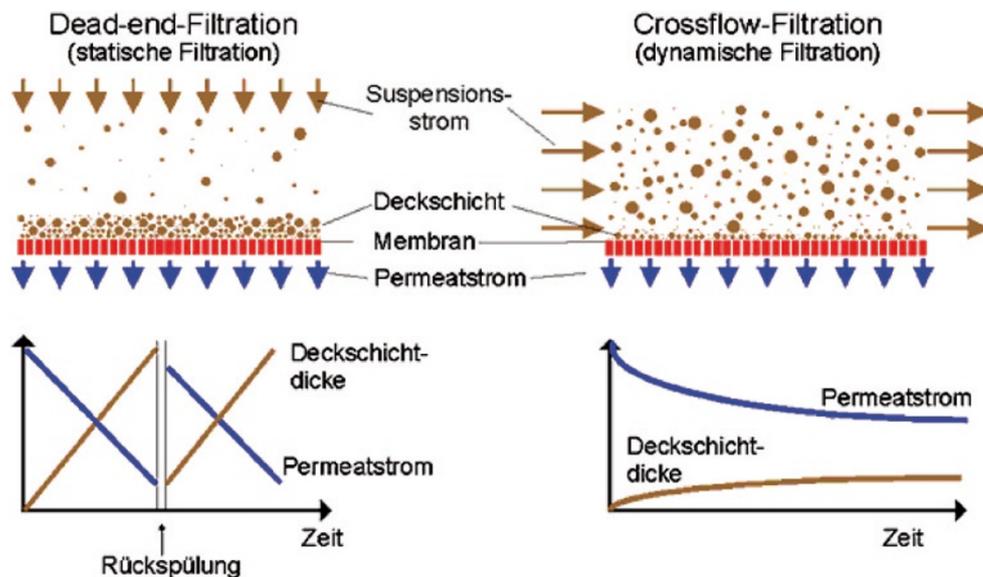
zwischen einem statischen Betrieb (Dead-End-Filtration) bzw. einem dynamischem Betrieb (Cross-Flow-Filtration) und dem Betrieb von getauchten Membranen unterschieden (Melin und Rautenbach 2007).

Bei der Dead-End-Filtration wird die Membran von dem aufzubereitenden Wasser orthogonal durchströmt (Abb. 3). Die abfiltrierten Stoffe sammeln sich auf der Membranoberfläche, weshalb die Membran in regelmäßigen Abständen gespült werden muss. Die wesentlichen Vorteile von diesem gegenüber anderen Verfahren sind der geringe Energieverbrauch und die vergleichsweise preisgünstige, kompakte Bauweise der Aufbereitungsanlagen.

Bei der Cross-Flow-Filtration wird die Membran von dem aufzubereitenden Wasser tangential durchströmt (siehe Abb. 3). Hier wird im Vergleich zur Dead-End-Filtration ein großes Wasservolumen durch eine Umwälzpumpe permanent im Kreis an der Membran vorbei geführt. Nur ein Teil des Wasserstroms filtrierte durch die Membran, während der Rest als Konzentrat in den Kanal eingeleitet wird. Diese Verluste werden von der Zuführpumpe ständig ergänzt. Durch die tangentielle Durchströmung werden Schwerkraft an der Membranoberfläche erzeugt, welche die abgetrennten Schmutzstoffe ständig in die Kernströmung zurückführen. Der Vorteil der Cross-Flow-Filtration ist, dass keine Aufbereitungsunterbrechungen zur Membranspülung notwendig sind. Nachteile sind z.B. lange Verweilzeiten des Wassers im System, hohe Energiekosten für den Betrieb der Umwälzpumpe und erhöhte Investitionskosten für zusätzliches Equipment.

Betriebserfahrungen haben gezeigt, dass die Cross-Flow-Filtration und die getauchten Membranen keine Vorteile gegenüber dem Dead-End-Betrieb haben. Demzufolge wird die Ultrafiltration, v. a. in großen Trinkwasseraufbereitungsanlagen, heute nur noch im Dead-End-Betrieb ausgeführt.

**Abb. 3** Dead-End- und Cross-Flow-Filtration (Quelle: www.memos-filtration.de, 1. 10. 2009)



#### 4 Betriebskontrolle durch die Überwachung der Partikelentfernung

Für die Überwachung der Rohwasserqualität, der Trinkwasserqualität und die Beurteilung der Aufbereitungsleistung werden speziell im WW Irsch arbeitstäglich chemische und mikrobiologische sowie monatliche limnologische Laboruntersuchungen mittels der gesetzlich geforderten Trübungs- und einer ergänzenden Partikelmessung durchgeführt. Da die Trinkwasserverordnung keine Grenzwerte für die Partikelanzahl fest schreibt, werden in verschiedenen Aufbereitungsanlagen je nach Interessenlage nur bestimmte Größenbereiche erfasst, z. B. der hygienisch relevante Größenbereich von 3–18 µm (Consonery et al. 1996).

##### 4.1 Trübungsmessung

Die Trübungsmessung wird in den meisten konventionellen Trinkwasseraufbereitungsanlagen zur Überwachung der Partikelentfernung verwendet. Sie hat sich im Labormaßstab sowie in der kontinuierlichen Überwachung durch ihre einfache Durchführbarkeit bewährt.

In sauberen, d. h. partikelarmen Wässern gehen erhöhte Trübungswerte zumeist mit erhöhten Partikelzahlen einher. In der Praxis hat sich jedoch gezeigt, dass niedrige Trübungswerte nicht zwingend auf eine optimale Partikelentfernung zurückzuführen sind.

##### 4.2 Partikelmessung

Die Partikelmessung gewinnt in der Betriebskontrolle und der Anlagenoptimierung im Trinkwasserbereich zunehmend an Bedeutung, weil sie im Vergleich zur Trübungsmessung

**Tab. 1** Bereiche für Partikelgröße und Partikelanzahl zur Bewertung des Partikelgehaltes eines aufbereiteten Wassers mit konventionellen Verfahren (aus DVGW-Studie, unveröffentlicht)

Partikelgrößenbereich	Partikel/ml	Partikel/ml	Partikel/ml
	Ausgezeichnet	Zufriedenstellend	Verbesserungswürdig
1–20 µm	<50	50–200	>200
2–20 µm	<10	10–40	>40
3–18 µm	<5	5–20	>20

eine empfindlichere Messmethode darstellt. Im Gegensatz zur Trübungsmessung, die Kolloide bzw. Partikel summarisch erfasst, werden bei der Partikelmessung Partikel im Messbereich 1 bis 100 µm größendifferenziert aufgezeichnet. Die Partikelzählung erlaubt diesbezüglich eine exaktere und differenzierte Erfassung der Wasserqualität, im Vergleich zur Trübungsmessung auch in Konzentrationsbereichen, in denen bei der Trübungsmessung bereits die Bestimmungsgrenze erreicht ist.

Die Partikelelimination wird häufig in logarithmierten Stufen (Faktor 10) angegeben. Dies ist der Grad der Verminderung des Partikelgehalts im aufbereiteten Wasser im Verhältnis zum Partikelgehalt des Rohwassers. Die Partikelelimination durch Schnellfilter wird v. a. durch die Filtergeschwindigkeit und die Flockungsmitteldosierung beeinflusst. In Tab. 1 sind Schwankungsbereiche der Partikelgröße und Partikelanzahl im aufbereiteten Wasser angegeben.

##### 4.3 Online und mobile Partikelmessung in WW Trier-Irsch

Neben den arbeitstäglich und monatlichen Laboruntersuchungen werden zusätzlich Online/Labor-Trübungsmes-

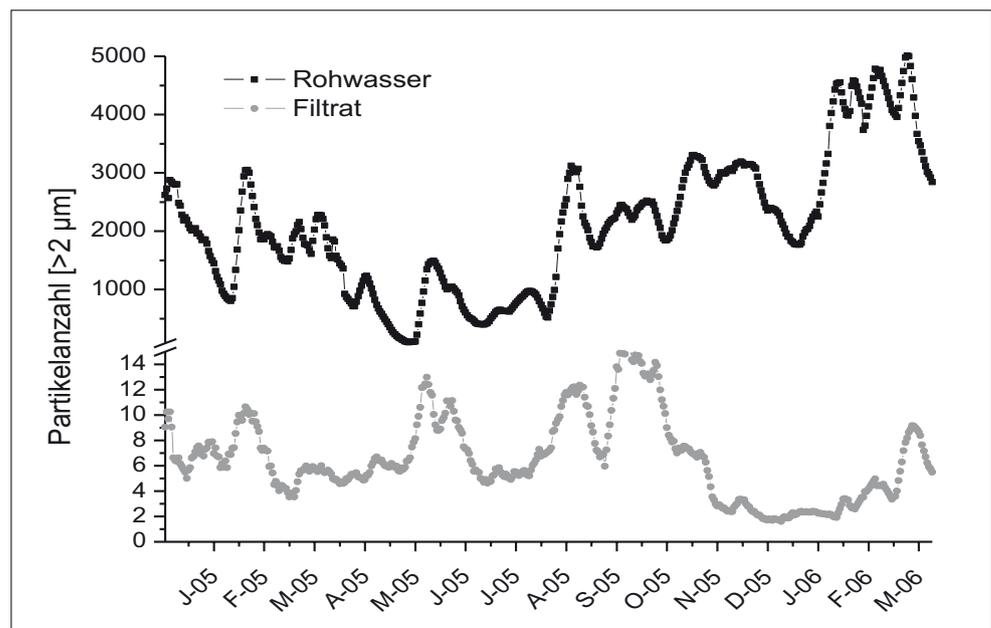


**Abb. 4** Online Partikel- und Trübungsmessgeräte und mobiles Partikelmessgerät im WW Irsch

sungen sowie darüber hinaus seit 2001 online und mobile Partikelmessungen durchgeführt. Neben der Rohwasserüberwachung befindet sich im Ablauf jedes Filters u. a. ein kontinuierliches Trübungs- und Partikelmessgerät (Abb. 4).

Die eingesetzten Partikelmessgeräte zur größenabhängigen Bestimmung ungelöster Stoffe in Roh- und Reinwasser nach Anzahl und Verteilung arbeiten nach dem Prinzip der Lichtabschattung. Das Wasser wird von einem internen Druck von bis zu 8,3 bar durch die Messeinheit getrieben. Eine Speziellaserdiode und ein hochempfindlicher Detektor bestimmen in einer Durchflusszelle durch Lichtblockung die Partikelzahl und -größe im Größenbereich von 1 bis 25  $\mu\text{m}$ .

**Abb. 5** Verlauf der Partikelanzahl im Rohwasser und im Filtrat des WW Irsch, Januar 2005 bis März 2006 (Gleitendes Mittel der Ordnung 7)



Das Messergebnis in [Partikel/ml] kann sowohl im kumulativen als auch im differenzierten Modus gemessen und archiviert werden.

## 5 Ergebnisse

Der Verlauf der Partikelanzahl im Rohwasser und im Filtrat nach Flockenfiltration des Wasserwerks Irsch von Januar 2005 bis März 2006 ist in Abb. 5 dargestellt. Da die sekundlich aufgezeichnete Partikelanzahl kurzfristig stark variiert, wurden die Messreihen mit einem gleitenden Mittel 7. Ordnung geglättet. Während die durchschnittliche Partikelanzahl/ml im Rohwasser von Januar 2005 bis März 2006 ca. 1750 betrug, wurden durchschnittlich 7 Partikel/ml im Filtrat im gleichen Zeitraum gemessen. Dies entspricht einer Eliminationsleistung von 2,4 log-Stufen (99%). Eine Anzahl von 7 Partikeln/ml für einen Partikelgrößenbereich  $>2\text{--}25\ \mu\text{m}$  entspricht einer ausgezeichneten Partikelelimination (Tab. 1).

Wie Abb. 5 zeigt, wurde die höchste Partikelanzahl im Rohwasser von Januar bis März 2006 gemessen. Diese Partikel sind vermutlich Schwebstoffe, die durch die winterlichen und frühjährlichen Hochwasserereignisse aus dem Einzugsgebiet v. a. aus der Wechselzone zwischen den Vorsperren und der Hauptsperrenmitte erodiert wurden. Schwebstoffe wurden sehr gut ausgeflockt, was die niedrigere Partikelanzahl im Filtrat im gleichen Zeitraum erklären lässt. Die Partikelanzahl/ml im Filtrat schwankt zwischen ca. 2 bis 14. Dies zeigt, dass die Partikelelimination wie die Phytoplanktonelimination nicht konstant ist.

Mit der Ultrafiltration wird eine erhebliche Verbesserung bezüglich der Partikelentfernung erreicht. Während

Filtrate aus konventionellen Flockenfiltrationsanlagen von ca. 10–30 Partikel/ml im Größenbereich 2–25 µm vorkommen, werden in Filtraten aus UF-Anlagen ca. 0,2–1,0 Partikel/ml (= Grundrauschen) gezählt. Lange Testmessungen mit einem mobilen Partikelmessgerät in der Pilotanlage im WW Irsch haben einen Mittelwert von 0,49 Partikeln pro ml (MIN = 0,08, MAX = 1,30) ergeben.

## Literatur

- Baldauf G (2001) Anforderungen an Filteranlagen zur Partikelentfernung dargestellt am Beispiel der Talsperrenwasseraufbereitung. In: Overath H, Höhn B, Ließfeld R, Dunemann L (Hrsg) Die neue Trinkwasserverordnung, Bd 33. IWW Rheinisch-westfälisches Institut für Wasserforschung Gemeinnützige GmbH, S 123–158
- Bunnemann W, Schulze H (2000) Anforderungen und Bewertung von Verfahren zur Aufbereitung von Talsperrenwasser zu Trinkwasser. In: Bewirtschaftung und Schutz der Talsperren. Güte und Aufbereitung von Talsperrenwasser, ATT-Schriftenreihe, Bd 3, S 297–309
- Clasen J (1994) Die Bedeutung biologischer Untersuchungen für die Steuerung und Überwachung von Aufbereitungsanlagen an Trinkwassertalsperren. In: Ketelaars HAM, Nienhuser AE, Hoehn E (Hrsg) Die Biologie der Trinkwasserversorgung aus Talsperren. ATT-Information, Academic Book Centre, De Lier, S 85–98
- Consonery PJ et al. (1996) Evaluating and optimizing surface water treatment plants. How good is good enough? AWWA Processings of Water Quality Technology Conference, Boston
- Gimbel R, Jekel M, Ließfeld R (2003) Wasseraufbereitung: Grundlagen und Verfahren. DVGW, Bd 6. Oldenbourg Industrieverlag, München
- Höll K (2002) Wasser: Nutzung im Kreislauf, Hygiene, Analyse und Bewertung. Walter de Gruyter, Berlin
- Melin T, Rautenbach R (2007) Membranverfahren: Grundlagen der Modul- und Anlagenauslegung, 3. Aufl. Springer
- Merkel G (2008) Technik der Trinkwasserversorgung: Praxisgrundlage für Führungskräfte. Oldenbourg Industrieverlag
- Niesel V et al. (2006) Ist das Auftreten von problematischen Phytoplanktonorganismen mit einem einfachen statistischen Modell (MOPs) vorhersehbar? Meeresbiolog Beitr 15:25–35
- Steidl G (2008) Trinkwasseruntersuchung. Amt für OÖ Landesregierung
- Wilhelm S (2008) Wasseraufbereitung: Chemie und chemische Verfahrenstechnik, 7. Aufl. Springer