

Ergebnisbericht

Optimierung bestehender Aufbereitungsanlagen für huminstoffreiche Wässer im Waldviertel

Pilotversuch in der Stadtgemeinde Heidenreichstein

Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau
Technische Universität Graz

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

Institut für Wasserwesen - Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik
Universität der Bundeswehr München

Graz, Wien, München im Juni 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 Hochstätger 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.

Größter Dank für die hervorragende Unterstützung und die ausgesprochen gute Zusammenarbeit gilt der Stadtgemeinde Heidenreichstein. Neben Bürgermeister Johann Pichler ist v.a. Stadtamtsdirektor Mag. Bernhard Klug für seinen Einsatz zu danken. Hervorzuheben ist der unermüdliche Einsatz des Wassermeisters Martin Tauber ohne den die Projektdurchführung in dieser Qualität nicht möglich gewesen wäre.

Gedankt wird Herrn Armin Majer, welcher im Rahmen seiner Diplomarbeit an der BOKU Wien einen Teil der Vor-Ort-Untersuchungen durchgeführt hat.

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.

Der Fa. ITT, Herrn Ing. Daniel Treiber und Herrn Josef Sackl, wird für die leihweise zur Verfügung gestellte UV-Desinfektionsanlage gedankt.

Dank gilt auch Herrn Dipl.-Ing. Markus Rieser für die im Rahmen seiner Masterarbeit an der TU Graz durchgeführte Wirtschaftlichkeitsuntersuchung.

Abschließend wird auch Herrn Dipl.-HTL-Ing. Harald Gerhold und Herrn Roland Fuchs von der TU Graz für ihren außerordentlichen Einsatz im Projekt sowie den Laborteams der TU Graz und der Universität der Bundeswehr München für die Unterstützung bei den Filterversuchen gedankt.

Inhaltsverzeichnis

1	ZUSAMMENFASSUNG	4
2	AUSGANGSLAGE UND ZIELSETZUNG	6
2.1	ROHWASSER BEDINGTE PROBLEME DER WASSERVERSORGUNG IM WALDVIERTEL	6
2.2	PROJEKTZIELE	7
2.3	IM WALDVIERTEL ANGEWANDTE AUFBEREITUNGSKONZEPTE	7
2.3.1	<i>Wasserwerk Schrems</i>	8
2.3.2	<i>Wasserwerk Liebnitz (EVN Wasser)</i>	8
2.3.3	<i>Wasserwerk Unterlembach (EVN Wasser)</i>	9
2.3.4	<i>Aufbereitung Limpfings (EVN Wasser)</i>	10
2.3.5	<i>Wasserwerk Gmünd</i>	11
2.3.6	<i>AGRANA Brauchwasseraufbereitung</i>	11
2.3.7	<i>Wirkungsgrade anderer Aufbereitungsanlagen</i>	11
3	PROJEKTABLAUF	13
4	UMBAUARBEITEN AN BESTEHENDER WASSERAUFBEREITUNGSANLAGE	15
4.1	WASSERWERK	15
4.2	HOCHBEHÄLTER	16
5	VERFAHRENSTECHNISCHE UNTERSUCHUNGEN	17
5.1	CHARAKTERISIERUNG DES ROHWASSERS	17
5.2	AUFBEREITUNGSKONZEPT HEIDENREICHSTEIN	20
5.3	BETRIEBSWEISEN DER ANLAGE	25
5.4	BELÜFTUNG ÜBER RIESLER	27
5.5	FLOCKENFILTRATION UND ENTEISENUNG, FILTER I	27
5.5.1	<i>Flockungsversuche</i>	30
5.5.2	<i>Filtermaterial</i>	34
5.6	ENTMANGANUNG, FILTER II	34
5.7	ENTSÄUERUNG, FILTER III	35
5.8	ULTRAFILTRATION (UF)	35
5.9	UV-DESINFEKTION	43
5.10	ERGEBNISSE DER CHEMISCH-PHYSIKALISCHEN UNTERSUCHUNGEN	45
6	MIKROBIOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN	51
6.1	ANGEWANDTE UNTERSUCHUNGSMETHODEN	51
6.2	ERGEBNISSE	51
7	WIRTSCHAFTLICHKEITSUNTERSUCHUNG	58
7.1	KAPITALKOSTEN (INVESTITIONSKOSTEN)	59
7.2	BETRIEBSKOSTEN	61
7.3	GESAMTKOSTENSCHÄTZUNG UND VARIANTENVERGLEICH	62
8	ERGEBNISDISKUSSION UND AUSBLICK	64
	LITERATUR	69
	VERÖFFENTLICHUNGEN IM RAHMEN DES PROJEKTES	70
	ANHANG	

1 Zusammenfassung

Im gegenständlichen Forschungsprojekt wurde von einem interdisziplinären Team von drei Universitäten (TU Graz, BOKU Wien und Universität der Bundeswehr München) Möglichkeiten zur Verbesserung der hygienischen Sicherheit bei bestehenden Wasseraufbereitungsanlagen im Waldviertel untersucht. Unter sehr guten Rahmenbedingungen konnten im derzeit nicht für die Versorgung genutzten Wasserwerk der Stadtgemeinde Heidenreichstein wichtige Erkenntnisse gewonnen werden.

Generell stellt die Aufbereitung von typischem Waldviertler Wasser eine große Herausforderung dar. Diese Wässer sind durch einen hohen Huminstoffgehalt sowie hohen Eisen und Mangangehalten gekennzeichnet. Durch die Nutzung von Uferfiltrat ist auch ein Einfluss von Oberflächenwasser gegeben und kann die Rohwasserqualität in Abhängigkeit der hydrologischen Randbedingungen stark schwanken.

Da Eisen und Mangan im Rohwasser in teilweiser oxidiert Form vorliegen und Komplexe mit Huminstoffen bilden, sind herkömmliche Enteisungsfilter nur bedingt erfolgreich, da das komplex gebundene Eisen nicht abgebaut wird. Es bedarf daher weiterreichender Verfahren um diese Komplexe aus dem Wasser zu entfernen. Ein mögliches Verfahren ist die Flockenfiltration, wo durch Zugabe von Flockungsmittel erreicht wird, dass die Komplexe in Flocken eingebunden und mit diesen dann abgeschieden werden.

Die Anwendung von Ozon, um die Komplexe aufzubrechen, ist oftmals nicht möglich, da im Wasser DMS (Dimethylsulfamid), ein Rückstand des Pflanzenschutzmittels Tolyfluamid, vorhanden sein kann. Bei einer Ozonbehandlung besteht die Gefahr, dass sich gesundheitsschädliche Nebenprodukte bilden. Daher wurde im Projekt das Verfahren der Flockenfiltration untersucht.

Das im Projekt angewandte Aufbereitungskonzept beinhaltete folgende Aufbereitungsschritte:

- Belüftung des Rohwassers über einen Riesler
- Flockenfiltration mittels Fe(III)-chlorid im Sandfilter
- Entmangnung in Sandfilter
- Entsäuerung über Akdolitfilter
- Ultrafiltration
- UV-Desinfektion

Ein ganz wesentlicher Teil der Untersuchungen war die Untersuchung der Einsetzbarkeit des Membranverfahrens der Ultrafiltration unter typischen Rahmenbedingungen des Waldviertels. Für die Aufrechterhaltung einer hohen Permeabilität der eingesetzten Ultrafiltrationsmembranen müssen die Vorstufen der Aufbereitung bereits entsprechende Wirkungsgrade hinsichtlich der Entfernung von TOC (Huminstoffe), Trübung, Eisen und Mangan aufweisen. Allein durch die Membran ist keine ausreichende TOC Entfernung möglich. Zudem wären beim Betrieb der Membran mit einem Wasser mit hohem TOC-Gehalt sehr häufige chemische Reinigungen erforderlich, die zu deutlich höheren Kosten führen würden.

Im Zuge des Projektes ist es gelungen, einen stabilen Betrieb der oben genannten Verfahrenskombination, inklusive der Ultrafiltrationsanlage, zu implementieren und die Produktion von einwandfreiem Trinkwasser zu ermöglichen. Die angewandte Verfahrenskombination ist geeignet, eine sichere Aufbereitung von oberflächenwasserbeeinflussten Wässern zu gewährleisten. Durch den Einsatz von Ultrafiltrationsmembranen im Ablauf der Flockenfilter wird die Sicherheit bezüglich Partikel und Keimrückhalt deutlich verbessert. Auch bei Störungen im Betrieb der Flockenfilter stellen die Membranen eine Barriere für Flocken und Mikroorganismen dar. Diese Erhöhung der Sicherheit ist insbesondere bei schwankender Rohwasserqualität und kleinen, nicht ständig besetzten Anlagen von Bedeutung.

Erfahrungen aus Heidenreichstein und aus einer Vielzahl an Anlagen in Bayern und Baden-Württemberg zeigen, dass der technische Betrieb von Ultrafiltrationsanlagen durch eine weitgehende Automatisierung auch bei kleinen Wasserversorgungsunternehmen möglich ist.

Neben der Untersuchung der Aufbereitungsprozesse an sich, standen auch eine Transportleitung zum Hochbehälter und eine Hochbehälterkammer für Untersuchungen zur Verfügung. Mikrobiologische Analysen geben den Hinweis darauf, dass insbesondere bei Ablagerungen im Rohrnetz besonderes Augenmerk auf den Betrieb der Leitungen zu legen ist. Da diese Aspekte im gegenständlichen Projekt nur randlich behandelt wurden, sind allerdings keine konkreten Aussagen dazu möglich.

Neben den technischen Untersuchungen wurden auch wirtschaftliche Aspekte insbesondere für die Anwendung der gewählten Verfahrenskombination bei kleinen und mittleren Aufbereitungsanlagen untersucht. Für Kleinstanlagen mit einer Auslegungswassermenge bis zu 2 l/s sind für die untersuchte Verfahrenskombination Aufbereitungskosten von über 1,00 €/m³ zu erwarten, was in der Regel nicht wirtschaftlich ist. Für Anlagen mit einer Auslegungswassermenge von 6 l/s bzw. 4 l/s sind Kosten in der Höhe von 0,50 bis 0,65 €/m³ zu erwarten. Für größere Anlagen mit einer Aufbereitungswassermenge von 15 l/s betragen die geschätzten Aufbereitungskosten ca. 0,40 €/m³. Der Kostenanteil der Ultrafiltration an den Gesamtkosten beträgt jeweils ca. 20 %.

Zusätzlich zu den in diesem Bericht dargestellten Ergebnissen wurde im Rahmen dieses Projektes eine Broschüre zum Themenbereich „Filteraufbau und -betrieb beim Verfahren der Flockenfiltration“ erstellt. Ziel dieser Broschüre ist es, die Erfahrungen aus dem gegenständlichen Projekt an Betreiber von Wasseraufbereitungsanlagen, an Planer sowie an Behördenvertreter weiterzugeben. Auf Basis der Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt in Heidenreichstein werden darin methodische Aspekte zu Filteraufbau und -betrieb erläutert. Des Weiteren wird auf bestehende Richtlinien und Normen verwiesen.

2 Ausgangslage und Zielsetzung

2.1 Rohwasser bedingte Probleme der Wasserversorgung im Waldviertel

Im nördlichen Waldviertel gibt es zahlreiche Wassergewinnungsanlagen deren Wasser durch niedrigen pH-Wert, hohen Eisen- und Mangangehalt, hohe Oxidierbarkeit, hohen SAK (Spektraler Absorptionskoeffizient) und teilweise hohen Huminstoffgehalt gekennzeichnet sind. Zudem kommt es häufig zu Beeinflussungen durch Oberflächenwässer, was immer wieder hohe mikrobiologische Belastungen nach sich zieht und die Desinfektion des aufbereiteten Wassers erfordert. Als gängiges Desinfektionsverfahren kommt bislang häufig eine Chlordioxid-Dosierung zum Einsatz.

Durch die Behandlung der Wässer mit Chlordioxid besteht die Gefahr, dass sich aus den Huminstoffen Substrate für Nachverkeimungen im Rohrnetz bilden. Als Desinfektionsnebenprodukt kann auch als toxisch anzusehendes Chlorit entstehen. Zudem können Parasiten, wie z.B. Cryptosporidien und Giardien, nur über eine Filtrationsstufe eliminiert werden. Diese Problematik ist insbesondere bei Einfluss von Oberflächenwasser relevant.

Im gegenständlichen Projektvorhaben wurden an derzeit nicht in Betrieb befindlichen Teilen der Wasserversorgungsanlage Heidenreichstein (siehe Abbildung 1) Optimierungsmöglichkeiten von bestehenden Aufbereitungsanlagen für solche Wässer unter anderem durch den Einsatz der Ultrafiltration in technischer und betriebswirtschaftlicher Sicht untersucht.

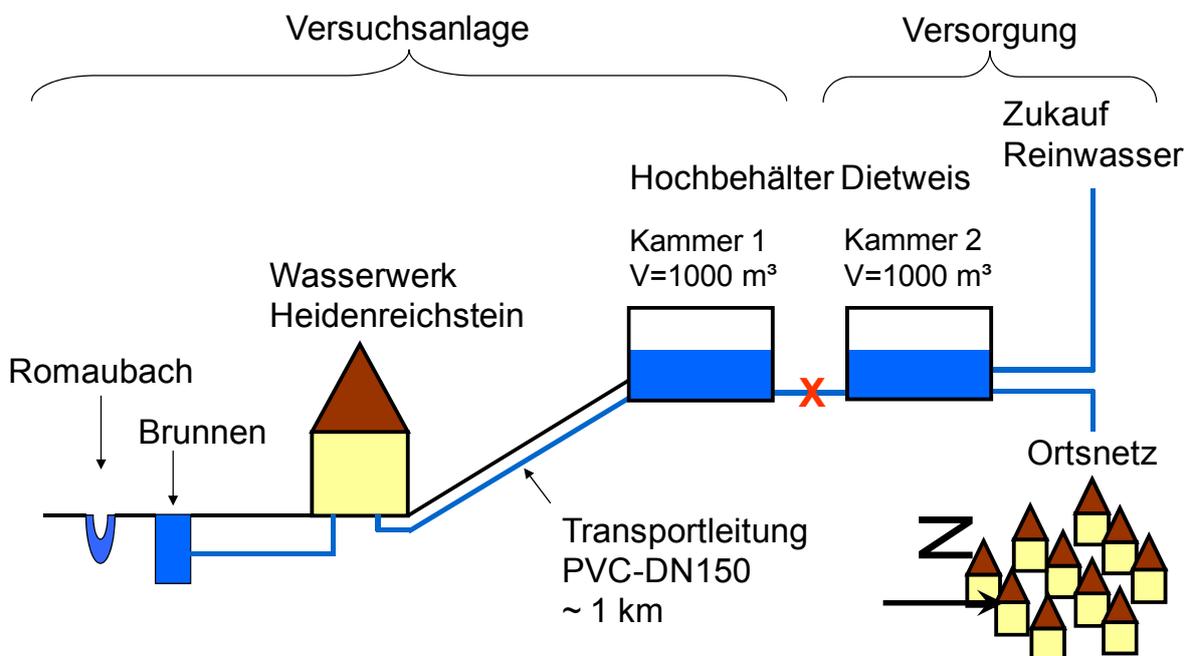


Abbildung 1: Schema Versuchsanlage

2.2 Projektziele

Um das Aufbereitungsziel eines einwandfreien Trinkwassers zu erreichen, sind neben der Entfernung von Eisen und Mangan auch die Entfernung von Trübstoffen und die Reduktion des Huminstoffgehaltes zur Erhöhung der UV-Durchlässigkeit und der Verminderung der Verblockungsneigung der Membran der Ultrafiltrationsanlage sowie die Anhebung des pH-Wertes in einer Entsäuerungsstufe erforderlich. Die Ultrafiltration dient im Wesentlichen als Sicherheitsstufe hinsichtlich eventuell aufgrund des Oberflächenwassereinflusses vorhandener Parasiten, womit die hygienische Sicherheit verbessert werden soll.

Das Verfahrensziel sollte durch die Kombination konventioneller Sandfilter mit dem Verfahren der Flockenfiltration erreicht werden. Nach einer Filtration durch die Ultrafiltrationsanlage sollte das Verfahren der UV-Desinfektion getestet werden.

Im Zuge des Projektes sollten v. a. folgende Punkte geklärt werden:

- Was ist die optimale Abfolge der erforderlichen Aufbereitungsschritte?
- Welcher Wirkungsgrad kann bei der Huminstoff- bzw. TOC-Entfernung erzielt werden?
- Werden mittels Fällung bzw. Flockung in Kombination mit Ultrafiltration der SAK 254 soweit gesenkt bzw. die UV-Durchlässigkeit so weit erhöht, dass anstatt der Chlordioxid-Dosierung eine Desinfektion mittels UV-Bestrahlung erfolgen kann?
- Werden mittels Ultrafiltration Keime ausreichend zurückgehalten, sodass abschließend keine Desinfektion bzw. nur eine Sicherheitsdesinfektion erfolgen muss?
- Ist die Methode der Ultrafiltration zur Umsetzung bei der Vielzahl an relativ kleinen Wasserversorgungsanlagen im Waldviertel geeignet und welche Rahmenbedingungen müssen dafür erfüllt sein?
- Welche Betriebskosten entstehen im laufenden Probetrieb und welche Investitions- bzw. Betriebskosten sind im großtechnischen Einsatz zu erwarten?

Dieser Bericht gibt einen Überblick über die durchgeführten Projektschritte und zeigt die Ergebnisse der Untersuchungen auf.

2.3 Im Waldviertel angewandte Aufbereitungskonzepte

Bevor auf die Untersuchungen und die Ergebnisse im Rahmen des Projektes in Heidenreichstein eingegangen wird, gibt dieses Kapitel einen Überblick über die Situation im Waldviertel. Es werden die Aufbereitungskonzepte anderer Wasseraufbereitungsanlagen im Waldviertel, welche Wasser unter ähnlichen Rahmenbedingungen wie in Heidenreichstein nutzen, dargestellt. Die Daten dazu wurden von der Trinkwasseraufsicht Gmünd zur Verfügung gestellt.

Die Vielfalt an unterschiedlichen Lösungen unterstreicht die geschilderte schwierige Situation bezüglich der Rohwasserqualität. Die erreichten Wirkungsgrade der be-

schriebenen Aufbereitungsanlagen dienen auch dazu, die im Projekt in Heidenreichstein erreichten Werte entsprechend einordnen und interpretieren zu können.

2.3.1 Wasserwerk Schrems

Die Rohwasserqualität des im Wasserwerk Schrems aufbereiteten Wassers ähnelt jenem in Heidenreichstein (niedriger pH-Wert, hoher Eisen- und Mangangehalt, Huminstoffgehalt, geringe UV-Durchlässigkeit). Im Jahr 2006 wurden im Zuge einer Diplomarbeit (FRENZL, 2006) in Kooperation mit der Trinkwasseraufsicht Gmünd Optimierungspotentiale untersucht.

Nach FRENZL (2006) sieht das Aufbereitungskonzept im Wasserwerk Schrems folgendermaßen aus:

Schritt 1: Sauerstoffanreicherung (Belüftung)

In einem Belüftungsturm wird das Rohwasser über einen Riesler geführt, wobei zusätzlich Luft eingeblasen wird (Austreiben von CO₂, pH-Anhebung). Danach erfolgt eine Ozonierung (Oxidation von Mangan, Cracken der Huminstoffe / Organische Substanzen). Abschließend erfolgt in diesem Prozessschritt eine Dosierung von Aluminiumsulfat (zur Eisen- und Huminstoffentfernung).

Schritt 2: Filtration

Die Mehrschichtfilter haben an oberster Stelle eine Hydroanthrazitschicht. Neben der Entmanganung dienen die Mehrschichtfilter auch der Abtrennung der Aluminium- und Eisenflocken.

Schritt 3: Endstufe

In diesem Prozessschritt erfolgt zuerst eine Entsäuerung über einen Akdolit-Filter und dann eine Filtration über Aktivkohle zur Entfernung von Ozon und Huminstoffen. Abschließend erfolgt eine UV-Desinfektion.

2.3.2 Wasserwerk Liebnitz (EVN Wasser)

Das Wasser aus dem Brunnenfeld Liebnitz gelangt in einer gemeinsamen Leitung zur Aufbereitung Liebnitz. Der erste Aufbereitungsschritt ist eine Oxidation mittels Ozon. Nach dem Austritt aus dem Reaktionsbehälter wird Polyaluminiumchlorid als Flockungsmittel zudosiert. Nach Zudosierung wird das Wasser in zwei Straßen über einen Enteisungs- und Entmanganungsfilter geführt. Unmittelbar nach diesen Filtern gelangt das Wasser in einen Aktivkohlefilter. Nach Vereinigung der beiden Straßen erfolgt die Zudosierung von Chlordioxid. Von hier aus gelangt das Wasser in den Tiefbehälter Liebnitz, von welchem es ins Netz gepumpt wird.

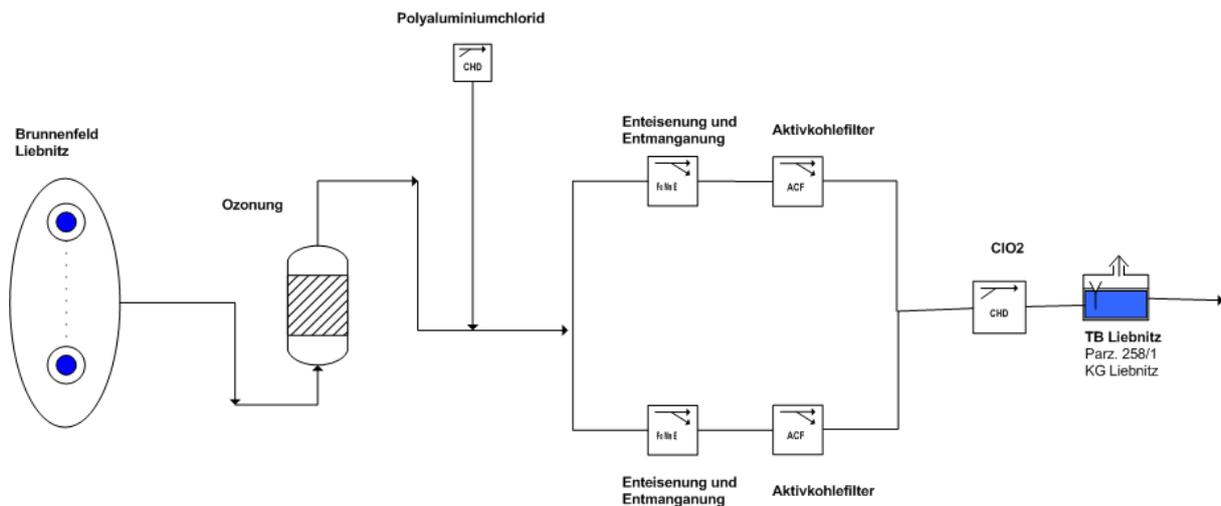


Abbildung 2: Schema Aufbereitungsanlage Liebnitz (Quelle: Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, Abteilung Umwelthygiene – Trinkwasseraufsicht)

2.3.3 Wasserwerk Unterlembach (EVN Wasser)

Das erschotete Wasser aus dem Brunnenfeld Unserfrau-Altweittra gelangt über zwei Sammelleitungen zur Aufbereitung Unterlembach. Dabei werden die Brunnen 3, 4, 5, 6 und 12 in eine gemeinsame Leitung zusammengefasst („eisenarme Brunnen“). Die restlichen Brunnen des Brunnenfeldes gelangen ebenfalls über eine gemeinsame Sammelleitung in die Aufbereitung Unterlembach. Dabei besteht die Möglichkeit, die „eisenarmen Brunnen“ unter Umgehung der KSU-Reaktoren direkt in den Tiefbehälter Zwischenbecken einzuspeisen. Laut Aussage des Betriebsleiters Herrn Franz Schwingenschlögl wird diese Möglichkeit jedoch seit Jahren nicht mehr genutzt. Es gelangt derzeit das Mischwasser aller 15 Brunnen nach Zudosierung von Kalkmilch zur pH-Wert-Anhebung und Erreichung des Calcit-Sättigungsindex und nach Zudosierung von FeCl_3 als Flockungsmittel nach Aufteilung in zwei Straßen in die beiden KSU-Reaktoren. Nach Flockung und Sedimentation wird das Wasser in einer gemeinsamen Leitung in den Tiefbehälter Zwischenbecken geleitet. Vom Tiefbehälter Zwischenbecken gelangt das Wasser wiederum in zwei Straßen nach Zugabe von Ozon in die Oxidationsreaktionskessel (Ozonung). Unmittelbar nach den Reaktionsbehältern werden die Straßen in eine gemeinsame Leitung zusammengefasst (Vermischung). Danach folgen wieder eine Aufteilung in zwei Straßen und der Eintritt in die Mehrschichtfilter (Enteisung und Entmanganung) und anschließend in die beiden Aktivkohlefilter. Nach diesen gelangt das Mischwasser aus beiden Straßen nach der Chlorung (Chlordioxidanlage Unterlembach) in den Tiefbehälter Reinwasser, von wo es ins Netz gepumpt wird (Hochbehälter Eichberg).

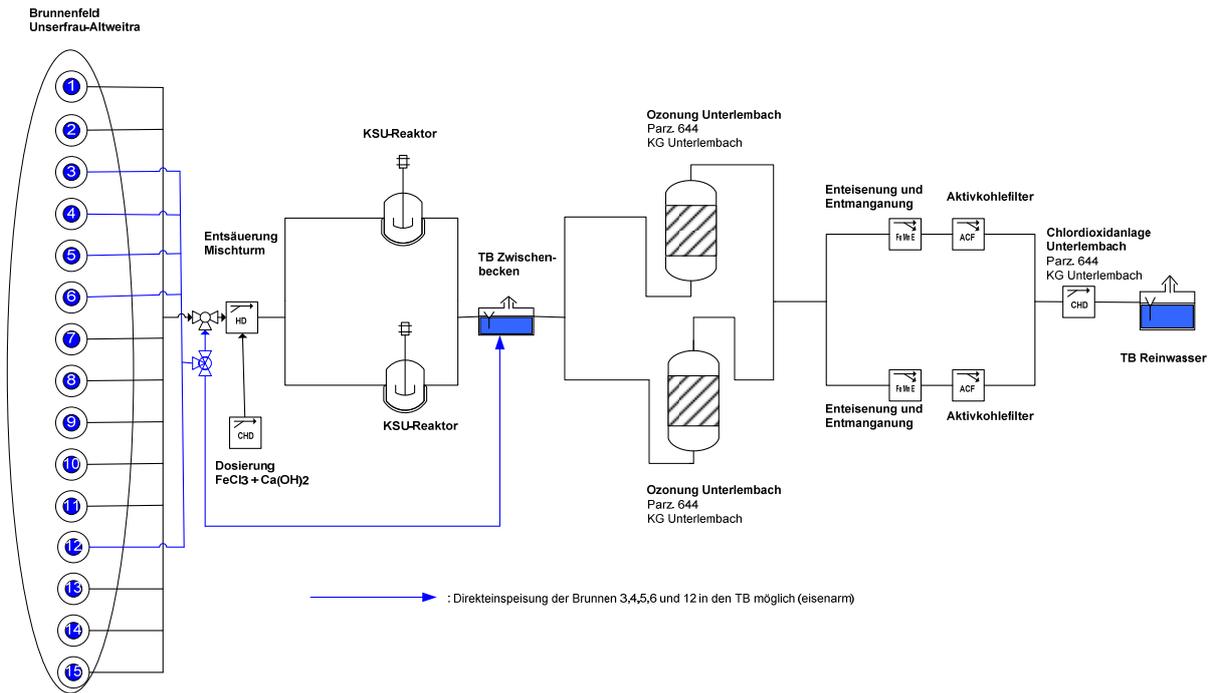


Abbildung 3: Schema Aufbereitungsanlage Unterlembach (Quelle: Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, Abteilung Umwelthygiene – Trinkwasseraufsicht)

2.3.4 Aufbereitung Limpfings (EVN Wasser)

Die Aufbereitung Limpfings ist in einem Gebäude direkt über dem Tiefbehälter Limpfings angebracht. Das Mischwasser der Brunnen 1 bis 4 gelangt mittels Unterwasserpumpen ins Aufbereitungsgebäude, wo mit einem Injektor Luft zugeführt wird (Belüftung). Nach der Belüftung teilt sich der Wasserstrom in zwei Straßen auf, die beide über einen Enteisungs- und Entmanganungsmehrschichtfilter laufen. Nach Enteisung und Entmanganung wird onlinegesteuert Chlordioxid zudosiert. Als Reaktionsbehälter dient der Tiefbehälter Limpfings.

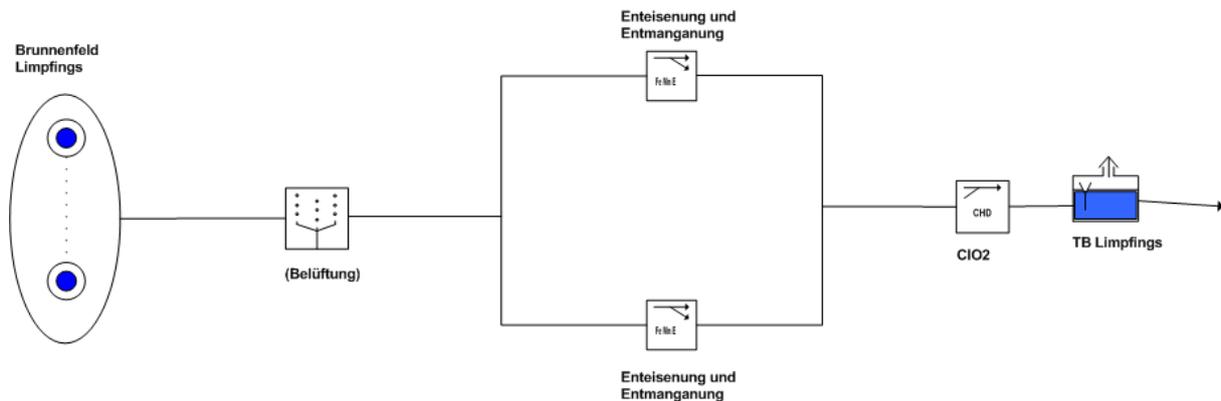


Abbildung 4: Schema Aufbereitungsanlage Limpfings (Quelle: Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, Abteilung Umwelthygiene – Trinkwasseraufsicht)

2.3.5 Wasserwerk Gmünd

Im Wasserwerk Gmünd wird das Rohwasser unter Druck, d.h. direkt in Leitung, belüftet. Anschließend erfolgt eine PACl-Dosierung. Die Filtration erfolgt über zwei in Serie geschaltene Entsäuerungsfilter. Danach folgt ein Entmanganungsfilter. Abschließend wird das Wasser über einen Aktivkohlefilter geführt und vor der Abgabe ins Rohrnetz einer UV-Desinfektion unterzogen.

2.3.6 AGRANA Brauchwasseraufbereitung

Die Firma AGRANA in Gmünd betreibt eine Anlage zur Brauchwasseraufbereitung. Dabei wird in einem ersten Reaktionsbecken FeCl_3 dosiert (Dosiermenge ca. 0,07 ml/l) und mit Kalkhydrat ein pH-Wert von 6,5 bis 7,0 eingestellt.

In einem zweiten Reaktionsbecken wird als Flockungshilfsmittel das Polymer Praestol 2540 TR (0,2%-ig, Dosierung ca. 0,1 ml/l) zugesetzt. Die Abscheidung der Flocken erfolgt in einem KSU-Reaktor mit einem Volumen von 400 m³. Der Wirkungsgrad hinsichtlich TOC-Entfernung liegt insgesamt bei ca. 50%.

Anschließend erfolgen eine Filtration in einem Langsandsandfilter und danach noch eine Ozonisierung.

2.3.7 Wirkungsgrade anderer Aufbereitungsanlagen

Auf Basis von Analysendaten, welche von der Trinkwasseraufsicht Gmünd für die zuvor beschriebenen Aufbereitungsanlagen zu Verfügung gestellt wurden die Wirkungsgrade hinsichtlich der Entfernung von Eisen und Mangan bzw. hinsichtlich der Oxidierbarkeit (KMnO_4 -Verbrauch) berechnet. Betreffend Trübung sowie SAK 254 gibt es keine regelmäßigen Untersuchungen aus denen sich ein Wirkungsgrad ableiten lässt. Die Wirkungsgrade beziehen sich auf den Vergleich Rohwasser – Reinwasser und umfassen somit alle kombinierten Aufbereitungsschritte.

Die Anlagen Gmünd, Unterlembach und Liebnitz erreichen sowohl bei der Enteisung, wie auch bei der Entmanganung eine praktisch 100 %-ige Wirkung, während die Anlage der Agrana zwar eine vollständige Entmanganung erreicht, aber hinsichtlich Enteisung einen Wirkungsgrad von nur ca. 82 % erreicht.

Die Aufbereitung von Schrems erreicht bei der Enteisung sowie bei der Entmanganung einen Wirkungsgrad von 93 % (Fe) bzw. 93,5 % (Mn). In Limpfings wird bei der Entmanganung ein Wirkungsgrad von 100 % erreicht und bei der Enteisung von ca. 97 %.

Betreffend Oxidierbarkeit, welche über den Kalium-Permanganat-Verbrauch (KMnO_4) erfasst wird, erreicht die Anlage der Agrana einen Wirkungsgrad von fast 70 % während die anderen Anlagen Wirkungsgrade von nur 25 bis 40 % erreichen. Der bessere Wirkungsgrad der Fa. Agrana hinsichtlich Oxidierbarkeit könnte an der relativ langen Reaktionszeit des Flockungsmittels im KSU-Reaktor liegen.

Als Fazit aus der Beschreibung einiger im Waldviertel angewandter Aufbereitungskonzepte wird festgestellt, dass nicht für alle wesentlichen Parameter ausreichende Datensätze für eine Abschätzung des Wirkungsgrades vorliegen. Insbesondere für TOC, Trübung und SAK254 liegen nur wenige Einzelmessungen und keine

durchgehenden Datenreihen über alle Aufbereitungsschritte vom Rohwasser bis zum Reinwasser vor.

Hinsichtlich Enteisenung und Entmanganung weisen die beschriebenen Anlagen grundsätzlich zufriedenstellende Wirkungsgrade auf, allerdings sind die Wirkungsgrade bei der DOC-Entfernung meist unzureichend. Der verbleibende DOC-Gehalt stellt ein Potenzial für Nachverkeimungen dar. Erfahrungen aus der Vergangenheit zeigen, dass es immer wieder zu Nachverkeimungen im Rohrnetz kommen kann.

3 Projektablauf

Der Projektstart mit mündlicher Beauftragung von Seiten des Landes Niederösterreich erfolgte im Zuge eines ersten Workshops am 24.5. und 25.5.2007. Bis Ende Juni 2007 wurden die Planungen der Umbauarbeiten abgeschlossen und Angebote über die Installationsarbeiten eingeholt. Im Juli 2007 erfolgte die Vergabe der Installationsarbeiten an das Raiffeisenlagerhaus Gmünd. Die Planungen und Umbauarbeiten wurden von der Fa. Kamp (Herr Eder) unterstützt.

Die wichtigsten Umbauarbeiten konnten bis Mitte September 2007 abgeschlossen werden. Einzelne Anlagenteile, wie z.B. die Pumpe, die in den Hochbehälter fördert, wurden aufgrund langer Lieferfristen erst später realisiert.

Mitte September 2007 begann die Einarbeitungsphase der beiden Sandfilter. Die Einarbeitungsphase wurde durch ein intensives Untersuchungsprogramm begleitet. Die Einarbeitungsphase der Filter dauerte etwa 2 Monate, sodass Ende November 2007 die Ultrafiltrationsanlage erstmals in Betrieb genommen werden konnte.

Am 6. Dezember 2007 fand eine Zwischenpräsentation im Stadtamt Heidenreichstein sowie eine Besichtigung des Wasserwerkes statt. Es waren Vertreter von Seiten des Auftraggebers Land Niederösterreich, der Stadtgemeinde Heidenreichstein, des Projektteams sowie einige weitere interessierte Personen (Fa. Kamp, BDL - Büro Dr. Lengyel, Fa. MKE, RLH Gmünd) anwesend.

Im Dezember 2007 wurde mit der Durchführung von Flockungsversuchen begonnen. Diese Versuche wurden im Jänner und Februar 2008 intensiviert, nachdem die Ultrafiltrationsanlage über die Weihnachtsfeiertage 2007 aufgrund der abnehmenden Permeabilität außer Betrieb genommen werden musste.

Mit der Implementierung einer Flockenfiltration (Flockungsmittel Fe-III-Chlorid) Mitte Februar 2008 kam es zu Problemen beim Rückspülen der Filter, welche auf das eingesetzte Filtermaterial zurückzuführen waren. Daraufhin wurden im Zeitraum von März 2008 bis Mai 2008 intensive Versuche zum Filtermaterial und zur Flockenfiltration, sowohl im Labor (TU Graz), wie auch im Wasserwerk Heidenreichstein durchgeführt.

Im Zuge einer weiteren Zwischenpräsentation am 21.5.2008 in St. Pölten wurden die Ergebnisse dieser Untersuchungen und Lösungsvorschläge präsentiert. Anfang Juni 2008 erfolgte der Tausch des Filtermaterials in Filter I und danach eine Einarbeitungszeit von ca. 3 Wochen. Mit Ende Juni konnte die Ultrafiltration dauerhaft in Betrieb genommen werden. In den Monaten Juli bis Oktober 2008 erfolgte eine laufende Optimierung der Flockenfiltration sowie beim Betrieb der Ultrafiltration. Ab Mitte Oktober 2008 ging eine UV-Desinfektions-Leihanlage der Fa. ITT in Betrieb, womit auch dieses Verfahren für fast drei Monate getestet werden konnte.

Im Zeitraum November bis Anfang Jänner konnte die gesamte Anlage stabil betrieben werden. Am 09.01.2009 wurden die Versuchsanlage (Ultrafiltration, Messtechnik, UV-Desinfektion) weitgehend abgebaut und die Vor-Ort-Versuche beendet. Ebenso erfolgte am 09.01.2009 eine Besichtigung durch Vertreter des Stadtrates der Stadtgemeinde Heidenreichstein.

In den Monaten Jänner bis Juni 2009 wurde die Broschüre erstellt und der Ergebnisbericht verfasst. Die Präsentation der Projektergebnisse erfolgte am 2.4.2009 in St. Pölten (Tabelle 1).

Tabelle 1: Projektzeitplan

Aufgaben	bis Mai 07	Jun 07	Jul 07	Aug 07	Sep 07	Okt 07	Nov 07	Dez 07	Jan.08	Feb 08	Mrz 08	Apr 08	Mai 08
Projektvorbereitung													
Technische Planung Umbau													
Umbau													
Einarbeitungszeit Filter													
Ultrafiltration-Pilotversuch													
Intensiv Untersuchungs-													
Routine Untersuchungs-													
Zwischenbericht													
Zwischen- und Endpräsentationen													
Endbericht und Broschüre													

Aufgaben	Jun 08	Jul 08	Aug 08	Sep 08	Okt 08	Nov 08	Dez 08	Jan 09	Feb 09	Mrz 09	Apr 09	Mai 09	Jun 09
Projektvorbereitung													
Technische Planung Umbau													
Umbau													
Einarbeitungszeit Filter													
Ultrafiltration-Pilotversuch													
Intensiv Untersuchungs-													
Routine Untersuchungs-													
Zwischenbericht													
Zwischen- und Endpräsentationen													
Endbericht und Broschüre													

4 Umbauarbeiten an bestehender Wasseraufbereitungsanlage

Vor Beginn der Versuchsdurchführung war eine Adaptierung der bestehenden Wasseraufbereitungsanlage erforderlich. Einige Komponenten des Wasserwerkes waren aufgrund eines Hochwasserschadens vom Jahr 2006 defekt und mussten erneuert werden. Auch im Hochbehälter waren kleine Änderungen erforderlich, um Wasser zum Spülen der Filter vom Hochbehälter entnehmen zu können.

Im Folgenden sind die wesentlichsten Umbaumaßnahmen beschrieben.

4.1 Wasserwerk

Die wesentlichste Änderung stellte der Umbau der Aufbereitungsanlage von zwei parallel beschickten Enteisungs-/Entmanganungsfiltern sowie zwei ebenfalls parallel beschickten Entsäuerungsfilter auf eine in Serie geschaltete Filterabfolge dar. (Anm.: Die ursprüngliche Aufbereitungsanlage war für 25 l/s ausgelegt, diese Durchflussmenge wird nicht mehr benötigt. Für das Projekt wurde die Anlage mit 2 bis 3 l/s betrieben.)

Die bestehenden Raschig-Ringe im **Riesler** wurden entfernt und durch neue ersetzt. Zur Steuerung der Luftzufuhr wurde an der bestehenden Belüftung eine Drehzahlregelung eingebaut. Neben dem Riesler wurde auch der unter dem Riesler situierte Zwischenbehälter gereinigt.

Zur Beschickung der Filter wurde nach der Belüftungseinheit eine neue **drehzahl-geregelte Zwischenpumpe** eingebaut, da die bestehende Pumpe aufgrund eines Hochwasser-Schadens defekt war. Zur Steuerung dieser Pumpe auf einen konstanten Durchfluss wurde ein IDM der TU Graz eingebaut, sodass ab 11.3.2008 die Anlage mit konstanten Durchfluss betrieben werden konnte.

Im **Filter I** (Enteisungsfilter) wurde das Filtermaterial erneuert (Stüttschichte, Filtersand, Hydro-Anthrasit H). Ebenso wurde im Zuge der Umbauarbeiten erkannt, dass auch das Filtermaterial im **Filter II** (Entmanganungsfilter) getauscht werden muss, da das vorhandene Filtermaterial verklumpt war.

Da die Aufbereitungsstrecke von zwei parallelen Enteisungsfiltern und zwei parallelen Entsäuerungsfiltern zu einer einstraßigen Aufbereitung umgebaut wurde, konnte der zweite, nun nicht mehr benötigte Entsäuerungsfilter zu einem **Vorlagebehälter** zum Pumpen in den Hochbehälter umgebaut werden. Der Nutzinhalt dieses Vorlagebehälters umfasst ca. 7 m³ und ist mit einer Niveausteuerung für die **Hochbehälter-Pumpe** ausgestattet. Diese Pumpe musste neu installiert werden, da die alten Pumpen ebenfalls durch das Hochwasser funktionsunfähig waren.

Für das Spülen der Filter mit Luft wurde ein neuer **Spülkompressor** eingebaut (ebenfalls Hochwasserschaden).

An sämtlichen Filtern wurden **Filterkreuze** mit sehr variablen Schaltmöglichkeiten eingebaut, wodurch flexible Anlagenkonfigurationen möglich sind. Ebenso erfolgte eine **Neuverrohrung** aller Komponenten, wobei grundsätzlich PE-DN100 Rohre zum Einsatz kamen. Abgangseitig der Hochbehälterpumpe erfolgte eine Verrohrung in Edelstahl.

Sämtliche Filter und der Vorlagebehälter wurden mit **Sichtrohren** aus PVC-U transparent ausgestattet, wodurch eine Kontrolle des Wasserstandes in den Filtern ermöglicht wird, was insbesondere beim Rückspülen wichtig ist.

Vor **der Ultrafiltrationsanlage** wurde ein Zwischenbehälter mit einem Inhalt von 1 m³ und einem anschließenden Mischschlauch mit 50 m errichtet. Am Beginn des Mischschlauches wurden Dosiereinrichtungen angebracht. Der Schlauch ermöglicht eine kontrollierte Reaktionszeit.

Weitere **Dosiereinrichtungen** wurden vor dem Filter I und vor dem Filter II eingerichtet. **Probenahmehähne** wurden so gesetzt, dass eine Beprobung vor und nach allen Prozessschritten (vom Rohwasser bis zum Reinwasser) möglich ist.

Im Romaubach wurde an der Brücke ein **Pegel** installiert, um den Wasserstand zu überwachen. Die Wasserstandsdaten dienen der Interpretation des Einflusses des Romaubaches auf die Rohwasserqualität.

4.2 Hochbehälter

Im Hochbehälter wurde die derzeit nicht für die Versorgung genutzte linke Behälterkammer gereinigt. Die Entnahmeleitung musste so umgebaut werden, dass Wasser zum Spülen der Filter aus der Behälterkammer über die Transportleitung ins Wasserwerk fließen kann. Dazu waren Installationsarbeiten in Edelstahl (einige Meter Leitung) und der Einbau von Armaturen erforderlich.

5 Verfahrenstechnische Untersuchungen

In den folgenden Unterkapiteln 5.1 bis 5.9 wird zuerst auf die Ausgangslage hinsichtlich der Rohwasserbeschaffenheit und auf das Aufbereitungskonzept eingegangen. Anschließend werden die verschiedenen Betriebsphasen im Untersuchungszeitraum beschrieben. Ab Kapitel 5.4 werden die einzelnen Aufbereitungsschritte im Detail dargestellt. Die chemisch-physikalischen Untersuchungsergebnisse aller konventionellen Aufbereitungsschritte werden im Kapitel 5.10 diskutiert. Die mikrobiologischen Untersuchungen werden im Kapitel 6 beschrieben.

5.1 Charakterisierung des Rohwassers

Zur Wassergewinnung stehen im Wasserwerk Heidenreichstein zwei in unmittelbarer Nähe zum Romaubach situierte Schachtbrunnen, welche mit horizontalen Filtersträngen ausgestattet sind (diese verlaufen ungefähr parallel zum Romaubach), zur Verfügung (Abbildung 5). Aus diesen Brunnen wird im Wesentlichen Uferfiltrat und ev. auch Hangwasser aus wenig ergiebigen Schichten gewonnen. Ähnliche Situationen sind im Waldviertel häufig anzutreffen.

Für das Projekt wurde ausschließlich der Brunnen 2 genutzt, da die Wasserqualität dieses Brunnens deutlich besser ist, als jene des weiter südlich situierten Brunnen 1. Das Rohwasser (Brunnen 2) weist einen niedrigen pH-Wert (zumeist zwischen 6,0 und 6,3 bzw. teilweise auch knapp darunter) auf. Der Eisengehalt im Rohwasser lag zu Beginn des Projektes bis Ende Februar 2008 stets unter 2 mg/l. Stieg dann ab März 2008 sukzessive an und erreichte Mitte September 2008 kurzfristig mit über 11 mg/l den Maximalwert. Im Zeitraum Oktober 2008 bis Jänner 2009 zeigte der Eisengehalt einen steigenden Trend mit Werten zwischen 6 und fast 9 mg/l.

Die Mangangehalte des Rohwassers lagen im Untersuchungszeitraum zwischen 0,6 und 1,6 mg/l, wobei die höheren Werte tendenziell gegen Ende des Untersuchungszeitraumes hin zu beobachten waren.

Ein direkter Einfluss des Wasserstandes im Romaubach auf die Eisen- und Mangangehalte konnte nicht nachgewiesen werden. Dabei muss erwähnt werden, dass der Wasserstandssensor über einen längeren Zeitraum defekt war und keine zuverlässigen Werte geliefert hat (siehe Abbildung 6).

Die Konzentration an organisch gebundenem Kohlenstoff (TOC) im Rohwasser lag durchwegs in einem Bereich von 5 bis 7 mg/l. Eine LC-OCD Analyse zeigt, dass ein Großteil des TOC in Form von Huminstoffen vorliegt. Das LC-OCD-Verfahren (Liquid Chromatography – Organic Carbon Detection) ist eine Ausschlusschromatografie mit einer online UV- und Kohlenstoffbestimmung mit der Kohlenstofffraktionen (wie z.B. Huminstoffe) im Wasser nach ihrer Molekülgröße unterschieden werden können.

Die Koloniezahl pro Milliliter bei 22°C bewegte sich im Untersuchungszeitraum zwischen 8 und 600 KBE, wobei die höheren Werte in der Anfangsphase (Ende Juli bis Ende Oktober 2007) des Projektes auftraten. Mit zunehmender Wasserentnahme aus dem Brunnen kam es, von wenigen Ausnahmen abgesehen, zu einem deutlichen Rückgang der Koloniezahlwerte (siehe Abbildung 26). Die Koloniezahlen pro Milliliter bei 37°C zeigen einen ähnlichen Verlauf (siehe Abbildung 27). An Hand der Koloniezahlbestimmungen mittels R2A-Medium ließ sich dieser Trend nicht feststellen was darauf hindeutet, dass eine mit dem Standardmedium nicht erfass-

bare, über einen längeren Zeitraum bestehende, gleichbleibende mikrobiologische Belastung des Rohwassers vorlag. Die vereinzelt untersuchte fäkale Belastung des Rohwassers lag für den Parameter *E. coli* zwischen $<1,0$ und $3,1$ MPN/100ml und den Indikatorparameter Coliforme zwischen $20,1$ und $344,8$ MPN/100ml. Die Werte für den Parameter Enterokokken bewegten sich zwischen $<1,0$ und $4,1$ MPN/100ml (siehe Anhang).

Das Rohwasser war zu den Zeitpunkten der Untersuchungen, wie für derartige Wässer erwartet, stets instabil und wies ein mittleres bis hohes Wachstumspotential auf (siehe Anhang).

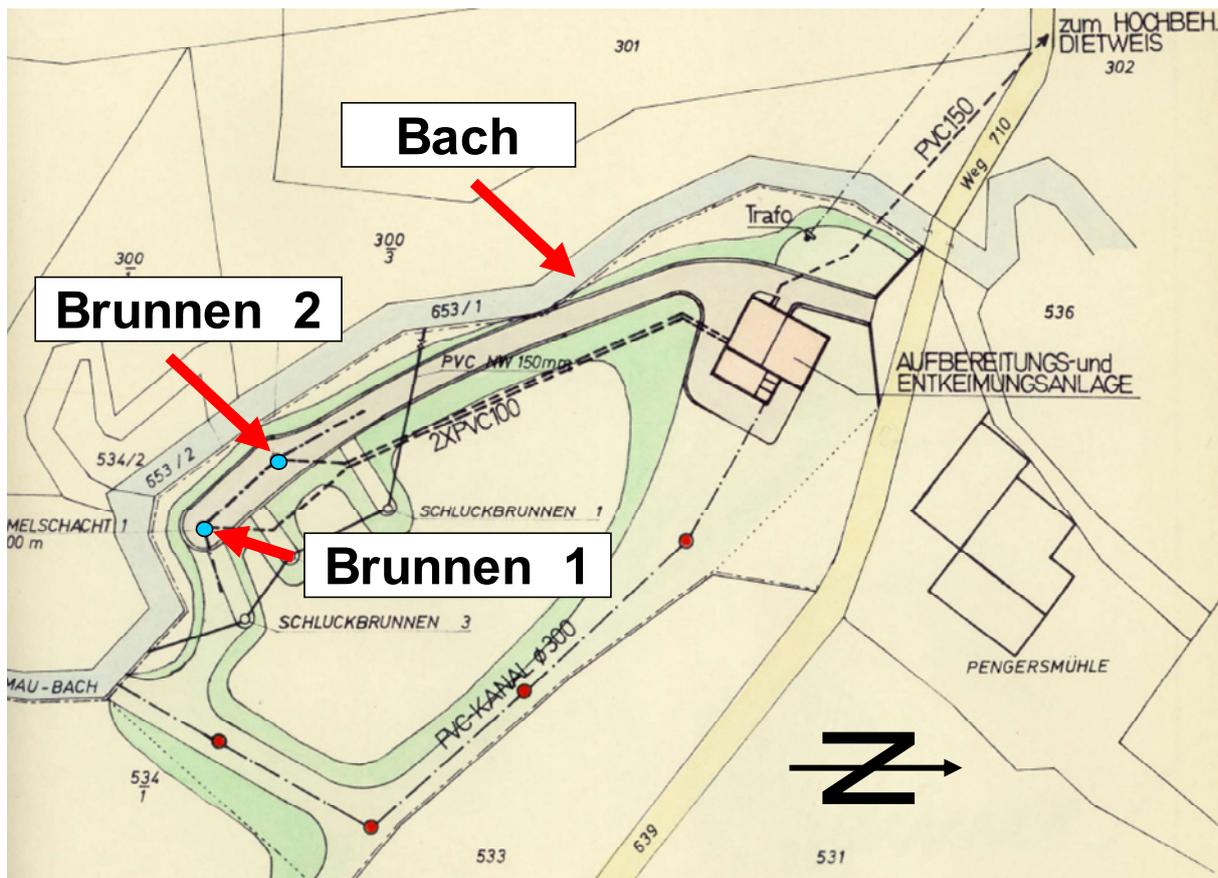


Abbildung 5: Übersichtsplan Wasserwerk Heidenreichstein

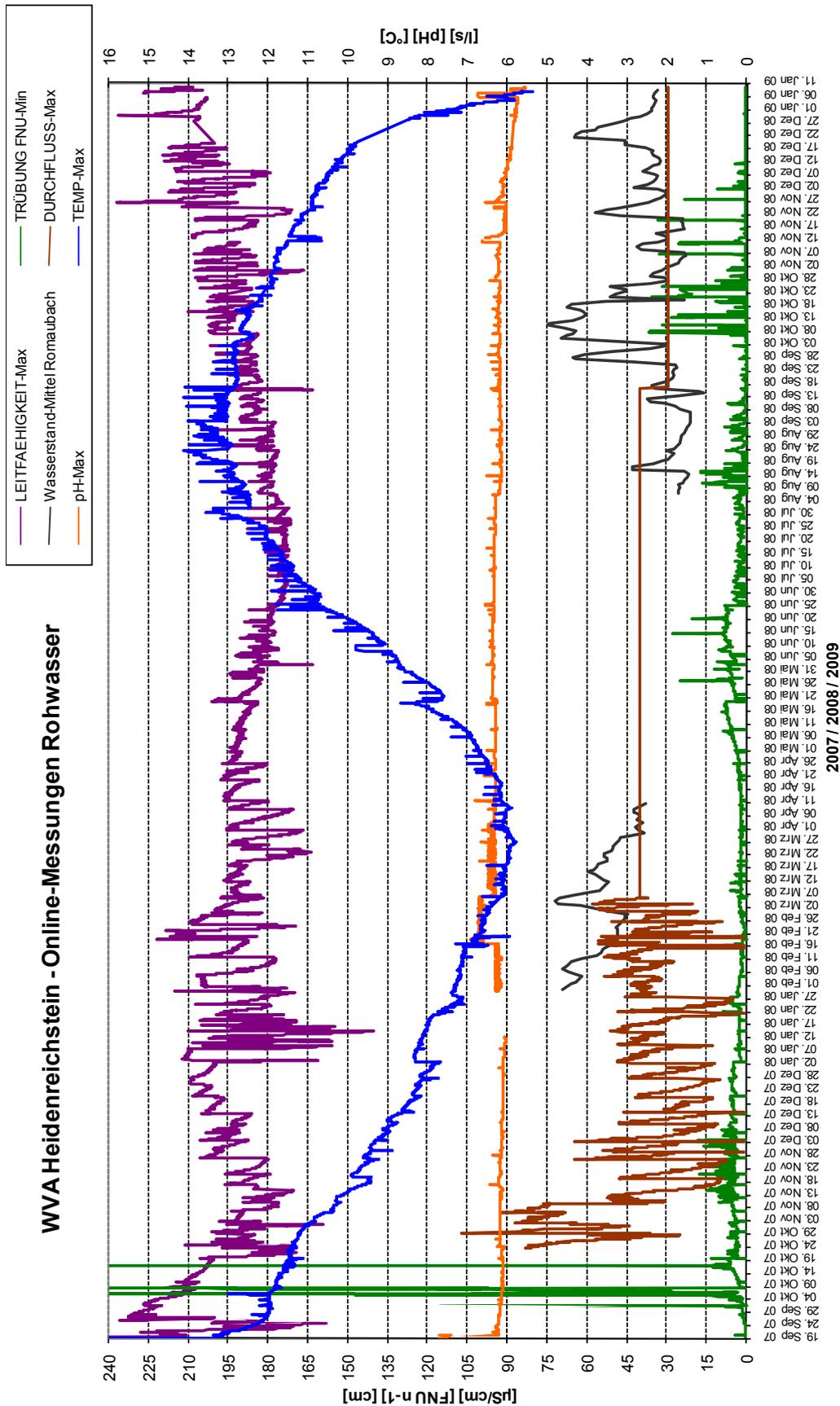


Abbildung 6: Online Messungen Rohwasser (Brunnen 2)

5.2 Aufbereitungskonzept Heidenreichstein

Mit dem Ziel der Verbesserung der hygienischen Sicherheit in der Aufbereitung von oberflächenwasserbeeinflussten Wässern wurde im gegenständlichen Projekt das membrantechnische Verfahren der Ultrafiltration unter den Bedingungen typischer Waldviertler Wässer getestet. Abbildung 7 zeigt die Wirkungsbereiche verschiedener Membranverfahren. Daraus geht hervor, dass die Ultrafiltration grundsätzlich ein geeignetes Verfahren ist, um unter anderem Parasiten, Bakterien sowie Viren zurückzuhalten. Mit Ultrafiltrationsmembranen kann ein Virenrückhalt von 5-7 log-Stufen erreicht werden (US EPA, 2005). Dieser Rückhalt kann durch Faserbrüche oder andere Lecks deutlich niedriger sein. Er lässt sich derzeit nicht direkt mittels online-Messungen überwachen. Daher sollte einer Ultrafiltrationsanlage, die zur Aufbereitung eines mikrobiologisch belasteten Wassers eingesetzt wird, stets eine Desinfektionsstufe nachgeschaltet sein.

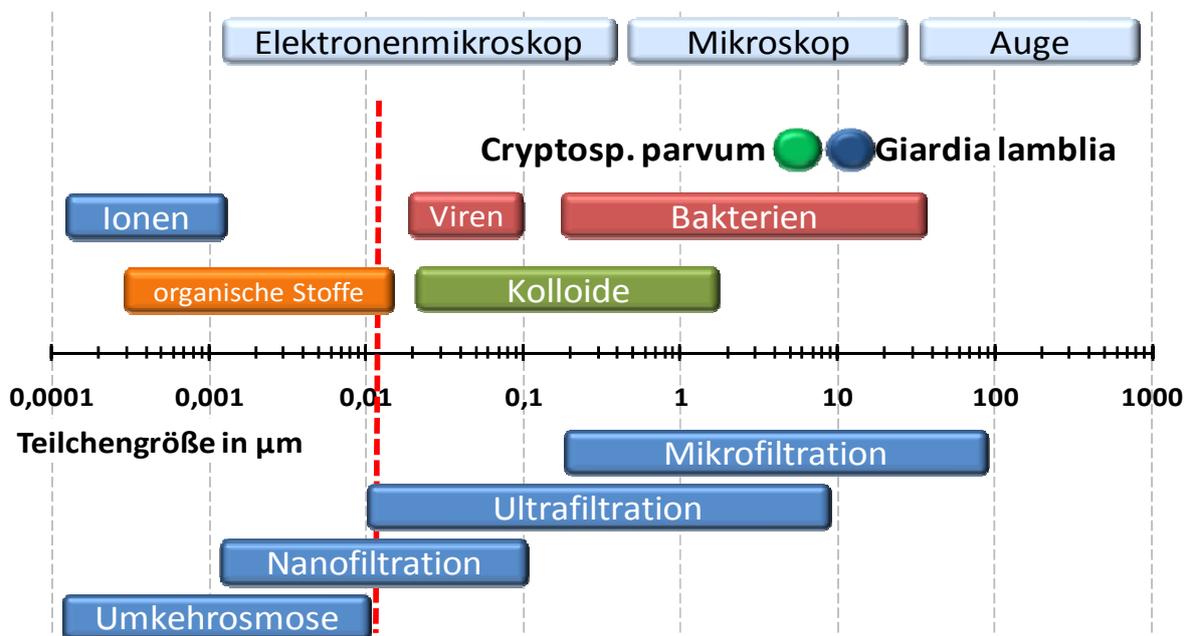


Abbildung 7: Wirkungsbereiche verschiedener Membranverfahren (KRAUSE, 2009a)

Für den Betrieb einer Ultrafiltrationsanlage (UF) ergeben sich jedoch besondere Anforderungen an die davor liegende Aufbereitung. So muss die Enteisenung und Entmanganung des aufzubereitenden Wassers vollständig abgeschlossen sein sowie der TOC-Gehalt (Huminstoffe) weitgehend reduziert werden, bevor das Wasser der Ultrafiltration zugeführt wird, da sich sonst die Membranen zu schnell verlegen und aufwendige Reinigungsschritte erforderlich werden bzw. die Lebensdauer der Membranen entsprechend verkürzt wird. Daher musste das Aufbereitungskonzept (Abbildung 8) auf die Anforderungen der Ultrafiltration abgestimmt werden.

Als erster Aufbereitungsschritt erfolgt eine Belüftung des Rohwassers durch eine Verrieselung über einen Füllkörper. In den Riesler wird über ein Gebläse Luft von unten eingebracht. Durch die Zufuhr von Sauerstoff wird ein Teil des gelösten Eisens und des Mangans oxidiert und fällt im Riesler bzw. im danach situierten Zwischenbehälter, welcher von Zeit zu Zeit zu reinigen ist, aus.

Da die Funktionstüchtigkeit der in Heidenreichstein bestehenden Enteisenungs- bzw. Entmanganungsanlage (geschlossene Schnellfilter) nicht in ausreichendem Ausmaß gegeben war (Anm. Es kam in der Vergangenheit immer wieder zum Durchschlagen höherer Eisen- und Mangangehalte), musste vor Beginn des Ultrafiltrations-Pilotversuches eine Optimierung der konventionellen Filter erfolgen. Ein zentraler Schritt dazu war die Implementierung einer Flockenfiltration im ersten Filterschritt (siehe auch Kapitel 5.5).

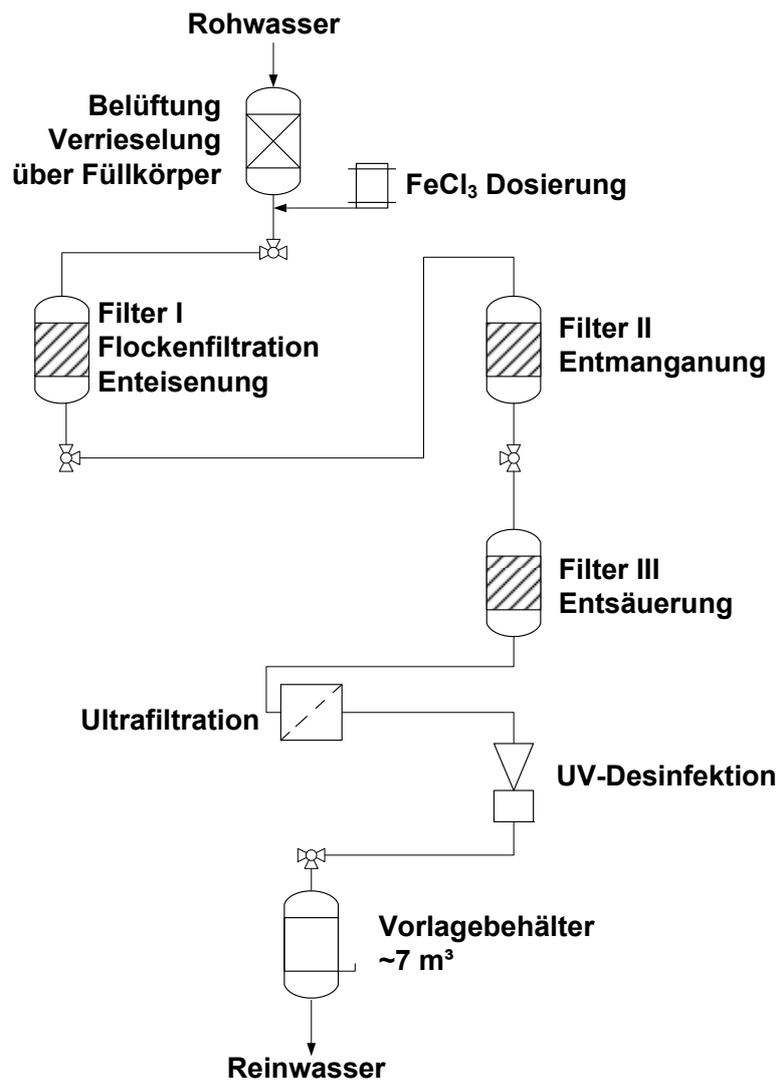


Abbildung 8: Schema Versuchsanordnung

Ziel einer Flockenfiltration ist es, im Wasser vorhandene kolloidale Anteile (z.B. Trübstoffe, Eisen-Huminstoffkomplexe) in größere Flocken einzubinden, welche im Anschluss abgetrennt werden. Dies kann entweder über einen Sedimentationsschritt oder, wie im Falle dieses Projektes, in Form einer Schnellfiltration in geschlossenen Mehrschichtfiltern erfolgen. Als Flockungsmittel werden v.a. Eisen- und Aluminiumsalze verwendet.

Um die Filterstandzeiten bei der Flockenfiltration zu verlängern, kommen Mehrschichtfilter zum Einsatz. Bei Einschichtfiltern aus feinkörnigem Filtersand werden die Flocken hauptsächlich an der Filteroberfläche abgeschieden (Oberflächenfiltration).

Mehrschichtfilter nutzen hingegen das Volumen des Filtermaterials aus und die Flockenabscheidung erfolgt überwiegend im Filterkörper (Raumfilter). Daher ist die obere Schicht in einem Mehrschichtfilter aus einem grobkörnigeren Material mit geringerer spezifischer Dichte und die untere Schicht aus einem feinkörnigeren Material höherer Dichte (Abbildung 9). Der Dichteunterschied ist erforderlich, damit es zu keiner Durchmischung des Filtermaterials, insbesondere nach dem Rückspülen, kommt.

Um den Filter von den abgeschiedenen Flocken und Partikeln zu reinigen, ist von Zeit zu Zeit eine Spülung des Filters erforderlich. Dazu wird entgegen der Filtrationsrichtung Wasser und/oder Luft eingebracht und das Spülwasser mit den Abscheideprodukten über einen Überlauf abgezogen (Anm.: das Spülwasser darf nicht direkt in einen Vorfluter geleitet werden, sondern muss in ein Absetzbecken eingeleitet werden).

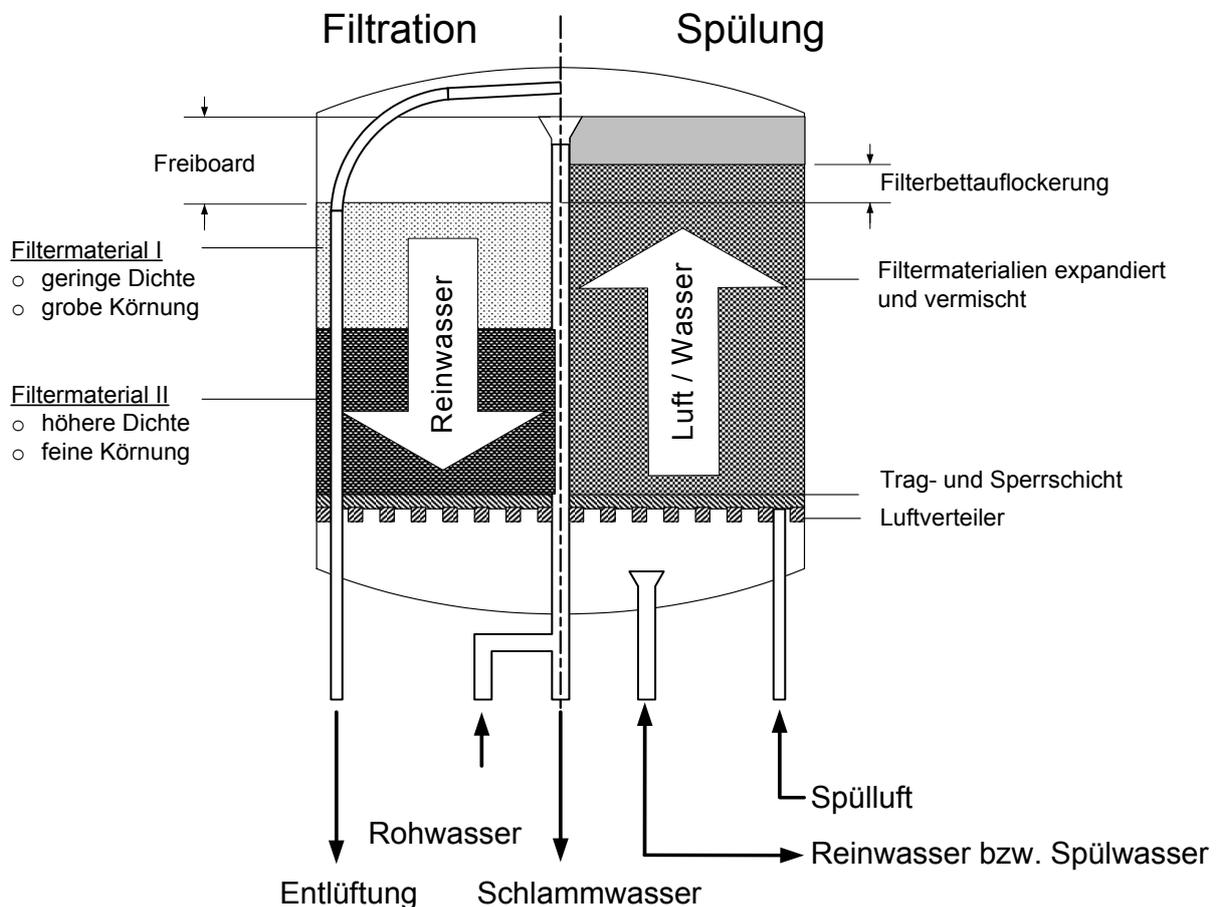


Abbildung 9: Prinzipskizze eines Mehrschichtfilters (Krause 2009b)

Mit der Flockenfiltration wird ein sehr guter Wirkungsgrad hinsichtlich der Entfernung von Trübstoffen und Eisen erreicht. Ebenso kann der TOC-Gehalt (Huminstoffe) bis zu 80 % reduziert werden und es läuft auch ein Großteil der Entmanganung in diesem ersten Filterschritt ab.

Zur Rest-Entmanganung wurde nach dem Filter I ein speziell auf die Entmanganung ausgerichteter Filter eingerichtet (Filter II). Die dritte und letzte konventionelle Filterstufe stellt die Entsäuerung über einen bestehenden Akdolifilter dar.

Als Desinfektionsverfahren wurde die Desinfektion mittels UV-Licht untersucht. Vor diesem allerletzten Aufbereitungsschritt erfolgte jedoch noch eine Filtration über eine Ultrafiltrationsanlage. Im Zuge des Projektes wurden mehrere Versuchsanordnungen bzw. Betriebseinstellungen untersucht (siehe Kapitel 5.3). Alternativ kann die Ultrafiltrations-Pilotanlage z.B. auch vor der Entsäuerung betrieben werden.

Kernstück der verwendeten Ultrafiltrationsanlage ist ein Modul vom Typ Dizzer 5000 plus der Firma INGE (Greifenberg, Deutschland). Die nominale Porenweite der Membran liegt bei ca. 0,01 μm entsprechend einer Trenngrenze von 100 kD. Die Membranfläche beträgt ca. 50 m^2 . Die Membran besteht aus Polyethersulfon (PES).

Der Betrieb der Ultrafiltrationsanlage erfolgte vollautomatisch mit konstantem Durchsatz. Die Rückspülung mit Reinwasser wurde zeitlich gesteuert und war unabhängig vom Druckanstieg auf der Rohwasserseite. Der Betrieb der Anlage erfolgte im Dead-End-Modus, d.h. dass das gesamte zugeführte Rohwasser als Reinwasser die Membran passiert hat. Eine Überströmung (so genannter Cross-Flow-Modus) wurde nur für Reinigungszwecke aktiviert.

Alle relevanten Durchsätze, Drücke, die Rohwassertemperatur sowie die Roh- und Reinwassertrübung wurden kontinuierlich erfasst und aufgezeichnet.

Die Versuchsanlage ist in der Abbildung 10 dargestellt. Das Rohwasser wurde mit der Pumpe P1 gefördert. Für die zuvor erwähnte Überströmung der Membran wurde vor der Rückspülung für die Dauer von einer Minute die Pumpe P2 zugeschaltet. Die Rückspülung der Membran mit Wasser aus dem Permeatspeicher erfolgte mit Pumpe P3.

Das Rohwasser wurde abwechselnd am Modulkopf und Modulfuß zugeführt. Zwischen Pumpe P1 und Membran befindet sich ein Vorfilter mit einer Maschenweite von 200 μm , der dem Schutz der Kapillaren vor Verstopfungen diene.

Chemikalien für die Reinigung konnten über die Pumpen P4, P5 und P6 auf die Rohwasser- oder Permeatseite und in den Permeattank dosiert werden. Mit der Pumpe P7 wurde während einiger Versuchseinstellung FeCl_3 40%ig vor der Flockungsstrecke direkt vor der Ultrafiltrationsanlage dosiert. Die Verweilzeit betrug ca. 2 Minuten.

Mit dem Kompressor konnte die Anlage rohwasserseitig mit Luft beaufschlagt werden, um die Integrität der Membran zu kontrollieren. Er diene außerdem der Betätigung der pneumatischen Ventile.

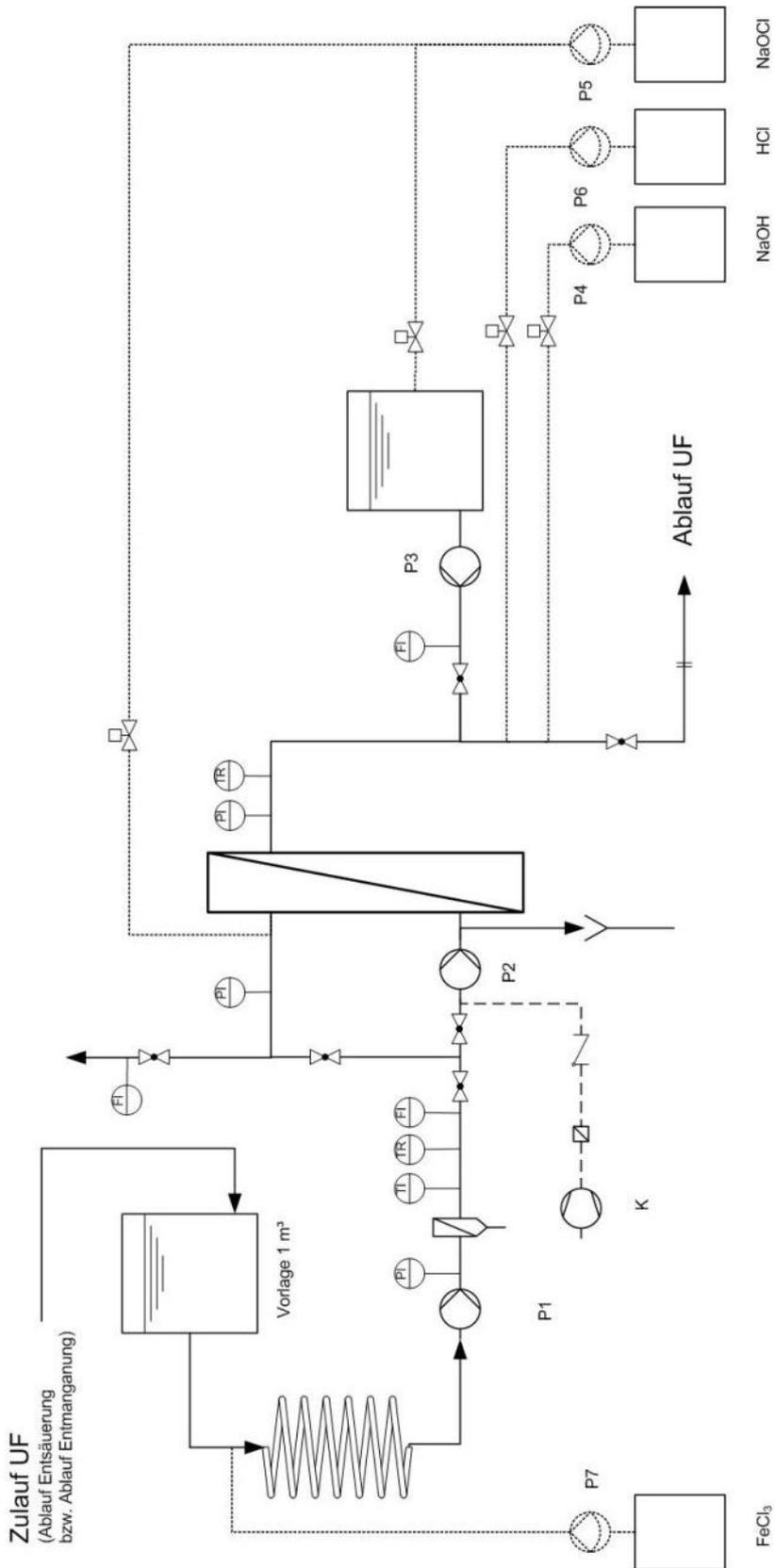


Abbildung 10: Aufbau der Ultrafiltrationsanlage

5.3 Betriebsweisen der Anlage

Im Zuge des Projektes wurden zahlreiche Anlagenkonfigurationen und Betriebs-einstellungen untersucht. Im Betriebstagebuch (Anhang 1) ist die vollständige Übersicht über alle verschiedenen Betriebseinstellungen (z.B. Belüftungsstärke, Flockungsmittelmenge und Dosierstelle) und Anlagenkonfigurationen (z.B. Ultrafiltration zwischen Filter II und Filter III oder nach Filter III) dargestellt.

Im Wesentlichen können sechs Betriebsphasen unterschieden werden (Tabelle 2):

1. *Einarbeitungsphase der Filter I und II*
2. *UF-Testphase 1* (ohne Flockenfiltration)
3. *Testphase zur Flockenfiltration* (nur Kurzversuch mit Ultrafiltration)
4. *Einarbeitungsphase Filter I* (nach Tausch des Filtersandes)
5. *UF-Testphase 2* (unterschiedliche Einstellungen der Fe(III)-Dosierung; 10 bis 18 mg/l, unterschiedliche Positionen der Ultrafiltration)
6. *UF-Testphase 3* (20 mg/l Fe vor Filter I, stabiler Betrieb der Ultrafiltration)

Tabelle 2: Übersicht über Betriebsphasen

Betriebsphasen	Zeitraum	Belüftung	Filterbeschickung	Flockungsmittel	Ultrafiltration
Einarbeitungsphase Filter I und II	18.09.2007 bis 25.11.2007	zuerst unbekannt, dann 16 Hz (Steuerung Riesler), schrittweise Reduktion auf 8 Hz	anfangs unzureichende Pumpensteuerung, dann kein konstanter Q, sondern konstanter P	Kurzversuch mit 5 mg/l PACl (Sachtklar) vom 24. bis 31.10.2007	kurzer Testbetrieb (wenige Stunden) im Zuge der Inbetriebnahme
UF-Testphase 1	26.11.2007 bis 27.12.2007	8 Hz	kein konstanter Durchfluss, sondern konstanter Druck der Hydrovar-Pumpe	keine Flockungsmittel- dosierung	nach Filter III starke Abnahme der Permeabilität, kein stabiler Betrieb
Testphase zur Flockenfiltration	28.12.2007 bis 02.06.2008	8 Hz, ab 09.01.2008 9 Hz	ab 13.03.2008 konstanter Durchfluss von 2,6 l/s	Implementierung der Fe(III)-Flockung, Versuche mit 1-16 mg Fe/l	Kurzversuch vom 26.02. bis 05.03.2008, UF zw. Filter II und III, kein stabiler Betrieb möglich
Einarbeitungsphase Filter I (nach Tausch Filtersand)	03.06.2008 bis 29.06.2008	9 Hz, ab 17.06.2008 13 Hz	konstanter Durchfluss von 2,6 l/s	ab 16.06.2008 10 mg Fe/l	kein UF Betrieb
UF-Testphase 2	30.06.2008 bis 26.10.2008	13 Hz, ab 10.10.2008 16 Hz	konstanter Durchfluss von 2,6 l/s, ab 01.10.2008 Reduktion auf 2,0 l/s	bis 05.08. 10 mg Fe/l vor Filter I, dann versch. Mengen vor Filter I und vor UF (ges. 16-18 mg Fe/l)	UF nach Filter III bzw. von 25.08.2008 bis 15.09.2008 zw. Filter II und III
UF-Testphase 3	27.10.2008 bis 09.01.2009	8 Hz, ab 12.11.2008 26 Hz	konstanter Durchfluss von 2,0 l/s	20 mg Fe/l vor Filter I	UF nach Filter III stabiler Betrieb

5.4 Belüftung über Riesler

Im ersten Aufbereitungsschritt wird das Rohwasser über einen Riesler geführt. Der Riesler ist ein geschlossener Reaktionsbehälter, in welchem sich Füllkörper (Raschig-Ringe der Größe 40x40 mm) in unregelmäßiger Schüttung befinden. Das Wasser wird von oben herab auf die Füllkörper gleichmäßig verteilt und rieselt an und in diesen nach unten. Durch ein Gebläse erfolgt eine Luftzufuhr von unten. Am oberen Ende des Rieslers befindet sich ein Entlüftungsrrohr, über welches die zugeführte Luft ins Freie entweichen kann (siehe Abbildung 11 links). Das Gebläse ist über einen Frequenzregler steuerbar.



Abbildung 11: Riesler und Gebläse (rechts)

Ziel der Belüftung ist eine Anreicherung des Rohwassers mit Sauerstoff, um eine Oxidation des Eisens und des Mangans zu bewirken sowie ein Austreiben der aggressiven Kohlensäure. Durch die Belüftung wird der pH-Wert erhöht. Der Eisen- und Mangangehalt wird bereits hier durch Ausfällungen gesenkt.

5.5 Flockenfiltration und Enteisung, Filter I

Die grundsätzlichen Ziele und die Funktionsweise einer Flockenfiltration wurden bereits kurz im Kapitel 5.2 beschrieben. Ziel der Flockung in der Wasseraufbereitung ist es, gelöste oder kolloidale Wasserinhaltsstoffe in Flocken einzubinden, damit sie durch Sedimentation oder Filtration aus dem Wasser entfernt werden können. Im vorliegenden Fall gilt es die im Rohwasser enthaltenen Huminstoffe zu entfernen, da diese die UV-Durchlässigkeit des Wassers derartig verringern, dass eine Desinfektion mittels UV-Bestrahlung nicht mehr möglich ist. Aus Praxiserfahrungen ist bekannt, dass für diese Anwendung Eisen(III)-salze und Polyaluminiumchlorid (PACl) erfolgreich eingesetzt werden können. Die erforderlichen Dosiermengen, der optimale pH-Wert und auch der erreichbare Wirkungsgrad sind sehr von der Beschaffenheit des Rohwassers abhängig. Sie müssen in Vorversuchen abgeschätzt und an der großtechnischen Anlage optimiert werden.

Daher wurden im Vorfeld der Anwendung von Flockungsmitteln an der Versuchsanlage in Heidenreichstein Flockungsversuche mit zwei unterschiedlichen Flockungsmitteln durchgeführt:

- Fe(III)-chlorid (FeCl_3) und
- Polyaluminiumchlorid (PACl).

Die Durchführung und die Ergebnisse der Flockungsversuche sind in Kapitel 5.5.1 im Detail beschrieben. Für die Situation in Heidenreichstein konnten mit Fe(III)-chlorid bessere Ergebnisse hinsichtlich der Entfernung von TOC (Huminstoffe) erzielt werden. Daher wurde für die weiteren Versuche Fe(III)-chlorid als Flockungsmittel ausgewählt.

Bei der Flockung können erhebliche Mengen an Flocken erzeugt werden. Teilweise ist es wirtschaftlicher, diese durch eine Sedimentationsstufe vor dem Filter zu entfernen. Im Projekt in Heidenreichstein erfolgte die Filtration in Schnellfiltern (Sandfilter) jedoch ohne vorhergehende Sedimentation.

Es gibt zwei grundlegende Mechanismen der Flockung, die aber nicht immer als Reinform vorliegen, sondern oftmals gleichzeitig nebeneinander zur Wirkung kommen.

- **Flockenfiltration:** Flockenbildung auf dem Weg zum Filter und im Überstau. Für die Flockenfiltration ist ein kurzer, hoher Energieeintrag sinnvoll, sodass die Flocken beim Eintritt in das Filtermedium bereits gut filtrierbar sind. Im Allgemeinen ist ein statischer Mischer mit Injektionslanze und anschließend daran eine genügend lange Fließstrecke vor dem Filter ausreichend, diese Bedingung zu erfüllen.
- **Flockungsfiltration:** Flockenbildung im Filtermedium. Der Energieeintrag erfolgt ebenfalls im Filtermedium. Die Art der Einmischung ist daher nicht so wichtig.

In Heidenreichstein wurde hauptsächlich eine *Flockenfiltration* durchgeführt.

Bei der Dosierung des Flockungsmittels ist ein hoher Energieeintrag für eine gute Verteilung, eine schnelle Entstabilisierung und für einen schnellen Beginn der Aggregation wichtig.

Die Flockungsmitteldosierung in Heidenreichstein erfolgte nach der Verrieselung des Rohwassers aber noch vor dem Filter I, in dem die Flockenfiltration und die Enteisenung in einem Mehrschicht-Sandfilter erfolgen. Nach der Dosierstelle sorgt ein statischer Mischer (Abbildung 12) für den erforderlichen Energieeintrag bei der Flockung. Der Mischer bestand aus einem Korb aus gelochtem Stahlblech, der mit Raschig-Ringen gefüllt war.

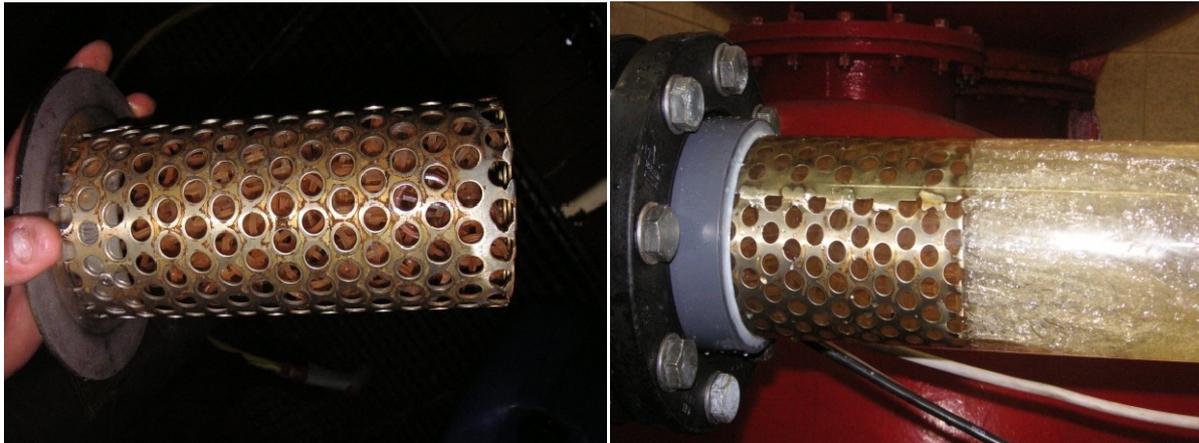


Abbildung 12: Statischer Mischer (rechts in Betrieb)

Das mit Fe(III)-chlorid versetzte Wasser gelangt von oben in den Filter I. Der Filterkessel hat einen Durchmesser von 180 cm und eine Höhe von 250 cm. Im Kessel befindet sich Filtermaterial mit einer Gesamtschichthöhe von 180 cm, das von oben nach unten vom Wasser durchströmt wird (vergleiche Abbildung 9). Dabei werden Flocken mit den darin eingebundenen Inhaltsstoffen in den einzelnen Filterschichten zurückgehalten. Der Filterkörper ist von oben nach unten folgendermaßen aufgebaut:

Hydro-Anthrasit H (Körnung I, 0,6-1,6 mm)	75 cm
Filterkies I (Körnung 0,4-0,8 mm)	75 cm
Stützkies (2-3,2 mm)	10 cm
Stützkies (3-5,6 mm)	10 cm
Stützkies (5-8 mm)	10 cm

Dieser Filteraufbau stellt die für die Versuchsdurchführung im Projekt gewählte Lösung dar. Da zu Projektbeginn eine andere, jedoch für die Flockenfiltration ungeeignete Kornkombination eingesetzt wurde, wurde im Zuge des Projektes spezielle Untersuchungen zum Filtermaterial durchgeführt, welche im Kapitel 5.5.2 und in Anhang 2 im Detail beschrieben sind.

Aufgrund der starken Flockenabscheidung dauerte es ca. 24 h (Durchsatzmenge von 2 l/s und einer Dosiermenge von 20 mg Fe/l) bis der Filter durchzubrechen beginnt, also keinen vollständigen Flockenrückhalt gewährleistet. Daher wurde der Filter I täglich rückgespült, um den Filter von den abgeschiedenen Partikel bzw. Flocken zu reinigen. Eine typische Spülung lief folgendermaßen ab:

Spülung mit Wasser:	5 min.
Spülung mit Luft:	10-15 min.
Spülung mit Wasser:	8-10 min.

5.5.1 Flockungsversuche

Die durchgeführten Flockungsversuche haben sich zunächst an den Gegebenheiten einer inline-Flockung direkt vor der Membran orientiert. Das bedeutet, dass im Vergleich zur konventionellen Flockung nur 3 Minuten für das Flockenwachstum zur Verfügung stehen. Dies entspricht den mit der inline-Flockung realisierbaren Fließzeiten. Die Kontaktzeit in den Filtern I und II liegt dagegen im Durchschnitt bei ca. 95 Minuten (Annahme: 60 cm Überstau und Bettporosität 20 %).

Die Abtrennung der Flocken erfolgte über Glasfaserfilter und nicht über sonst übliche Membranfilter aus Zelluloseazetat oder Nitrozellulose, um Verschleppungen und Auswaschungen aus dem Filtermaterial zu vermeiden. Der Abscheidegrad dieser Filter ist allerdings geringer als der einer Ultrafiltrationsmembran. Der bei einer Ultrafiltrationsanlage zu erwartende tatsächliche Wirkungsgrad wird also wahrscheinlich etwas höher sein.

Aus Literaturrecherchen ergaben sich folgende Anwendungsempfehlungen:

Tabelle 3: Literaturangaben zur Flockung für die DOC-Entfernung (GIMBEL et al. 2004)

	pH	Dosiermenge mg/mg DOC	Wirkung auf		
			DOC	SAK254	SAK435
PACl	5 – 6,5	0,25 – 1,0	+	+	+
FeCl ₃	4 – 6	0,50 – 2,0	++	++	++

5.5.1.1 Flockungsversuche mit Polyaluminiumchlorid

Flockungsversuche mit Polyaluminiumchlorid wurden mit zwei verschiedenen Produkten durchgeführt. Einerseits wurde VTA 24 TW (VTA, Weibern) und andererseits Sachtoklar P 39 (Sachtleben, Duisburg) verwendet.

Für die Flockungsversuche mit dem Ablauf des Filters 2 ergaben sich die in Tabelle 5 dargestellten Werte.

Bei einem pH-Wert von 6,5 und einer dosierten Al-Konzentration von 5 mg/l wurde ein deutlicher Rückhalt an organischen Stoffen erreicht. Im Filtrat waren bei diesem pH-Wert Eisen, Mangan und Aluminium nur in Spuren nachweisbar. Bei einem pH-Wert von ca. 5 waren dagegen nur geringe Wirkungsgrade erreichbar. Dafür stieg der Gehalt an gelöstem Aluminium im Filtrat deutlich an. Die gemessenen Werte lagen über der nominellen Dosierkonzentration. Dies kann auf einen höheren Wirkstoffgehalt in den Produkten und Auswaschungen aus Filtern und Gefäßen durch den niedrigen pH-Wert erklärt werden.

Tabelle 4: Ergebnisse Al-Flockung

		Wirkungsgrad				Ablaufwerte					
	mg/l	pH	TOC	SAK254	SAK435	TOC	SAK254	SAK435	Fe	Mn	Al
		-	%	%	%	mg/l	m-1	m-1	mg/l	mg/l	mg/l
P 39	5	6,5	48	69	69	2,3	4,5	0,4	0,00	< 0,01	0,05
VTA24TW	5	6,5	53	71	74	2,0	4,4	0,4	0,01	< 0,01	0,05
P 39	10	5,4	10	5	22	3,8	14,0	1,0	0,08	< 0,01	16,5
VTA24TW	10	5,3	10	5	21	3,7	14,1	1,03	0,12	< 0,01	15,8

Die im November 2007 vor Ort durchgeführten Flockungsversuche mit PACl (Abbildung 13) führten zu folgendem Ergebnis:

Die höchste Fe-Elimination konnte bei einem pH-Wert von 7,4 festgestellt werden.

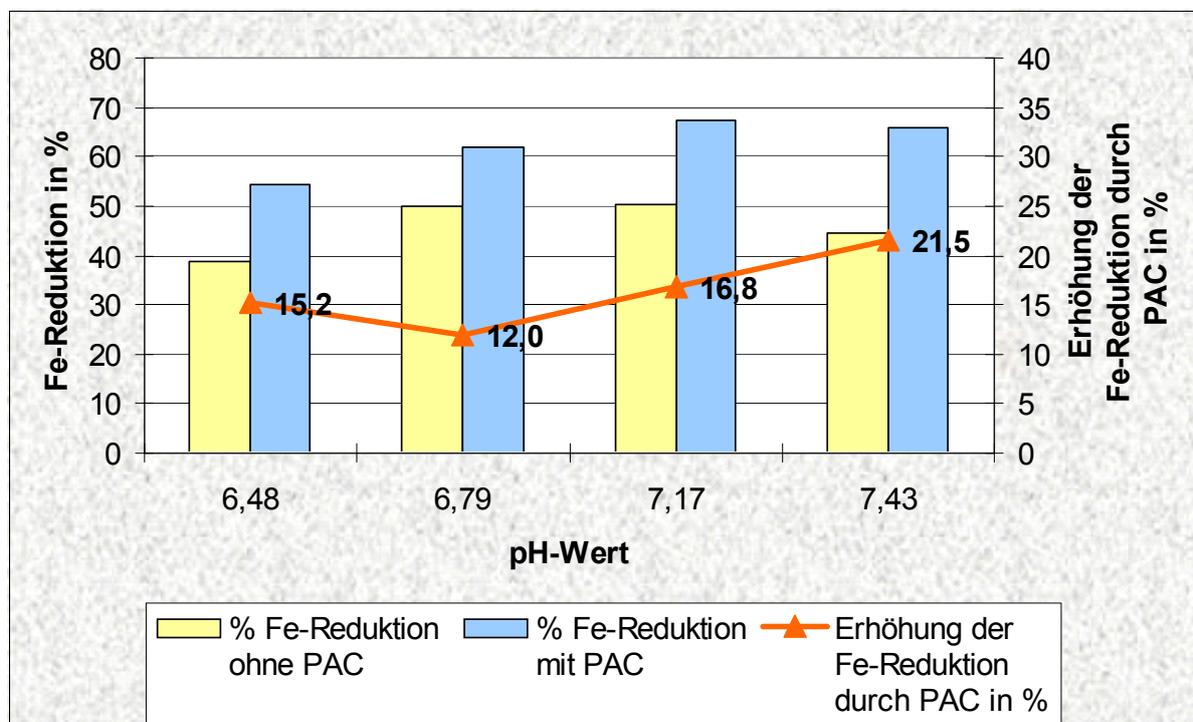


Abbildung 13: Zusammenhang zw. Fe-Eliminationsraten und pH-Wert, PACl-Zugabe 15 mg/l

5.5.1.2 Flockungsversuche mit Eisen(III)-chlorid

Die Flockungsversuche mit Fe(III)-chlorid wurden mit einem Produkt der Firma Biesterfeld & Graen, München durchgeführt. Es wurden Versuche mit dem Ablauf des Rieslers und mit dem Ablauf des Filters II durchgeführt (Tabelle 6 und Tabelle 7).

Tabelle 5: Ergebnisse Fe-Flockung Ablauf Riesler

Dosierung	pH	Wirkungsgrad			Ablaufwerte					
		TOC	SAK254	SAK435	TOC	SAK254	SAK435	Fe	Mn	Al
	-	%	%	%	mg/l	m-1	m-1	mg/l	mg/l	mg/l
20 mg/l	4,4	55	80	90	2,0	3,6	0,2	n.b.	n.b.	n.b.
10 mg/l	6,9	53	70	82	2,2	5,3	0,4	n.b.	n.b.	n.b.
2 mg/l	6,2	4	0	21	4,5	27,5	1,8	n.b.	n.b.	n.b.
2 mg/l	4,9	5	-3	46	3,91	16,34	0,99	0,63	0,6	0,17
4 mg/l	4,3	37	47	72	2,57	8,51	0,52	0,45	0,62	0,32
6 mg/l	4,0	45	50	75	2,27	7,96	0,45	0,64	0,64	0,23
8 mg/l	4,6	47	65	82	2,19	5,63	0,33	0,25	0,66	0,21
10 mg/l	4,7	55	61	75	1,83	6,25	0,46	0,22	0,6	0,22
10 mg/l	4,4	68	76	76	1,31	3,86	0,44	0,16	0,67	0,30
10 mg/l	4,2	65	75	72	1,45	4,02	0,52	0,09	0,6	0,27
10 mg/l	4,1	62	70	73	1,55	4,75	0,5	0,3	0,68	0,31
10 mg/l	4,2	61	74	73	1,59	4,16	0,49	0,12	0,62	0,08
10 mg/l	4,5	71	75	80	1,2	4,01	0,37	0,22	0,69	0,09
10 mg/l	4,4	54	50	72	2,08	7,97	0,53	1,54	0,64	0,09
10 mg/l	4,6	59	76	89	1,88	3,72	0,21	0,18	0,64	0,07
10 mg/l	4,6	61	68	81	1,78	5,12	0,36	0,65	0,65	0,09
10 mg/l	4,3	53	59	80	2,15	6,4	0,39	1,05	0,64	0,10
10 mg/l	4,3	57	60	79	1,97	6,35	0,4	1,09	0,65	0,09

Die mit FeCl_3 erzielten Wirkungsgrade waren etwas höher als bei der Verwendung von Aluminium. Der Zusammenhang mit der Dosierkonzentration wird durch Abbildung 14 beschrieben.

Die höchsten Wirkungsgrade wurden mit einer Dosierkonzentration von 20 mg/l Fe erzielt. Allerdings können auch bei einer Dosierung von 10 mg/l fast genauso hohe Wirkungsgrade erreicht werden. Bei einer Dosierung von 2 mg/l Fe war im Zeitraum von 3 Minuten keine Flockung festzustellen. Aufgrund der pH-Absenkung kam es vielmehr zu einer Auflösung von Kolloiden, die bereits im Rohwasser vorhanden waren. Dies erklärt die negativen Wirkungsgrade. Im Falle längerer Flockungszeiten ist jedoch eine bessere Wirkung zu erwarten.

Die unterschiedlichen Wirkungsgrade für TOC, SAK254 und SAK435 lassen sich darauf zurückführen, dass stärker absorbierende Substanzen durch die Flockung etwas effektiver entfernt werden. Dazu kommt, dass bei der Gelbfärbung (SAK 435) allein durch Filtration, ohne Zugabe eines Flockungsmittels ein Rückhalt von 40 bis 60 % festzustellen war. Die Absorption bei 254 nm konnte dagegen durch reine Filtration nur um etwa 10 % verringert werden.

Bei den Flockungsversuchen mit dem Ablauf des Filters II waren ähnliche Wirkungsgrade zu beobachten wie mit dem Ablauf des Rieslers.

Die für die Versuche verwendete Probe vom Ablauf des Filters II enthielt kein Mangan. Die in den Filtraten gemessenen Gehalte von 80 bzw. 160 $\mu\text{g/l}$ können daher nur aus dem verwendeten FeCl_3 stammen. Die Verdopplung der Konzentration bei doppelter Fe-Dosierung bestätigt das.

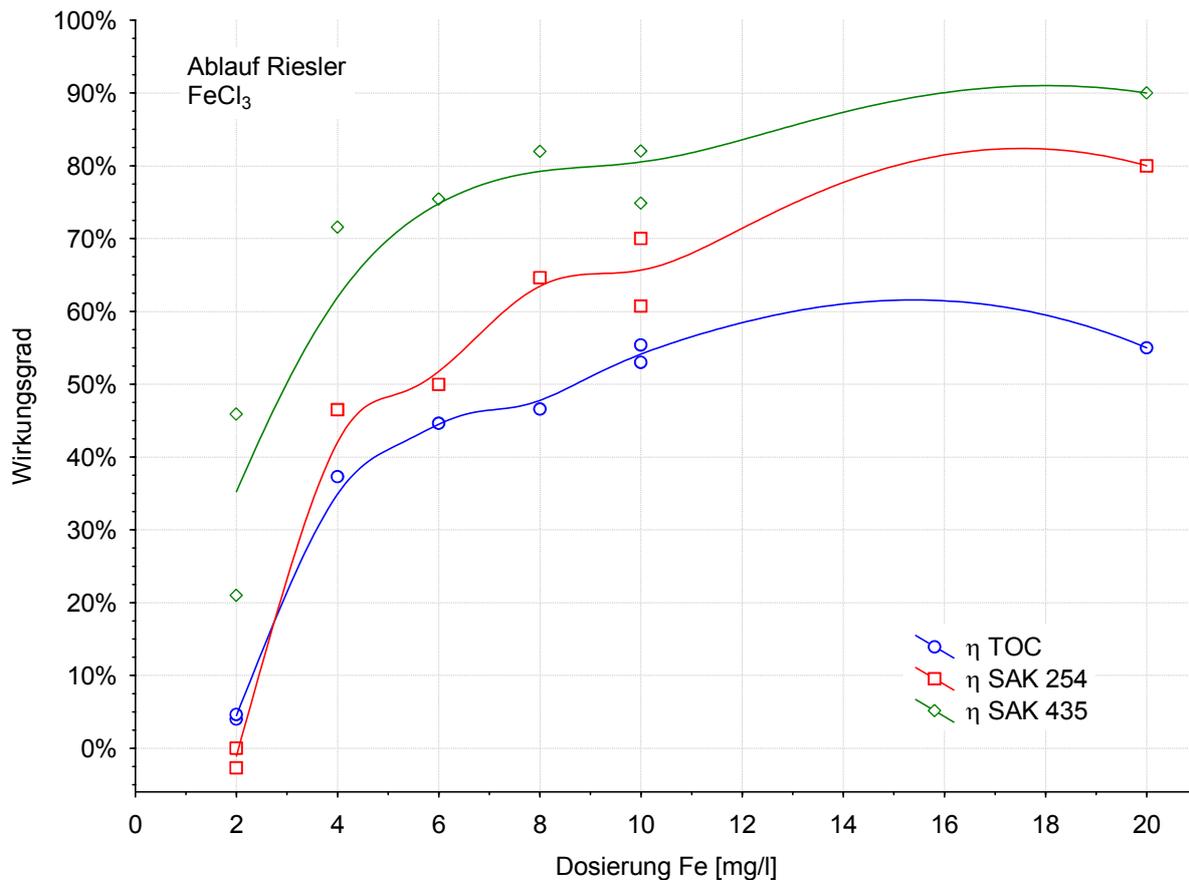


Abbildung 14: Wirkungsgrade der Fe-Flokkung, Ablauf Riesler

Tabelle 6: Ergebnisse Fe-Flokkung Ablauf Filter II

		Wirkungsgrad			Ablaufwerte					
Dosierung	pH	TOC	SAK254	SAK435	TOC	SAK254	SAK435	Fe	Mn	Al
	-	%	%	%	mg/l	m-1	m-1	mg/l	mg/l	mg/l
12 mg/l	4,2	76	73	82	1,0	4,0	0,2	0,41	0,08	0,07
12 mg/l	4,9	76	68	71	1,0	4,8	0,4	0,49	0,08	0,04
24 mg/l	5,8	51	78	65	2,0	3,3	0,5	0,30	0,16	0,02

Bei allen Laborversuchen mit Fe(III)-chlorid waren im Filtrat unzulässig hohe Gehalte an Eisen und Mangan vorhanden. Dies kann dadurch erklärt werden, dass der pH-Wert teilweise sehr niedrig war und auch dadurch, dass die Flockung innerhalb der 3 Minuten unvollständig war. Dadurch sind im geflokkten Wasser offenbar sehr viele Flocken von so geringer Größe enthalten, dass sie durch die Glasfaserfilter (Porenweite ca. 0,45 µm) nicht zurückgehalten werden. Bei Filtration mit einer Ultrafiltrationsmembran ist zu erwarten, dass ein großer Teil dieser Flocken auch zurückgehalten wird.

5.5.2 Filtermaterial

Der Betrieb einer Flockenfiltration erfordert den Einsatz eines geeigneten Filtermaterials. Bei der Implementierung der Flockenfiltration im Zuge des gegenständlichen Projektes traten Probleme hinsichtlich der Reinigungsleistung beim Rückspülen des Filters I auf. Es wurde festgestellt, dass auch bei mehrmaligem und sehr intensivem Rückspülen die gewünschte Reinigungsleistung nicht erreicht wurde und der Filter nach dem Rückspülen den gewünschten Flockenrückhalt nicht aufrecht halten konnte.

Das war der Auslöser für Detailuntersuchungen zum eingesetzten Filtermaterial und möglichen Optimierungspotenzialen (siehe Detailbericht im Anhang 2).

Es wurde festgestellt, dass die ursprünglich im Filter I eingesetzte Kornkombination (Hydro-Anthrasit H, Körnung I, 0,6-1,6 mm und Filterkies I, Körnung 0,7-1,2 mm) unter den gegebenen Bedingungen ungeeignet ist.

Aus Laboruntersuchungen mit einem Modellfilter ging hervor, dass das Fluidisierungsverhalten der eingesetzten Materialien sehr heterogen ist. Bei Filterversuchen mit Eisenflocken konnten im Ablauf des Modellfilters bei den Versuchen zum ursprünglichen Material sowohl vor als auch nach dem Rückspülen Eisengehalte beobachtet werden, was darauf schließen lässt, dass nicht alle Eisenflocken im Filter zurückgehalten werden.

Bei den Untersuchungen zum Filtersand der Körnung 0,4-0,8 mm zeigte sich ein deutlich besseres Bild. Mit den möglichen Spülgeschwindigkeiten in Heidenreichstein (max. 37 m/h) kann eine gute Reinigungswirkung des Filtersandes 0,4-0,8 mm erzielt werden. Sowohl vor als auch nach dem Rückspülen konnte praktisch kein Eisen im Ablauf des Versuchsfilters nachgewiesen werden.

Im Anschluss an die Laborversuche wurden Versuche Vor-Ort im Wasserwerk Heidenreichstein mit „Originalwasser“ durchgeführt. Dabei wurde die Kornkombination I (lt. Datenblatt Hydro-Anthrasit H) untersucht werden, d.h. Filtersand der Körnung 0,4-0,8 mm und darüber Hydro-Anthrasit H (Körnung I, 0,6-1,6 mm). Die Beschickung erfolgte mit Wasser, welches direkt vor der Einleitung in den Filter I entnommen wurde (also nach der Dosierstelle von FeCl_3), um einen möglichst realitätsnahen Kleinversuch zu gewährleisten. Die Ergebnisse deckten sich mit den Laborversuchen.

Daher wurde auf Basis dieser Untersuchungen entschieden, den Filtersand der Körnung 0,7-1,2 mm im Filter I mit Filtersand der Körnung 0,4-0,8 mm zu ersetzen. Dieser Schritt, welcher Anfang Juni 2008 realisiert wurde, war entscheidend für eine erfolgreiche Flockenfiltration. Nach einer Einarbeitungszeit von wenigen Wochen, konnten ab Ende Juni 2008 sehr gute Wirkungsgrade hinsichtlich der Entfernung von TOC und Trübung erzielt werden, womit die Voraussetzung für einen stabilen Betrieb der Ultrafiltration geschaffen war.

5.6 Entmanganung, Filter II

Nach der Flockenfiltration und der Enteisung im Filter I wurde als weitere Filterstufe ein eigens für die (Rest-)Entmanganung konzipierter Filter eingerichtet. Der Filter II ist baugleich zu Filter I. Die Gesamtschichthöhe beträgt 200 cm und der Aufbau des Filtermaterials von oben nach unten ist wie folgt:

Hydrokarbonat (Körnung 1,8-2,5 mm)	70 cm
Hydrolit–Mangan I (Körnung 1-3 mm)	100 cm
Stützkies (3-2 mm)	10 cm
Stützkies (3-5,6 mm)	10 cm
Stützkies (5-8 mm)	10 cm

Die Entmanganung verläuft teilweise über biologische Prozesse. Das Filtermaterial Hydrolit-Mangan unterstützte den Aufbau einer entsprechenden Biozönose im Filter. Jedoch war zu Projektbeginn bis zur vollen Wirksamkeit des Filters eine Einarbeitungszeit von mehreren Wochen erforderlich.

Ungefähr alle 14 Tage wurde der Filter II rückgespült, um die Verunreinigungen (abgeschiedene Partikel bzw. Flocken, welche vom Filter I nach ev. Durchbrechen nicht zurückgehalten wurden) zu entfernen.

5.7 Entsäuerung, Filter III

Der letzte konventionelle Filterschritt nach der Enteisung und Entmanganung ist die Entsäuerung in einem geschlossenen Filter (Filter III). Dabei wird das Wasser über ein karbonatisches Filtermaterial geleitet. Die Gesamtschichthöhe in Filter III (Filterkessel baugleich zu Filter I und II) beträgt 200 cm und der Aufbau des Filtermaterials von oben nach unten ist wie folgt:

Hydrokarbonat (Körnung 1,6-2,5 mm)	170 cm
Stützkies (3-2 mm)	10 cm
Stützkies (3-5,6 mm)	10 cm
Stützkies (5-8 mm)	10 cm

Filter III wird alle drei bis vier Wochen rückgespült, um ev. vorhandene Verunreinigungen zu entfernen und ein Verklumpen des Filtermaterials zu vermeiden.

5.8 Ultrafiltration (UF)

Der für den Betrieb von Ultrafiltrationsanlagen entscheidende Parameter ist die Flächenbelastung, auch Flux genannt, in l/m^2h . Übliche Werte für den Flux von Membrananlagen zur Trinkwasseraufbereitung liegen zwischen 60 und 100 l/m^2h . Der zweite wichtige Parameter ist das Rückspülintervall, das üblicherweise zwischen 15 und maximal 120 Minuten liegt. Zu Beginn der Versuche im Wasserwerk Heidenreichstein wurde ein Flux von 80 l/m^2h gewählt. Die Rückspülungen erfolgten im Abstand von 45 Minuten. Der erste Probetrieb der Ultrafiltrationsanlage mit dem Ablauf des Filters III (Entsäuerung) wurde am 23.10.2007 gestartet. Der Verlauf von Flächenbelastung und Permeabilität ist in der Abbildung 15 dargestellt. Die Trübung im Zulauf zur Ultrafiltrationsanlage lag in diesem Zeitraum bei ca. 4,6 FNU.

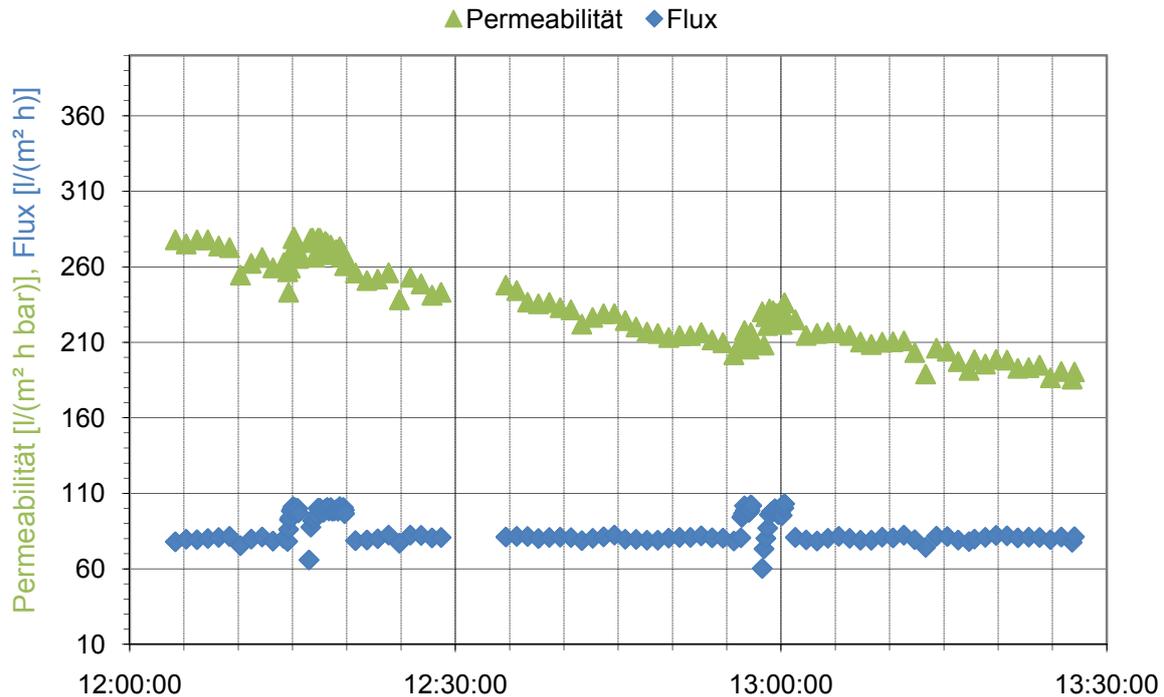


Abbildung 15: Versuchsbetrieb 23.10.2007

Anhand des Probelaufes war zu erkennen, dass bei der gewählten Flächenbelastung eine rasche Abnahme der Membrandurchlässigkeit auftritt. Aus diesem Grund wurden die weiteren Versuche mit einer halbierten Flächenbelastung ($40 \text{ l/m}^2\text{h}$) und einem Rückspülintervall von 30 Minuten durchgeführt (siehe Abbildung 16).

Da Ultrafiltrationsmembranen zur Abscheidung von Partikeln, d.h. von Trübstoffen, eingesetzt werden, sind die Ausbildung einer Deckschicht auf der Membran und ein Anstieg des erforderlichen transmembranen Druckes (TMP) unvermeidlich. Die Ergebnisse des Versuchsbetriebes vom 26.11. bis 27.12.2007 zeigen jedoch, dass mit den gewählten Betriebseinstellungen eine sehr rasche Verblockung der Membran auftritt. Durch die halbstündig stattfindenden Rückspülungen kann die während der Filtration abgeschiedene Deckschicht nicht vollständig entfernt werden. Die Permeabilität nahm dadurch innerhalb einer Woche um ca. 60 Prozent ab. Daraus ergab sich die Notwendigkeit, die Anlage zweimal chemisch zu reinigen (in der Abbildung 16 mit CIP gekennzeichnet). Da zunächst vermutet wurde, dass die Membranverblockung durch Eisenhydroxid verursacht wurde, sind die chemischen Reinigungen mit Salzsäure durchgeführt worden. Die Ausgangspermeabilität konnte dadurch jedoch nicht wiederhergestellt werden. Spätere Reinigungsversuche im Januar 2008 wurden mit Natronlauge durchgeführt. Die Reinigungen mit Natronlauge bei einem pH-Wert von 12 waren wesentlich effektiver und führten zur vollständigen Wiederherstellung der Permeabilität.

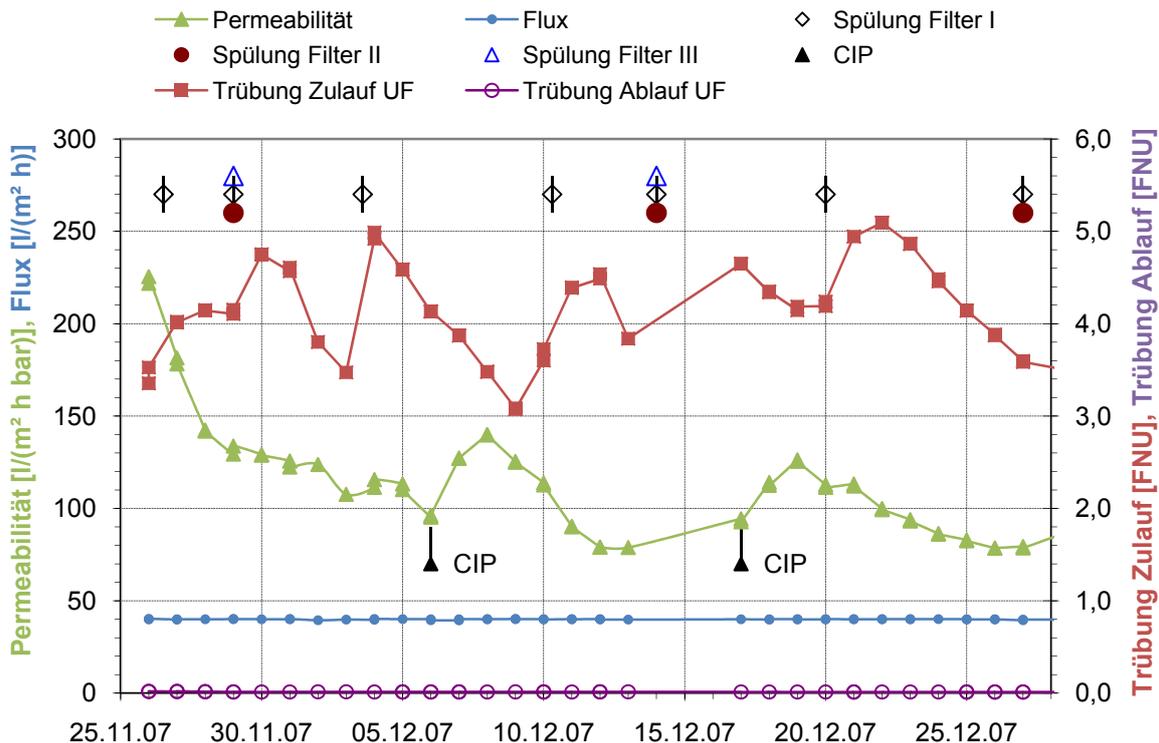


Abbildung 16: Tagesmittelwerte für den Zeitraum 26.11. – 27.12.2007

Basierend auf den Versuchsergebnissen im Zeitraum 26.11. – 27.12.2007 und den Reinigungen konnte festgestellt werden, dass die Membranverblockung vorwiegend durch die Adsorption von Huminstoffen (gemessen als TOC bzw. DOC und SAK 254) in den Poren der Membran verursacht wird. Die aus dem Rohwasser stammenden Huminstoffe wurden zu diesem Zeitpunkt in den vorgelagerten Aufbereitungsstufen nicht zurückgehalten und gelangten somit in relativ hoher Konzentration von ca. 5 mg/l auf die Membran.

Aufgrund des hohen pH-Wertes während der Reinigungen mit Natronlauge werden die Huminstoffe allmählich hydrolysiert und von der Oberfläche der Membran abgelöst. Dieser Prozess verläuft allerdings sehr langsam und erfordert entsprechend lange Einwirkzeiten im Bereich von mehreren Stunden. Begünstigt wird der Hydrolyseprozess durch die Erwärmung der rohwasserseitig rezirkulierten Reinigungslösung auf ca. 30 °C. Im Rahmen der zyklischen Rückspülung im 30 Minuten Intervall können derartige Einwirkzeiten und Temperaturen jedoch nicht realisiert werden.

Auch wenn im betrachteten Zeitraum vor den Filtern I und II kein Flockungsmittel dosiert wurde, muss festgestellt werden, dass die Trübung im Ablauf der Filter ungewöhnlich hoch war. Offenbar sank die Abscheideleistung der Filter nach jeder Spülung deutlich ab (siehe auch Kapitel 5.5.2). Erst im Verlauf mehrerer Tage stieg sie allmählich wieder an und die Trübung im Filterablauf sinkt von 5 auf ca. 3 FNU. Hier ist anzumerken, dass der Messbereich des Trübungsmessgerätes im Zulauf zur Ultrafiltrationsanlage nach oben auf 5 FNU begrenzt ist. Die Trübung im Ablauf der Filter I – III lag tatsächlich zeitweise über 5 FNU. Die in der Abbildung 16 dargestellten Werte sind Tagesmittelwerte. Nach einer Statistik der American Water Works

Association sollten selbst für Filter ohne Flockung Trübungswerte kleiner 0,8 FNU erreicht werden (LUSARDI & CONSONERY, 1999).

Neben der erwähnten Abscheidung eines Teils der Huminstoffe auf der Membran wurde auch der Rückhalt von Eisen durch die Membran beobachtet. Bei den Beprobungen am 26. und 27.11.2007 wurden im Reinwasser der Ultrafiltrationsanlage Eisengehalte $< 0,010$ mg/l gemessen. Da jedoch der Rückhalt an organischen Stoffen (gemessen als SAK 254) durch die Membran sehr gering war, kann man davon ausgehen, dass nur die Huminstoffe durch die Membran zurückgehalten werden, die an Eisen kolloidal gebunden vorliegen und alle anderen die Membran passieren können.

Nach Aktivierung der Fe-Flockung vor dem Filter I wurde die Ultrafiltrationsanlage vom 27.02. bis zum 04.03.2008 wieder in Betrieb genommen (siehe Abbildung 17). Zu diesem Zeitpunkt war ein effektiver Rückhalt der Flocken durch die Filter I und II nicht gegeben. Die Trübung im Zulauf zur Membrananlage war so hoch, dass es erneut zu einem raschen Verblocken der Membran kam. Durch eine am 19.05.2008 durchgeführte Reinigung mit Natronlauge konnte die Permeabilität jedoch vollständig wiederhergestellt werden.

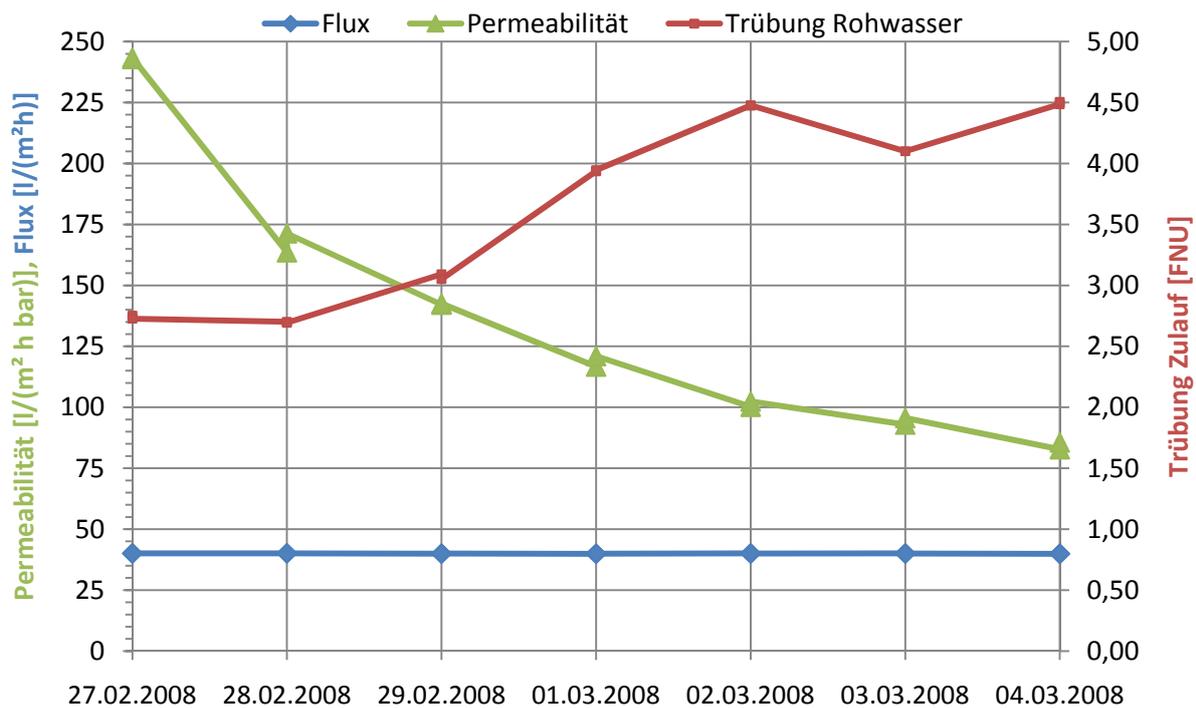


Abbildung 17: Tagesmittelwerte für Zeitraum 27.02. – 04.03.2008

Nach der Ertüchtigung des Filters I (siehe Kapitel 5.5.2) ist die Membrananlage am 30.06.2008 mit einem Flux von 80 l/m²h und einem Spülintervall von 30 Minuten wieder angefahren worden (siehe Abbildung 18). Trotz der Dosierung von Fe(III)-chlorid in einer Konzentration von 10 mg/l sank die Permeabilität erneut rasch ab. Zwei Reinigungsversuche mit Natronlauge am 14.07.2008 blieben nahezu wirkungslos, da die Heizung für die Reinigungslösung ausgefallen war und die Einwirkzeit für die somit reduzierte Hydrolysegeschwindigkeit nicht ausreichend war.

Erst das Anheben der Dosierkonzentration vor Filter I auf 16 mg/l und die Dosierung von 2 mg/l Fe(III)-chlorid vor der Membran führten nach einer kurzen chemischen Reinigung mit Natronlauge und Natriumhypochlorit zu einem Ansteigen der Permeabilität. Der Versuch, die Eisenkonzentration vor Filter I auf 12 mg/l zu reduzieren, führte zum erneuten Absinken der Permeabilität. Durch Umstellen auf eine Dosierung von 12 mg/l vor Filter I und 4 mg/l vor der Membran konnte die Durchlässigkeit der Membran wieder auf ca. 250 l/m²hbar angehoben werden. Allerdings konnte durch diese Einstellungen keine bleibende Verbesserung der Prozessstabilität erreicht werden.

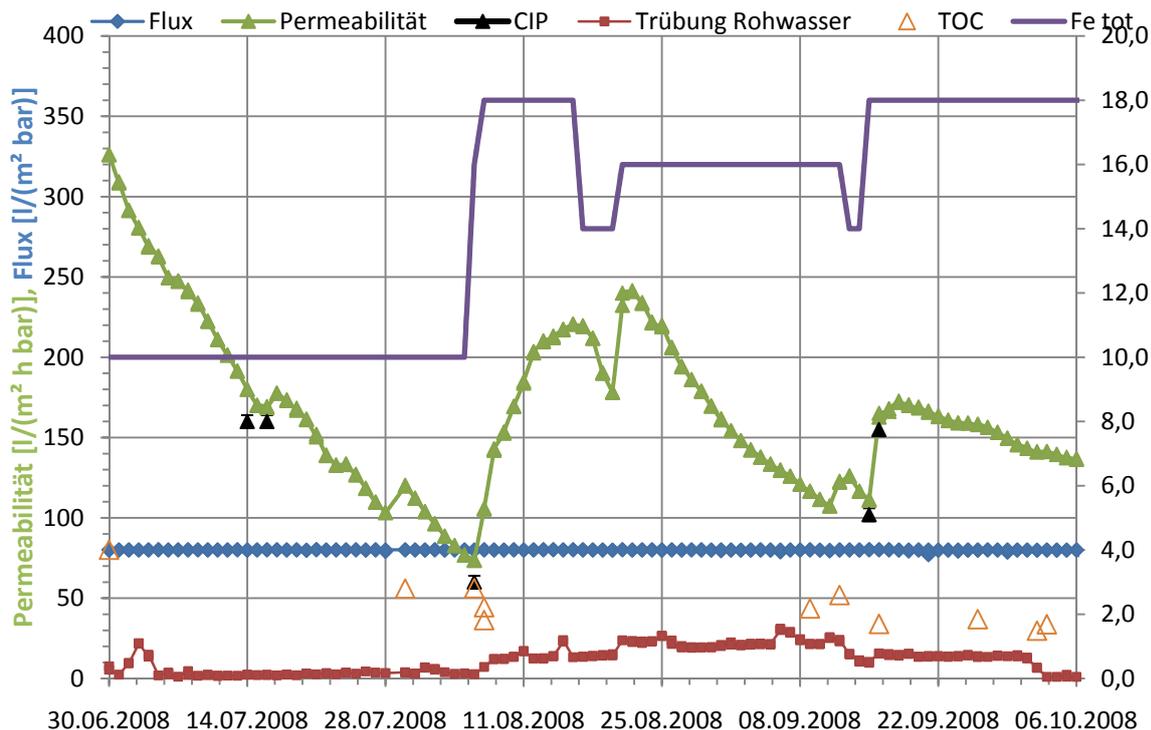


Abbildung 18: Tagesmittelwerte für den Zeitraum 30.06. – 06.10.2008

Da teilweise ein Durchschlagen des vor der Membran dosierten Eisens in das Reinwasser beobachtet wurde, ist die Ultrafiltrationsanlage, die bis dahin mit dem Ablauf des Entsäuerungsfilters (Filter III) betrieben wurde, am 25.08.2008 vor dem Entsäuerungsfilter angeordnet worden. Dadurch wurde erreicht, dass Eisen, welches nicht vollständig in Flocken eingebunden wurde und die Membran passieren kann, auf dem Entsäuerungsmaterial abgeschieden wird.

Das im Wasserwerk Heidenreichstein aufbereitete Wasser befindet sich offenbar bereits beim Verlassen des Filters II im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht. Ursache dafür ist die im Filter II befindliche Schicht mit Akdolit. Daher herrschten bezüglich der Flockung gleiche pH-Werte und Pufferkapazitäten, unabhängig davon ob die Membran vor oder nach dem Entsäuerungsfilter angeordnet war. Unterschiede bei der Flockung mit Fe(III)-chlorid waren daher nicht zu erwarten.

Trotz des zuvor beobachteten Anstiegs der Permeabilität durch die kombinierte Fe-Dosierung vor Filter I und vor der Membran, wurde auch in dieser Phase keine gleichbleibende Permeabilität der Membran erreicht.

Nach einer weiteren Reinigung am 12.09.2008 und der erneuten Anhebung der Fe-Dosierung auf 18 mg/l (16 mg/l vor Filter I und 2 mg/l vor der Ultrafiltration) wurde die Ultrafiltrationsanlage wieder nach dem Filter III angeordnet. Bis zum 06.10.2008 wurde die Ultrafiltrationsanlage dann mit einem Flux von 80 l/m²h betrieben. Die Permeabilität nahm in diesem Zeitraum deutlich langsamer ab als zuvor. Ab dem 05.10.2008 wurde dann ein Flux von 60 l/m²h eingestellt. Diese Verringerung der Flächenbelastung führte zu einer weiteren Verlangsamung der Membranverblockung (siehe Abbildung 19).

Die letzte Reinigung der Membran wurde am 27.10.2008 vorgenommen. Danach wurde die Ultrafiltrationsanlage weiter mit einem Flux von 60 l/m²h betrieben. Die DOC-Entfernung erfolgte durch Dosierung von 20 mg/l Fe(III)-chlorid vor Filter I. Das Rückspülintervall konnte stufenweise von 30 Minuten auf bis zu 60 Minuten erhöht werden. Dadurch stieg die Ausbeute der Ultrafiltrationsstufe von ca. 90 % auf ca. 95 %.

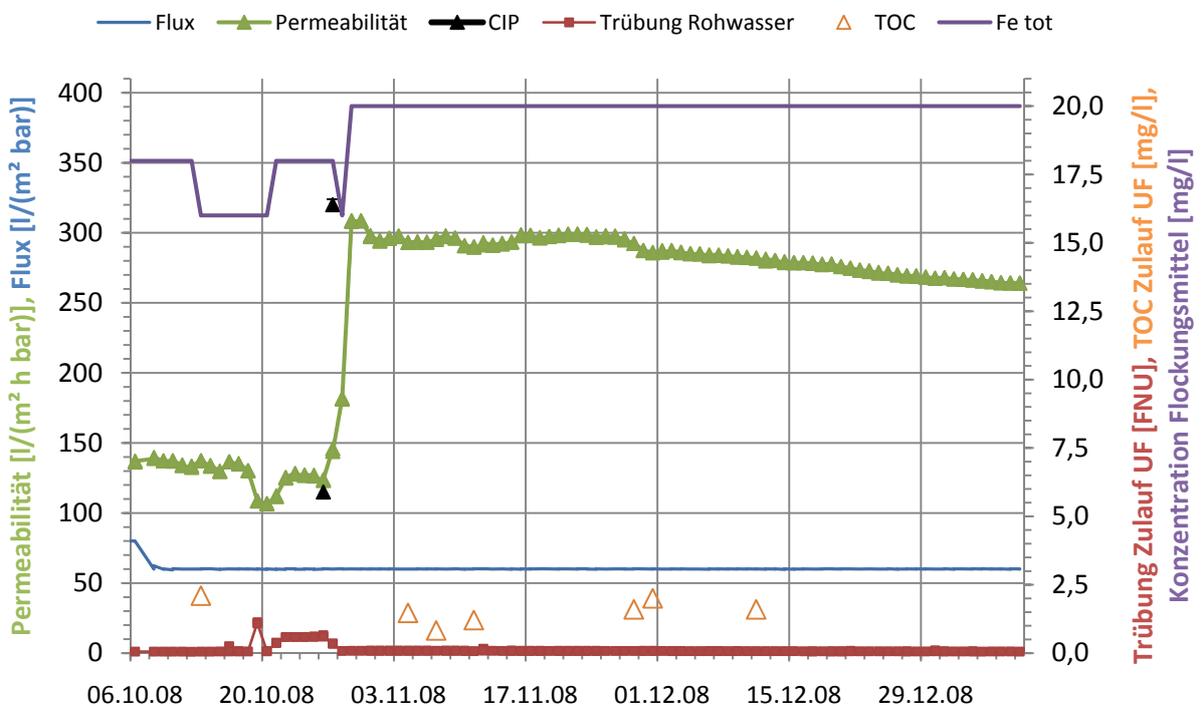


Abbildung 19: Tagesmittelwerte für den Zeitraum 06.10.2008 – 09.01.2009

Während aller Versuchseinstellungen wurden die Trübstoffe durch die Membran vollständig zurückgehalten. Die Trübung im Ablauf der Ultrafiltrationsanlage lag im Mittel bei 0,01 FNU.

Die Ergebnisse der verschiedenen Versuchsphasen können für den Aufbereitungsteil „Ultrafiltration“ wie in der Tabelle 7 gezeigt zusammengefasst werden. Dargestellt sind Mittelwerte für den transmembranen Druck *TMP*, die Ausbeute und die Abnahme der Permeabilität *J*. Die Mittelwerte wurden für die genannten Zeiträume und die Abschnitte zwischen den chemischen Reinigungen berechnet.

Tabelle 7: Zusammenfassung Versuchsergebnisse Ultrafiltrationsanlage

Zeitraum		Filtration			Rückspülung		Ausbeute	ΔJ
		Flux	Dauer	TMP	Flush	Dauer		
von	bis	l/m ² h	min	bar	l/m ² h	s	%	(l/m ² h bar) / Woche
23.10.07	23.10.07	80	45	0,36	200	60	96 ¹⁾	10.000 ¹⁾
26.11.07	06.12.07	40	45	0,41	230	60	80	90
27.02.08	04.03.08	40	30	0,48	230	60	75	160
30.06.08	12.09.08	80	30	0,63	280	60	92	60
05.10.08	26.10.08	60	30	0,57	280	60	90	15
18.11.08	08.01.09	60	60	0,27	280	60	96	4

¹⁾ Werte extrapoliert, Versuchsdauer ca. 2 h

Ein stabiler Betrieb wurde also durch die Wahl einer Flächenbelastung von 60 l/m²hbar und ein Rückspülintervall von 30 bis 60 Minuten erreicht. Die Rückspülung erfolgte für eine Dauer von 60 s und mit einer Flächenbelastung von 280 l/m²hbar. Einmal pro Tag erfolgte eine Rückspülung der Membran mit Natronlauge bei einem pH-Wert von 11 bis 12, unmittelbar gefolgt von einer Rückspülung mit Salzsäure bei einem pH-Wert von 2 bis 3. Zusätzlich wurde einmal täglich beim Befüllen des Permeatspeichers (siehe Abbildung 10) Natriumhypochlorit zugegeben, so dass sich im Behälter eine Konzentration von ca. 3 mg/l eingestellt hat. Damit sollte ein Aufkeimen im Behälter vermieden werden. Bei der nächsten Rückspülung erfolgte dann auch eine Desinfektion der Membran mit diesem Wasser.

Eine weitere wesentliche Voraussetzung für den stabilen Anlagenbetrieb ist die Reduzierung des DOC im Zulauf zur Ultrafiltrationsanlage auf ca. 2 mg/l. Durch die weitgehende Entfernung der Huminstoffe in den vorgelagerten Aufbereitungsstufen konnte eine deutliche Verringerung des Foulingpotentials des Rohwassers erreicht werden (siehe Abbildung 20). Das Foulingpotential wurde über den modifizierten Fouling-Index (MFI-UF) nach BOERLAGE et al. (2002) bestimmt.

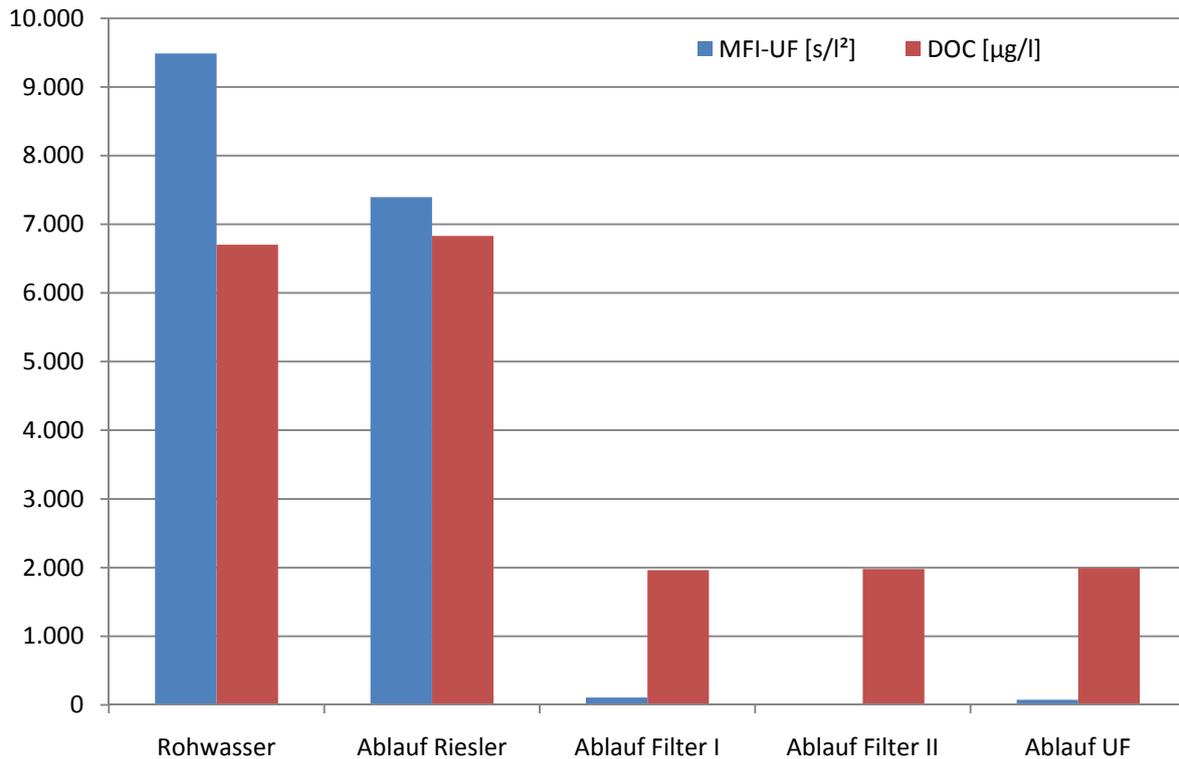


Abbildung 20: DOC und MFI-UF für verschiedene Prozessstufen

Mit der festgestellten Abnahme der Permeabilität um 4 l/m²hbar ist eine Abschätzung für die erforderliche Häufigkeit chemischer Reinigungen (CIP) möglich. Bei einer Anfangspermeabilität von 300 l/m²hbar und einer zulässigen Verringerung der Permeabilität bis auf 100 l/m²hbar bis zur chemischen Reinigung ergibt sich ein Abstand zwischen zwei Reinigungen von ca. 50 Wochen. Dies bedeutet, dass intensive Reinigungen mit Natronlauge ca. einmal pro Jahr erforderlich wären.

5.9 UV-Desinfektion

Im Zeitraum vom 21.10.2008 bis 9.1.2009 erfolgte als letzter Aufbereitungsschritt nach der Ultrafiltration eine UV-Desinfektion. Die UV-Desinfektionsanlage vom Typ „Spektron 15“ wurde von der Firma ITT für den Untersuchungszeitraum leihweise zur Verfügung gestellt. Die Anlage ist ausgelegt für eine maximale Durchflussmenge von $Q = 7,9 \text{ m}^3/\text{h}$ und funktioniert bis zu einer Mindesttransmission von 11 %. Als Zielwert (Auslegungswert) wird laut Herstellerangaben eine Transmission von ca. 55 % gefordert.

Über den gesamten Testzeitraum der UV-Desinfektionsanlage wurden die Kennwerte „Intensität“ und „Transmission T_{100} “ über einen Datenlogger aufgezeichnet (Abbildung 21). Daraus ist ersichtlich, dass die geforderten Transmissionswerte praktisch über den gesamten Untersuchungszeitraum eingehalten werden.

Durch eine Reinigung des Vorlagebehälters im Wasserwerk (nach UV-Anlage), der Transportleitung und des Hochbehälters kam es am 12.11.2008 zu einer mehrstündigen Stillstandszeit der gesamten Aufbereitungsanlage, wodurch sich in der UV-Desinfektionsanlage Ablagerungen gebildet haben dürften. Dies führte zu einem Rückgang der Transmission auf ca. 55 %. In den folgenden Tagen stieg die Transmission dann bis auf ca. 65 % an, allerdings war eine Reinigung der gesamten UV-Desinfektionsanlage erforderlich, um die Transmission wieder auf das Niveau von über 80 % ansteigen zu lassen. Im Zeitraum vom 25.11.2008 bis zum Ende der Untersuchungen am 9.1.2009 lag die Transmission durchwegs zwischen ca. 80 % und 86 % (mit leicht steigender Tendenz gegen das Ende des Projektzeitraumes hin).

Somit zeigte sich, dass mit einer funktionierenden Flockenfiltration am Beginn der Aufbereitung die Transmission soweit gesteigert werden kann, dass eine ausreichende UV-Durchlässigkeit für die UV-Desinfektion gegeben ist. Ohne eine Flockenfiltration, welche durch die partielle Entfernung von Huminstoffen die Transmission erhöht, wäre eine Desinfektion mittels UV nicht möglich. Die der Flockenfiltration nachfolgenden Aufbereitungsschritte, inklusive der Ultrafiltration, führten im Wesentlichen zu keiner weiteren Reduktion der UV-Durchlässigkeit.

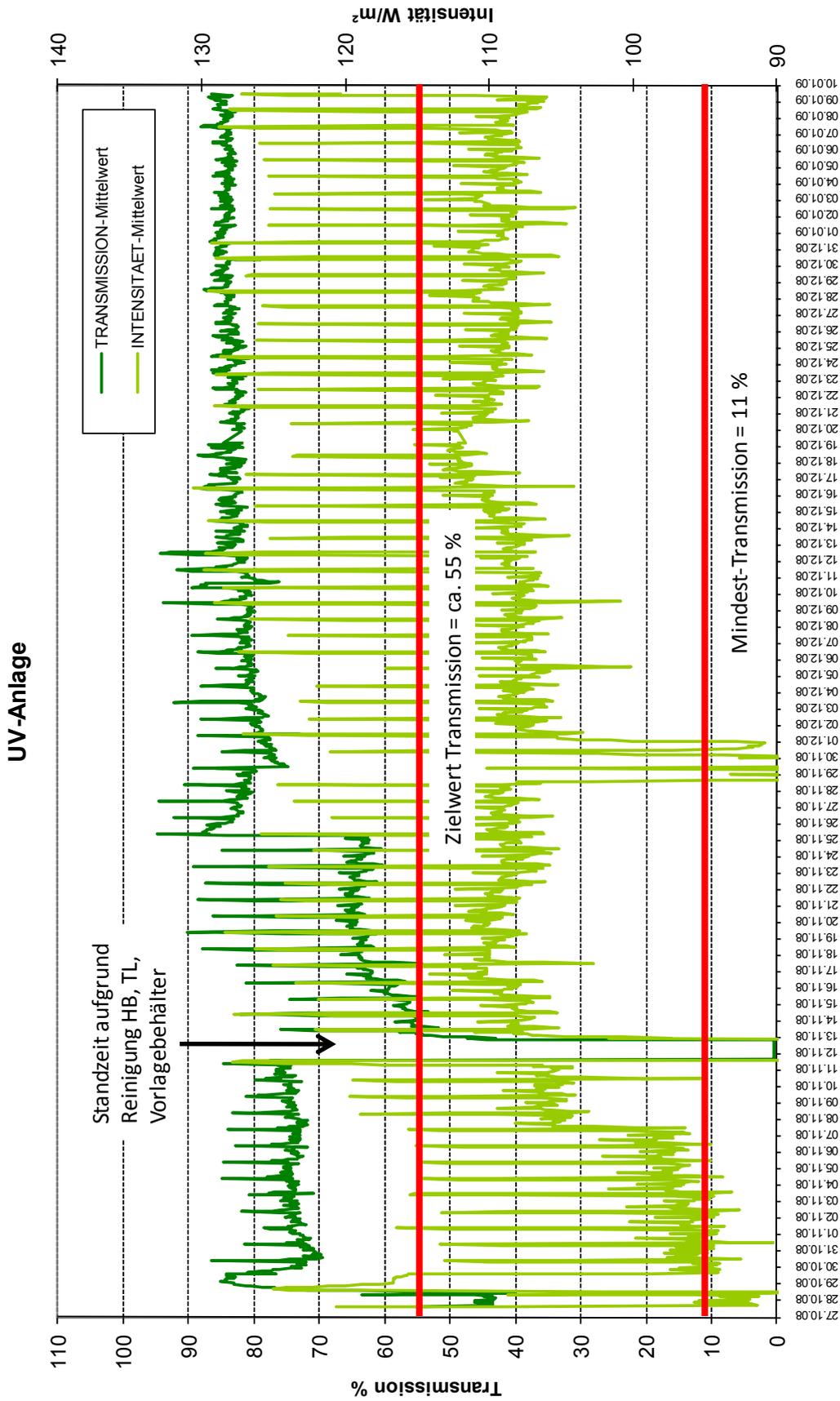


Abbildung 21: Kennwerte UV-Anlage

5.10 Ergebnisse der chemisch-physikalischen Untersuchungen

Zur Überprüfung der Wirkungsweise der Anlage wurden ab Ende September 2007 regelmäßig Untersuchungen des Rohwassers und der Abläufe der jeweiligen Aufbereitungsstufen (Riesler, Filter I, Filter II, Filter III, fallweise Ultrafiltrationsanlage) durchgeführt, wobei folgende Parameter erhoben wurden:

- * Eisengehalt (PhotoLab S12, WTW mit Spectroquant 14761, Merck)
- * Mangangehalt (PhotoLab S12, WTW mit Spectroquant 14770, Merck)
- * Temperatur (Multi 340i, WTW)
- * pH-Wert (pH 320, WTW)
- * Leitfähigkeit (LF 318, WTW)
- * Redox-Potential (Multi 340i, WTW)
- * Sauerstoffgehalt (Multi 340i, WTW)
- * Transmission (KAWIMETER 254, KATADYN)

Ausgehend von Eisengehalten zwischen 0,92 und 11,2 mg/l und Mangangehalten zwischen 0,65 und 1,52 mg/l im Rohwasser, werden in den Abläufen der jeweiligen Aufbereitungsstufen Werte in den unten angeführten Bereichen erreicht (Tabelle 8).

Tabelle 8: Eisen- und Mangangehalte in den Abläufen der jeweiligen Aufbereitungsstufen

		Abläufe der Aufbereitungsstufen				
		Riesler	Filter I	Filter II	Filter III	UF-Anlage
Eisen	von	0,65 mg/l	<0,01 mg/l	<0,01 mg/l	<0,01 mg/l	<0,01 mg/l
	bis	6,48 mg/l	2,50 mg/l	0,98 mg/l	0,65 mg/l	0,05 mg/l
Mangan	von	0,58 mg/l	0,03 mg/l	0,01 mg/l	0,01 mg/l	<0,01 mg/l
	bis	1,92 mg/l	1,86 mg/l	1,12 mg/l	0,22 mg/l	0,03 mg/l

Die entsprechenden Bereiche für die Elimination von Eisen und Mangan in den jeweiligen Aufbereitungsstufen sind in Tabelle 9 angegeben.

Tabelle 9: Elimination von Eisen und Mangan bezogen auf den Rohwasserwert in den Abläufen der jeweiligen Aufbereitungsstufen in Prozent

		Abläufe der Aufbereitungsstufen				
		Riesler	Filter I	Filter II	Filter III	UF-Anlage
Eisen	von	1,4 %	33,9 %	1,1 %	0,0 %	0,0 %
	bis	57,9 %	91,0 %	24,5 %	14,7 %	22,0 %
Mangan	von	0,0 %	0,6 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
	bis	30,9 %	84,9 %	92,4 %	11,5 %	3,6 %

In Abbildung 22 ist die Entwicklung der Eisengehalte im Rohwasser und in den Abläufen der einzelnen Aufbereitungsstufen im Zeitraum von Juni 2007 bis Mitte Dezember 2008 dargestellt.

Während der Eisengehalt im Rohwasser zu Beginn des Projektes bis Ende Februar 2008 stets unter 2 mg/l lag, kam es nach diesem Zeitraum zu einem deutlichen Anstieg mit einem Wert bis zu 11,2 mg/l. Nach Tausch des Filtermaterials entsprechender Einarbeitungszeit und Zudosierung eines Flockungsmittels (FeCl_3) gelang es den Eisengehalt, trotz steigender Eisengehalte im Rohwasser, nachhaltig unter 0,01 mg/l abzusenkten.

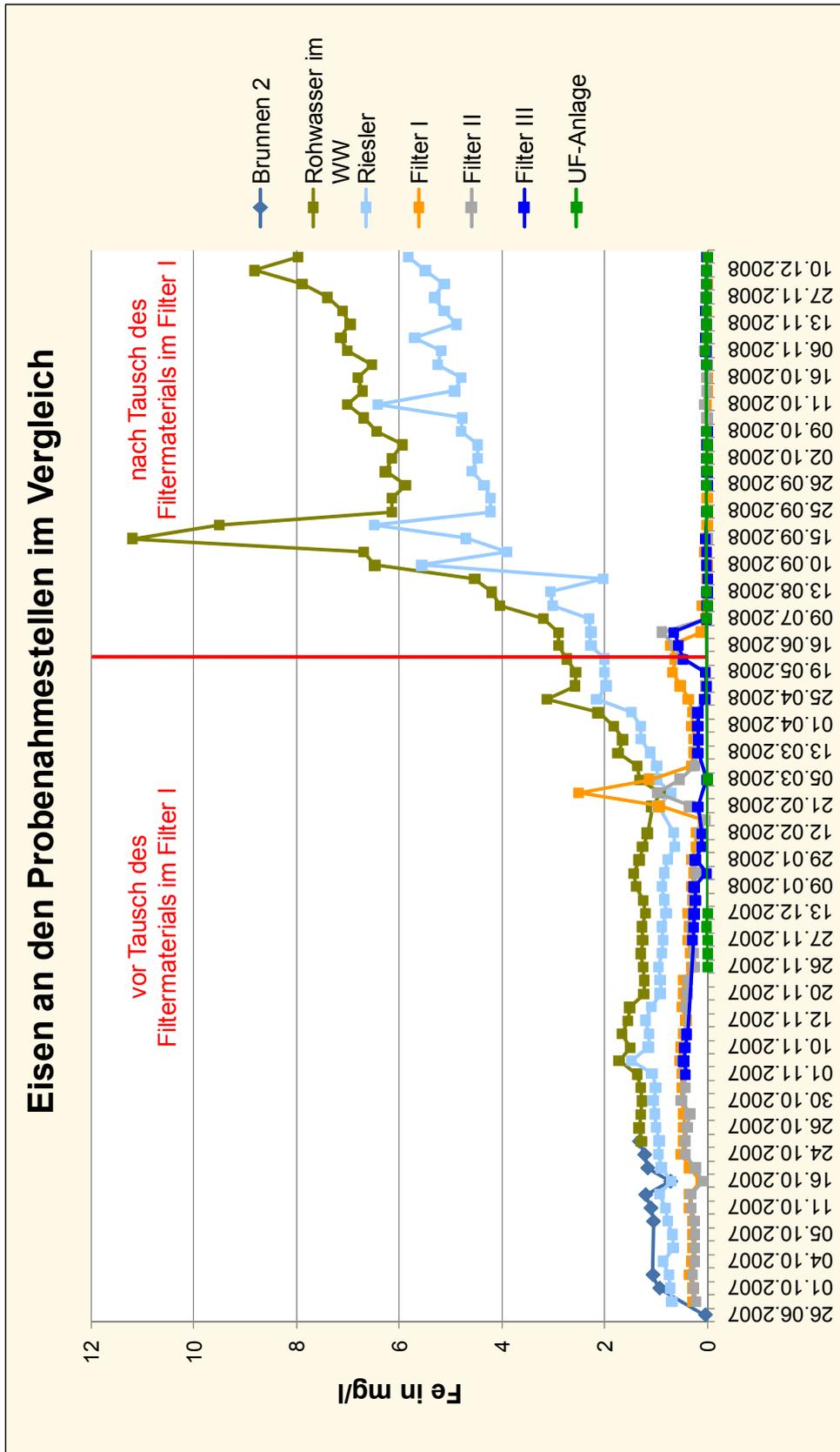


Abbildung 22: Entwicklung der Eisengehalte im Rohwasser (Brunnen 2) und in den einzelnen Aufbereitungsstufen

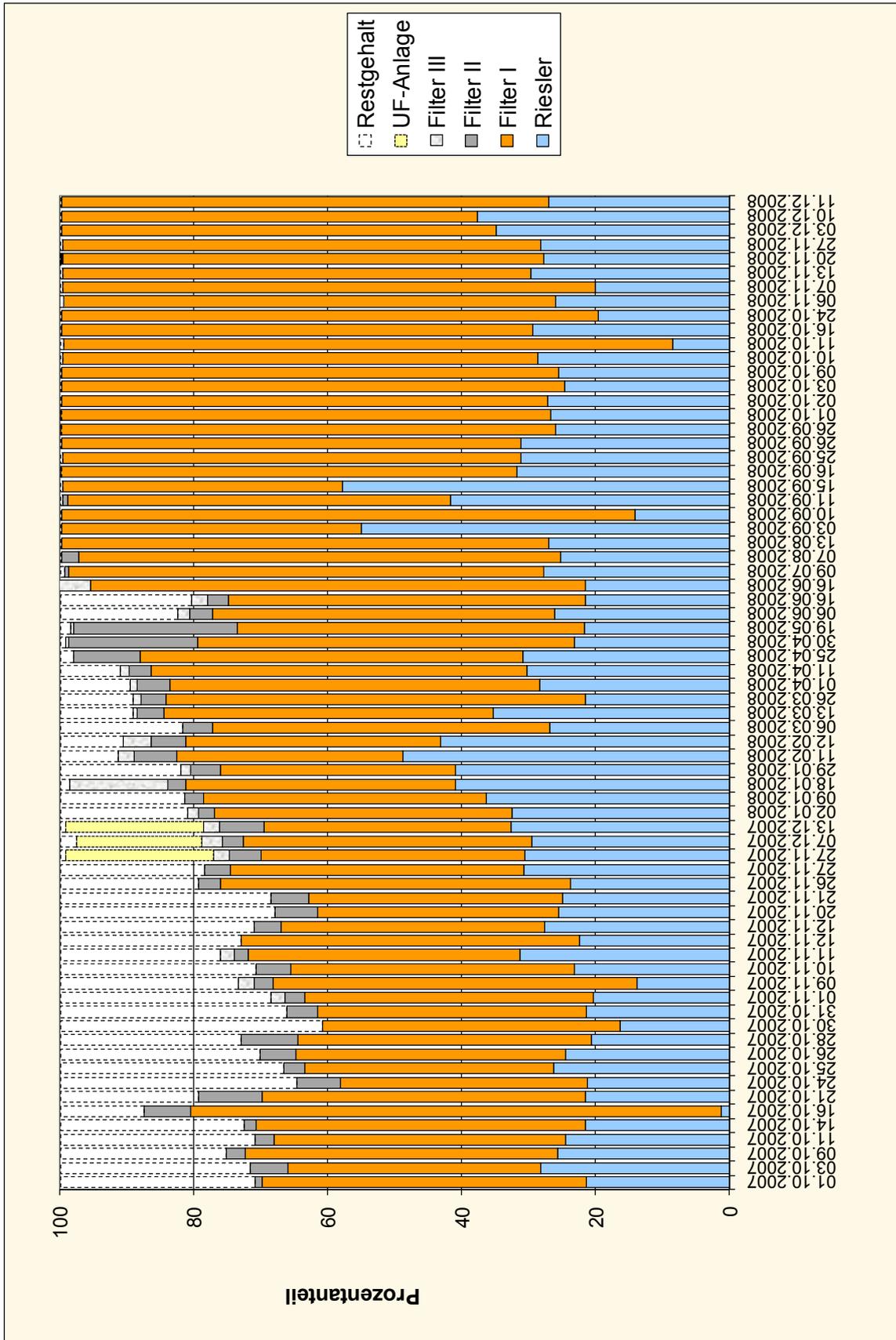


Abbildung 23: Eisenelimination, Prozentanteile der einzelnen Aufbereitungsstufen

Die hohen Eisengehalte in den Abläufen der Filter I und II am 21.02., 28.02. und 05.03.2008 sind auf Restgehalte des verwendeten Flockungsmittels (FeCl_3) zurückzuführen.

Abbildung 23 zeigt die Eisenelimination in den Abläufen der einzelnen Aufbereitungsstufen bezogen auf den Eisengehalt im Rohwasser in Prozent.

In Abbildung 24 ist die Entwicklung der Mangangehalte im Rohwasser und in den Abläufen der einzelnen Aufbereitungsstufen im Zeitraum von Ende Juni 2007 bis Mitte Dezember 2008 dargestellt. Der im Rohwasser vorhandene Mangangehalt wird durch die bestehende Aufbereitungsanlage seit Anfang November 2007 auf ein ausreichendes Maß reduziert. Dabei ist zu erwähnen, dass in der Grafik die Ergebnisse der Manganbestimmung vor Ort mittels Spectroquant 14770 eingetragen sind, die, wie eine Vergleichsuntersuchung am 29.01.2008 ergab (Tabelle 10), um ca. 0,1 mg/l über den im Labor der Universität der Bundeswehr München parallel erhobenen Werte liegen.

Tabelle 10: Vergleich der Ergebnisse der Bestimmung des Mangangehaltes vom 29.01.2008; vor Ort Bestimmung mittels Spectroquant 14770 und Bestimmung im Labor der Universität der Bundeswehr München.

	Rohwasser und Abläufe der Aufbereitungsstufen				
	Rohwasser	Riesler	Filter I	Filter II	Filter III
Mangan vor Ort	0,99	0,82	0,08	0,06	0,05
Mangan Labor UniBW	0,84	0,68	< 0,01	< 0,01	< 0,01

Abbildung 25 zeigt die Manganelimination in den Abläufen der einzelnen Aufbereitungsstufen bezogen auf den Mangangehalt im Rohwasser in Prozent. Während die Reduktion des Mangangehaltes im Zeitraum von Ende September 2007 bis Ende November 2007 hauptsächlich im Filter II stattfand, verlagerte sich diese ab Anfang Dezember 2007 in den Filter I und ab Mitte Juni 2008 wieder zurück in Filter II. Diese Verlagerung lässt sich durch folgende Umstände erklären:

- Die Mangangehalte im Zulauf zu Filter I im Zeitraum Dezember 2007 bis Juni 2008 waren niedriger und die Eisengehalte begannen erst gegen Ende dieses Zeitraumes anzusteigen (siehe Abbildung 22 und Abbildung 24). Filter I hat unter diesen Bedingungen ausreichende Kapazitäten um auch die Entmanganung übernehmen/durchführen zu können.
- Keine kontinuierliche Flockungsmitteldosierung, weshalb der pH-Wert in einem für die Entmanganung günstigen Bereich lag.
- Am 2./3.Juni 2008 erfolgte, wie bereits ausgeführt, der Wechsel des Filtermaterials, ab 16.Juni 2008 wurde durchgehend Fe(III) -chlorid dosiert wodurch der pH-Wert absank und dadurch die Entmanganung wieder in Filter II verlagert wurde.

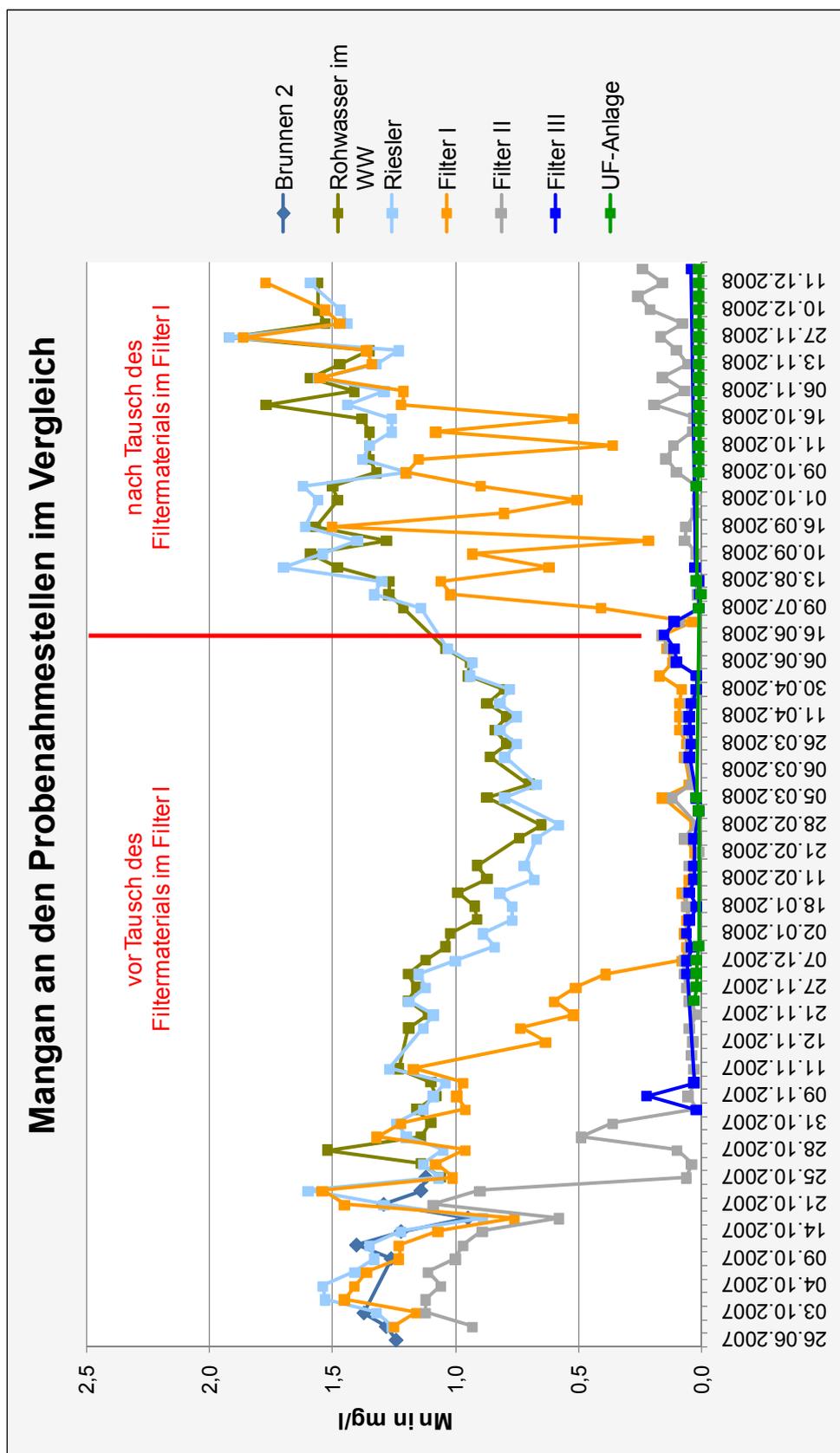


Abbildung 24: Entwicklung der Mangangehalte im Rohwasser und in den einzelnen Aufbereitungsstufen

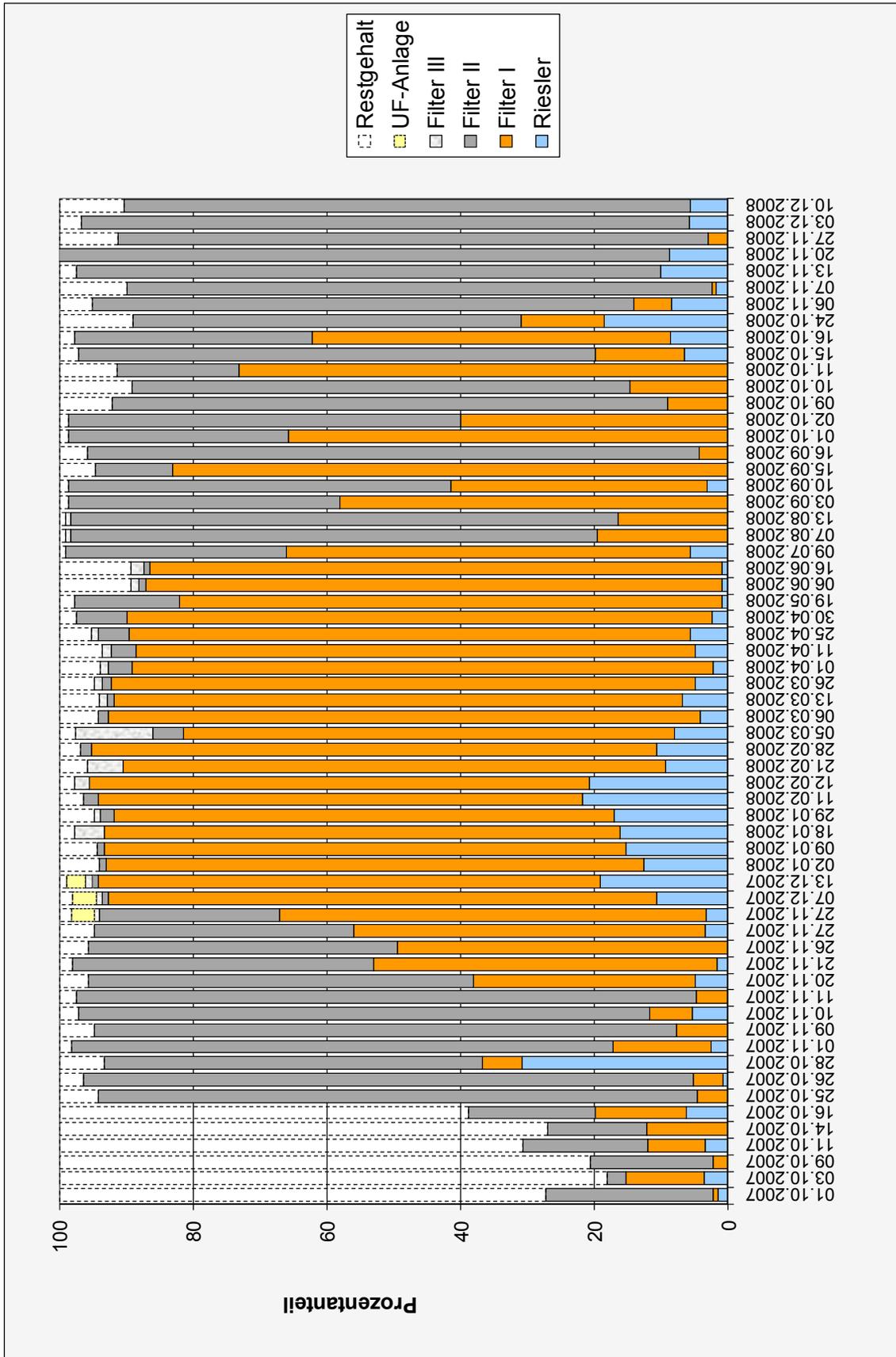


Abbildung 25: Manganelimination, Prozentanteile der einzelnen Aufbereitungsstufen

6 Mikrobiologische Untersuchungen

6.1 Angewandte Untersuchungsmethoden

Zur Charakterisierung der mikrobiologischen Beschaffenheit von Rohwasser und Wasser nach den jeweiligen Aufbereitungsstufen wurden die Koloniezahlen pro Milliliter bei 22°C und 37°C nach Trinkwasserverordnung (EN ISO 6222) ermittelt. Zusätzlich wurde zur Erhöhung der Aussagekraft das nährstoffarme R2A-Medium (Reasoner and Geldreich, 1985) eingesetzt. Ergänzend erfolgten auch Untersuchungen auf *E. coli*, Coliforme (Colilert[®]-18/Quanti-Tray[®]) und Enterokokken (Enterolert[™]-E/Quanti-Tray[®]). Die Ergebnisse sind in MPN/100ml angegeben (MPN...most probable number). Zur Erfassung des Stabilitätszustandes wurde das Wachstumspotential für koloniebildende Bakterien ($WP_{KBE-22^{\circ}C}$, $WP_{KBE-37^{\circ}C}$ und $WP_{KBE-R2A}$) wie bei WRICKE et al. (2002) beschrieben, bestimmt.

Bei der Bestimmung des Wachstumspotentials (WP) wird die Koloniezahl der Probe (KBE/ml) nach sieben Tagen Standzeit ermittelt. Ab einem Wert von 1.000 KBE/ml gilt das Wasser als biologisch instabil. Werte zwischen 1.000 KBE/ml und 10.000 KBE/ml sind ein Hinweis auf ein geringes bis mittleres Wachstumspotential des Wassers. Ein Wert von >10.000 KBE/ml bedeutet ein hohes Wachstumspotential. Bei Werten von <1.000 KBE/ml liegt kein Wachstumspotential für koloniebildende Einheiten vor.

6.2 Ergebnisse

In Abbildung 26 und Abbildung 27 sind die im Verlauf des Projektzeitraumes ermittelten Werte für die Koloniezahl pro Milliliter bei 22°C und bei 37°C im Rohwasser (Brunnen 2) dargestellt.

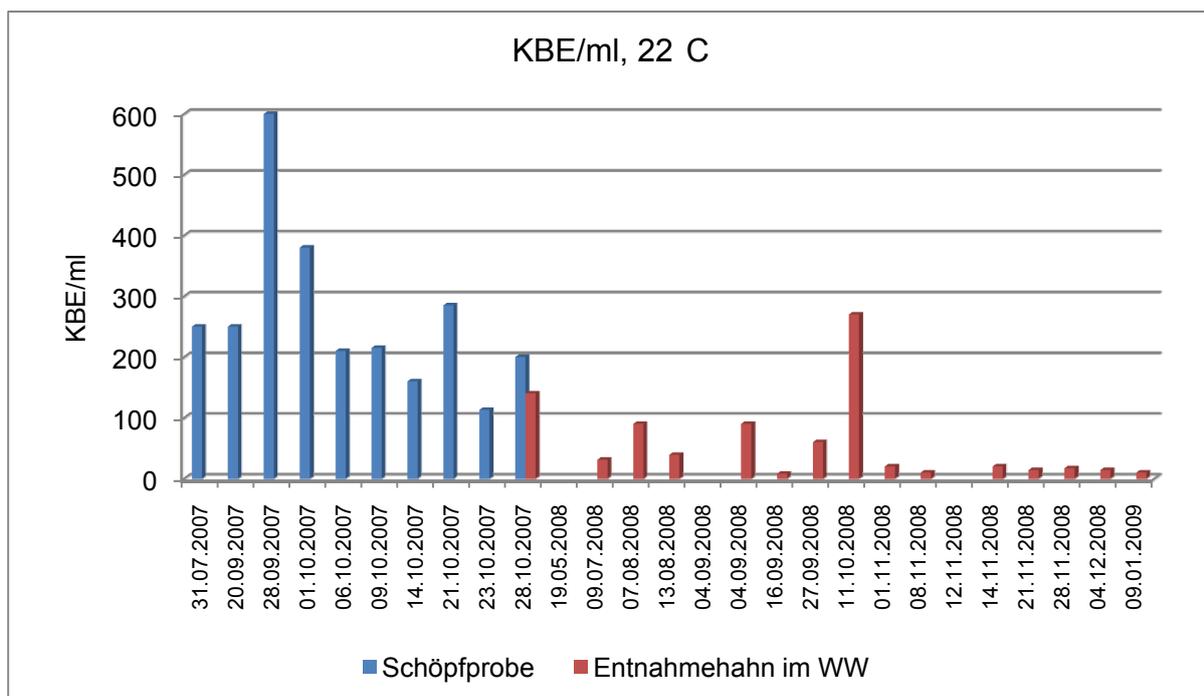


Abbildung 26: Koloniezahlen pro Milliliter bei 22°C, Rohwasser, Brunnen 2

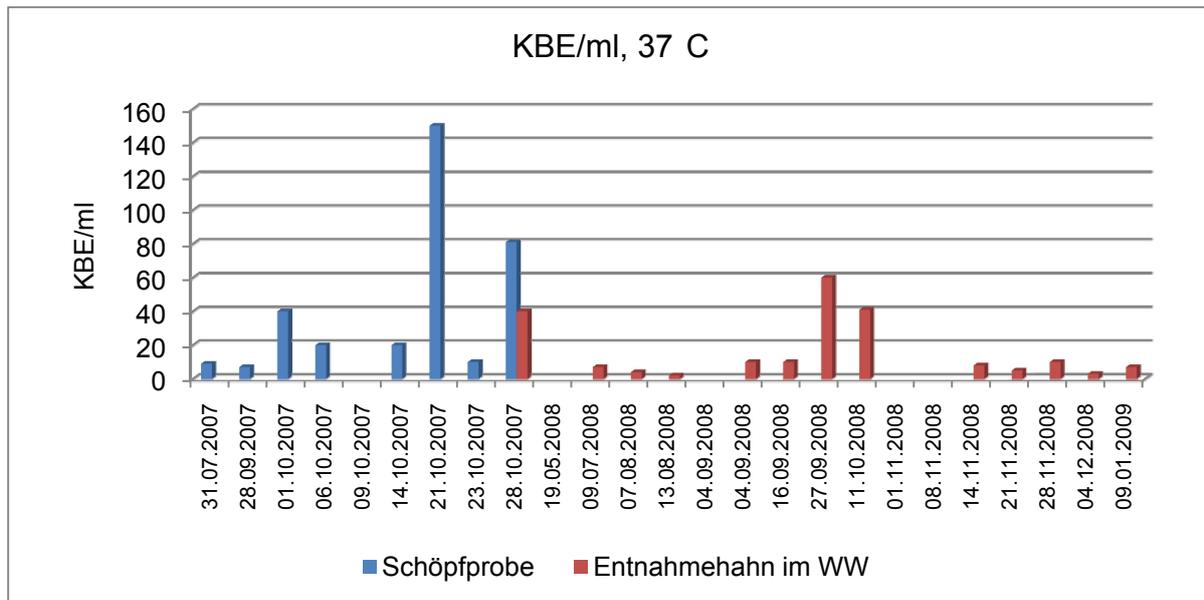


Abbildung 27: Koloniezahlen pro Milliliter bei 37°C, Rohwasser, Brunnen 2

Anfänglich standen für die Untersuchung des Rohwassers nur Schöpfproben zur Verfügung. Ab 28.10.2007 konnte für die Probenahme ein im Wasserwerk installierter Wasserhahn herangezogen werden. Obwohl eine Beeinflussung der Art der Probenahme auf das Ergebnis der mikrobiologischen Untersuchungen nicht völlig auszuschließen ist, kann davon ausgegangen werden, dass die durchgehend höheren Koloniezahlwerte in der Anfangsphase des Projektes darauf zurückzuführen sind, dass zu diesem Zeitpunkt erst geringe Wassermengen aus dem Brunnen entnommen wurden.

Das Rohwasser war zu den Zeitpunkten der Untersuchung stets instabil und wies ein mittleres bis hohes Wachstumspotential für koloniebildende Bakterien auf.

Die fäkale Belastung des Rohwassers war, wie in Kapitel 5.1 ausgeführt, gering:

- * *E. coli*: zwischen <1,0 und 3,1 MPN/100ml
- * Coliforme: zwischen 20,1 und 344,8 MPN/100ml
- * Enterokokken: zwischen <1,0 und 4,1 MPN/100ml

Da nach dem erfolgten Tausch des Filtermaterials im Filter I im Ablauf vom Filter III (Endpunkt der konventionellen Aufbereitung keine Fäkalkeime mehr nachweisbar waren, wurden diese Untersuchungen nicht weiter fortgeführt.

Übereinstimmend mit den Ergebnissen der chemischen Untersuchungen erwies sich auch aus mikrobiologischer Sicht der Tausch des Filtermaterials (Filter I) als entscheidender Schritt in Hinblick auf eine Verbesserung der Ablaufqualität der konventionellen Aufbereitung. Während vor dem Tausch des Filtermaterials im Ablauf von Filter I Koloniezahlen (KBE/ml, 22°C) bis >700 auftraten, sank der Wert nach dem Tausch auf <10 KBE/ml ab.

Die Ergebnisse der Koloniezahlbestimmungen für die aus mikrobiologischer Sicht wichtigsten Betriebsphasen, „UF-Testphase 2“ und „UF-Testphase 3“ sind im Folgenden dargestellt (Abbildung 28 bis Abbildung 31).

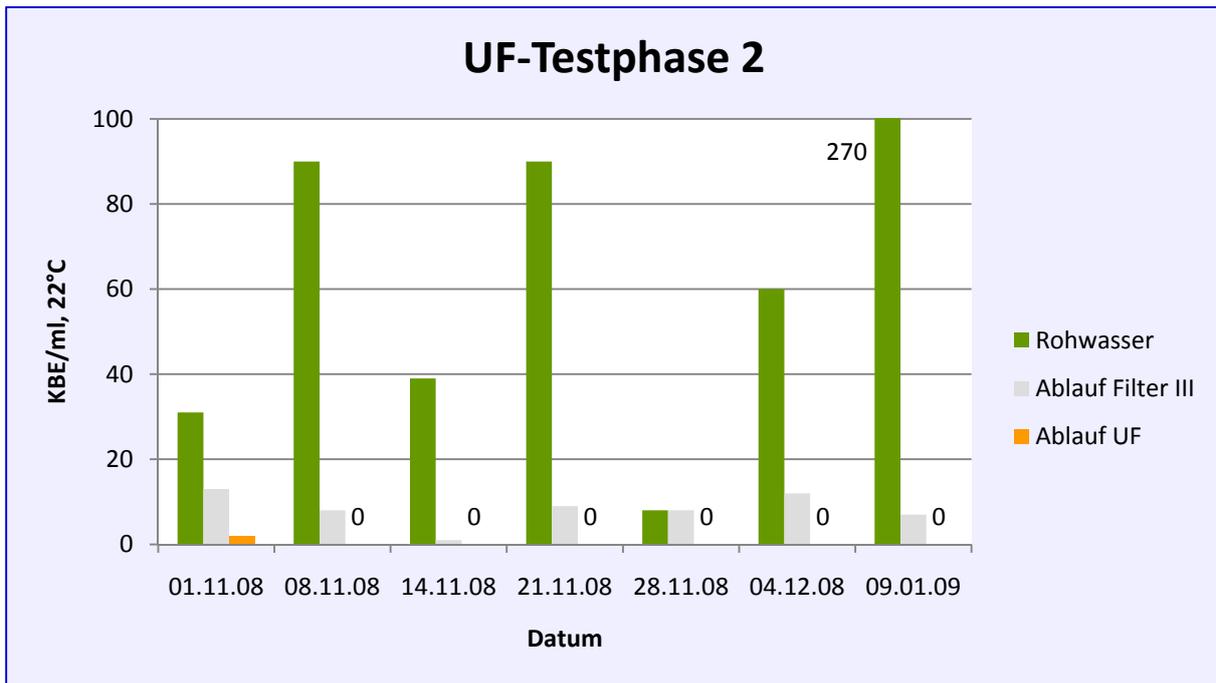


Abbildung 28: Koloniezahlwerte (KBE/ml, 22°C), Rohwasser, Ablauf Filter III und Ablauf Ultrafiltrationsanlage (UF); UF-Testphase 2

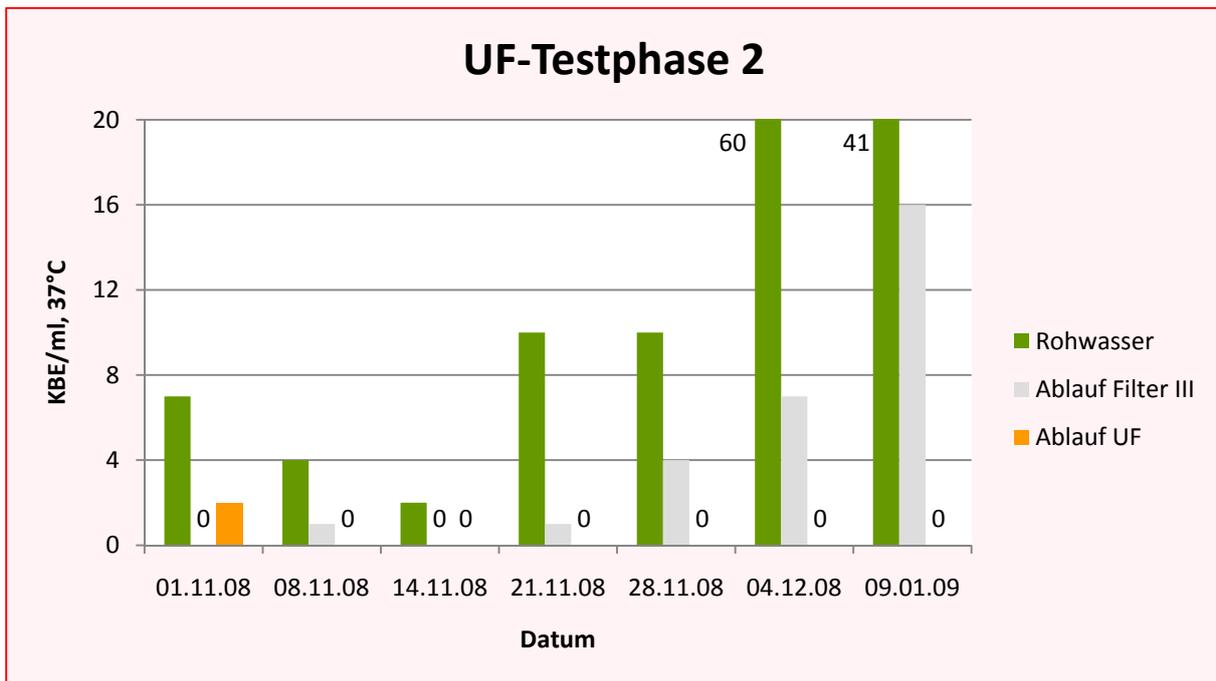


Abbildung 29: Koloniezahlwerte (KBE/ml, 37°C), Rohwasser, Ablauf Filter III und Ablauf Ultrafiltrationsanlage (UF); UF-Testphase 2

Trotz zum Teil hoher Ausgangswerte im Rohwasser bewegen sich die Werte im Ablauf von Filter III im Bereich von 10 KBE/ml (22°C) und liegen im Ablauf der Ultrafiltrationsanlage zumeist bei einem Wert von 0. Die Ergebnisse der Koloniezahlbestimmung bei 37°C zeigen ein ähnliches Bild.

Nach Einbau eines geeigneten Entnahmehahnes konnte ab Anfang November 2008 auch der Ablauf einer, der Ultrafiltrationsanlage nachgeschalteten UV-Anlage beprobt werden (UF-Testphase 3). Die dabei ermittelten Koloniezahlen (KBE/ml, 22°C und 37°C) lagen bis auf eine Ausnahme (1 KBE/ml, 22°C) stets bei 0. In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, dass bereits der Ablauf von Filter III und der Ablauf der Ultrafiltrationsanlage sehr geringe (einstellige) Koloniezahlwerte aufwiesen.

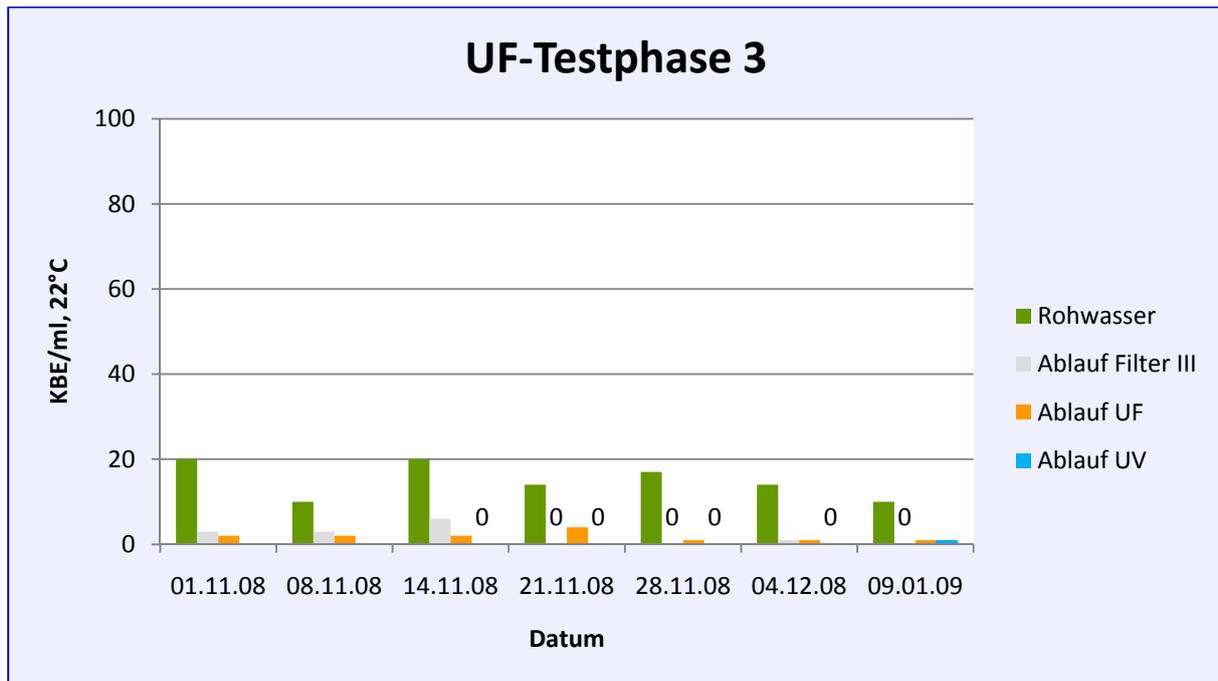


Abbildung 30: Koloniezahlwerte (KBE/ml, 22°C), Rohwasser, Ablauf Filter III, Ablauf Ultrafiltrationsanlage und Ablauf UV-Anlage; UF-Testphase 3

Voraussetzung für die Aufrechterhaltung einer einwandfreien Trinkwasserqualität im Verlauf der Verteilung ist nach WERNER (1997) die Erfüllung nachgenannter Punkte:

- das Trinkwasser muss frei von Indikatorkeimen sein
- Vorliegen einer geringen Koloniezahl (einstellig)
- keine Neigung zur Nachverkeimung

Die zuletzt genannte Forderung ist ein entscheidendes Kriterium für die Unterbindung von Aufkeimungen des Trinkwassers im Leitungsnetz. Eine praktikable Methode zur Ermittlung der Verkeimungstendenz ist die Bestimmung des Wachstumspotentials (WP) für die koloniebildenden Einheiten, wie sie im Rahmen des gegenständlichen Projektes durchgeführt wurden.

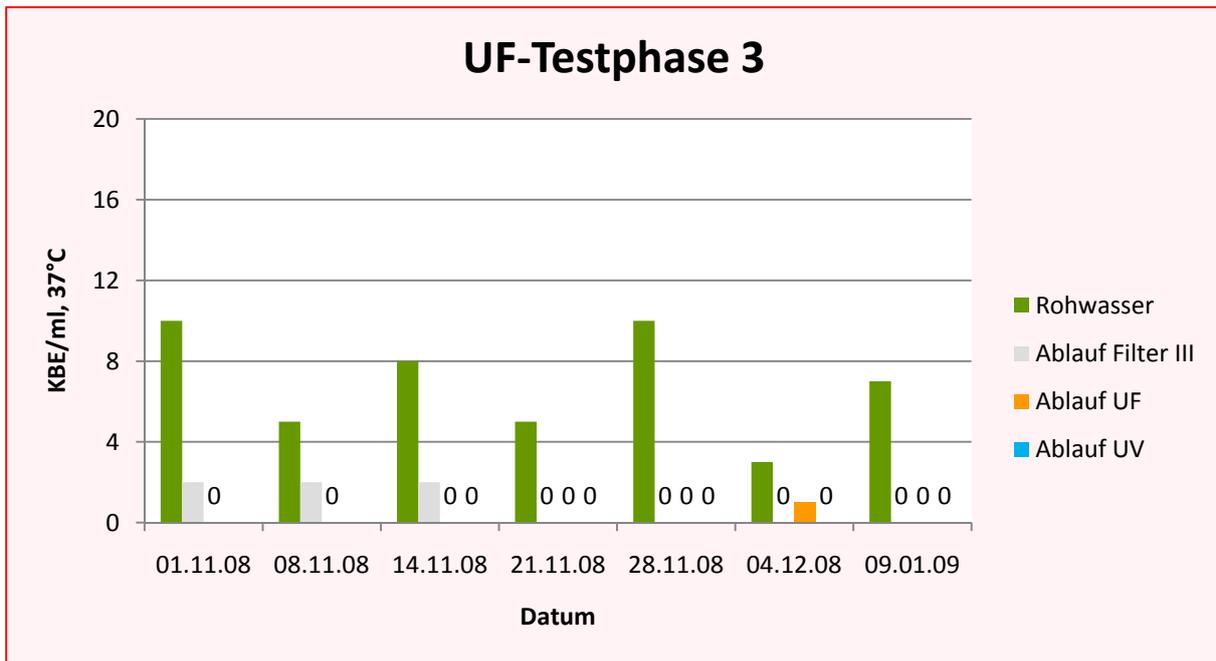


Abbildung 31: Koloniezahlwerte (KBE/ml, 37°C), Rohwasser, Ablauf Filter III, Ablauf Ultrafiltrationsanlage und Ablauf UV-Anlage; UF-Testphase 3

In Tabelle 11 und Tabelle 12 sind die Ergebnisse der Bestimmungen des Wachstumspotentials für die koloniebildenden Einheiten ($WP_{KBE-22^\circ C}$) für die UF-Testphasen II und III angeführt. Der besseren Übersicht wegen wurden Farbcodes für die Darstellung der Ergebnisse gewählt:

- grün → kein Wachstumspotential
- gelb → geringes bis mittleres Wachstumspotential
- rot → hohes Wachstumspotential

Die ermittelten Koloniezahlwerte im Zusammenhang mit der Bestimmung des Wachstumspotentials finden sich im Anhang.

Tabelle 11: Wachstumspotential für die koloniebildenden Einheiten (WP_{KBE-22°C}), UF-Testphase 2

UF-Testphase 2			
Datum	Ablauf Filter III	Ablauf UF-Anlage	Ablauf UV-Anlage
09.07.2008	●	●	-
07.08.2008	●	●	-
13.08.2008	●	●	-
27.09.2008	●	●	-
11.10.2008	●	●	-

Tabelle 12: Wachstumspotential für die koloniebildenden Einheiten (WP_{KBE-22°C}), UF-Testphase 3

UF-Testphase 3			
Datum	Ablauf Filter III	Ablauf UF-Anlage	Ablauf UV-Anlage
01.11.2008	●	●	-
08.11.2008	●	●	-
14.11.2008	●	●	●
28.11.2008	●	●	●
04.12.2008	●	●	●
09.01.2009	●	●	●

In diesem Zusammenhang erscheint es wichtig zu erwähnen, dass grundsätzlich auch Trinkwasser mit höherer Aufkeimungstendenz (Wachstumspotential) verteilbar ist. Voraussetzung dafür ist das Wissen über das Ausmaß des Verkeimungspotentials, um eine auf den Anlassfall abgestimmte Primärdesinfektion einzusetzen. Weitere Punkte sind die Stabilisierung des Wasserwerksbetriebs sowie die Schaffung von stabilen Bedingungen bei der Verteilung des Wassers im Leitungsnetz. Grundsätzlich muss davon ausgegangen werden, dass die im Waldviertel für die Trinkwasserversorgung herangezogenen Wässer zumindest zeitweise zur Nachverkeimung neigen.

Während die Abläufe der Ultrafiltrations- und der UV-Anlage nach der mikrobiologischen Standardbeurteilung stets eine einwandfreie Qualität aufwiesen, zeigten die durchgeführten Bestimmungen des Wachstumspotentials das Vorhandensein von unterschiedlich stark ausgeprägten Tendenzen für eine Verkeimung des Wassers auf. Die unterschiedlichen Ergebnisse der beiden Untersuchungsarten stellen keinen Widerspruch dar, da an Hand der Bestimmung des Wachstumspotentials lediglich ein mögliches Potential zur Verkeimung des Wassers aufgezeigt wird und nicht der aktuelle mikrobiologische Gütezustand.

Eine mögliche Ursache für die zunehmende Aufkeimungstendenz im Ablauf der Ultrafiltrationsanlage kann in der aus mikrobiologischer Sicht ungenügenden Reinigung bzw. ungenügenden Durchströmung des Permeatspeichers der Ultrafiltrationsanlage liegen. In der Zwischenzeit wurden Vorschläge zur Verbesserung ausgearbeitet. Wie zu erwarten war bewirkte die UV-Anlage keine nachhaltige Reduktion des Wachstumspotentials, ergab jedoch an Hand der mikrobiologischen Standarduntersuchungen stets gute Ablaufwerte.

Aussagen über den Qualitätszustand des Wassers im Hochbehälter können nur bedingt getroffen werden, da nicht ausschließlich nur aufbereitetes Wasser aus der Versuchsanlage vorlag. Um genügend Wasser für die Rückspülungen der Filter in der Versuchsanlage zur Verfügung zu haben, musste zeitweise Wasser aus dem öffentlichen Versorgungsnetz (2. Kammer des Hochbehälters) zugespeist werden. Die am 11. Und 12. November 2008 durchgeführte Reinigung und Desinfektion des Hochbehälters und der Transportleitung brachten kurzfristig einen deutlichen Rückgang der Koloniezahl (KBE/ml, 22°C). Die ermittelten Werte finden sich im Anhang.

Die Frage nach dem Einfluss der Transportleitung auf den mikrobiologischen Gütezustand des aufbereiteten Wassers bleibt offen, da diese sowohl für den Transport des aufbereiteten Wassers von der Versuchsanlage in den Hochbehälter als auch für den Transport des Rückspülwassers vom Hochbehälter zur Versuchsanlage herangezogen wurde. Aus der Literatur ist bekannt (WRICKE, 2001) dass sich Geschwindigkeitsunterschiede sowie Änderungen der Fließrichtung negativ auf die Wassergüte auswirken. Auch das Mischen von Wässern mit unterschiedlicher Qualität übt einen Einfluss auf die Koloniezahlhöhe aus. Die erhobenen Daten finden sich im Anhang.

Die im Rohwasser vorhandene hohe Konzentration an organischen Inhaltsstoffen wird, wie an Hand von LC-OCD-Untersuchungen aufgezeigt werden kann im Verlauf der Aufbereitung zwar deutlich reduziert, es verbleibt jedoch eine Restmenge an bioverfügbaren Substanzen, die die Ultrafiltration passiert. Zur Charakterisierung der Zusammensetzung der organischen Wasserinhaltsstoffe eignet sich das von HUBER & FRIMMEL (1996) entwickelte LC-OCD-Verfahren. Dabei werden die in der Probe vorhandenen organischen Substanzen gelchromatographisch nach ihrer Molekülgröße und ihren chemischen Eigenschaften fraktioniert. Nach der Auftrennung erfolgt mittels UV-OC-online-Messung eine Erfassung des organischen Kohlenstoffs der einzelnen Fraktionen.

Die vom DOC-Labor Dr. Huber durchgeführten Analysen (siehe Anhang) ergaben, dass 67 % der organischen Belastung des Rohwassers auf Huminstoffe entfallen und dass diese allochthonen Ursprungs sind. Hinsichtlich der Reduktion der organischen Belastung kommt auch in diesem Fall dem Filter I (Fe-Filter) besondere Bedeutung zu. So werden hier die Biopolymer-Fraktion um 85 % und die Huminsäure-Fraktion um 88 % verringert. Ebenso kommt es auch bei allen anderen vorhandenen Fraktionen zu einem Rückgang. Aus dem Untersuchungsergebnis wird ersichtlich, dass der Flocken-Filter (Filter I) somit nicht nur aus chemischer Sicht einen wichtigen Aufbereitungsschritt darstellt, sondern auch Einfluss auf die bakterienverfügbaren Wasserinhaltsstoffe hat und somit bestimmend für die mikrobiologische Qualität des aufbereiteten Wassers ist.

7 Wirtschaftlichkeitsuntersuchung

Ein Projektziel war die Abschätzung der zu erwartenden Investitions- und Betriebskosten für kleinere Wasseraufbereitungsanlagen für das im Projekt angewandte Aufbereitungskonzept. Ein Großteil der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung wurde im Rahmen einer Masterarbeit an der TU Graz von Herrn Markus Rieser erarbeitet (RIESER 2009).

Die Kostenschätzung erfolgte anhand von tatsächlichen Betriebskosten des Pilotprojektes (z.B. Strom- und Chemikalienbedarf) sowie anhand von geschätzten Investitions- und Betriebskosten. Zur Abschätzung der Investitionskosten wurden unter anderem Erfahrungswerte aus Niederösterreich (z.B. Kollaudierungskosten anderer Aufbereitungsanlagen) sowie aus Bayern (z.B. Ultrafiltrationskosten) herangezogen.

Der Kostenvergleich wurde **allgemeingültig** für vier Varianten mit unterschiedlicher Anlagengrößen (Auslegungswassermenge) dargestellt:

- Variante 1: Auslegungswassermenge 2 l/s
- Variante 2: Auslegungswassermenge 4 l/s
- Variante 3: Auslegungswassermenge 6 l/s
- Variante 4: Auslegungswassermenge 15 l/s

Für diesen Bericht wurden nur die Kosten der Aufbereitungsanlage ohne Kosten für Bauwerke (z.B. Betriebsgebäude, Brunnen etc.) berücksichtigt, da diese „Sonderkosten“ je nach örtlichen Gegebenheiten stark variieren können. Die Darstellung der Kosten erfolgte als Kosten je Kubikmeter aufbereiteten Wassers.

Zusätzlich erfolgte eine betriebswirtschaftliche Analyse **konkret für den Fall der Wasseraufbereitungsanlage in Heidenreichstein** (Anm.: aus Gründen der Vertraulichkeit nicht in diesem Bericht dargestellt), wo auch Kosten für den Umbau des bestehenden Betriebsgebäudes, die Sanierung des Brunnens, den Bau eines Tiefbehälters und die Einbindung der Aufbereitungsanlage in eine Fernwirkanlage berücksichtigt wurden. Es erfolgte auch eine Darstellung der zu erwartenden Kosten unter Berücksichtigung möglicher Förderungen bei der Errichtung der Aufbereitungsanlage.

Der Kostenvergleich für die WVA Heidenreichstein erfolgte auch anhand der Kostenbarwertmethode unter Zugrundelegung eines Betrachtungszeitraumes von 40 Jahren. Es wurden die Kostenbarwerte für drei unterschiedliche Auslegungswassermengen berechnet und verglichen:

- Variante 1: Auslegungswassermenge 2 l/s
- Variante 2: Auslegungswassermenge 4 l/s
- Variante 3: Auslegungswassermenge 6 l/s

Die Kostenbarwerte der einzelnen Varianten wurden auch der derzeitigen Situation der Stadtgemeinde Heidenreichstein mit 100 % Fremdbezug (Variante 0) gegenüber-

gestellt. Daraus konnte für jede Variante die Amortisierungsdauer abgeschätzt werden.

Die Variante 3 mit einer Auslegungswassermenge von 6 l/s geht davon aus, dass nicht nur der gesamte Bedarf der Stadtgemeinde Heidenreichstein (ca. 5 l/s) abgedeckt wird, sondern auch noch ca. 30.000 m³/Jahr an eine benachbarte Gemeinde verkauft werden. Die Varianten 1 und 2 sehen vor, dass weiterhin eine gewisse Menge an Fremdbezug erfolgt.

Aus Gründen der betrieblichen Vertraulichkeit sind die Auswertungen für den konkreten Fall der Wasseraufbereitungsanlage in Heidenreichstein nicht in diesem Bericht enthalten. Diese Ergebnisse wurden der Stadtgemeinde Heidenreichstein gesondert zur Verfügung gestellt (Diplomarbeit RIESER, 2009).

Anmerkung: Die Kostenschätzung beruht zum Teil auf Erfahrungswerten unterschiedlicher Quellen, daher sollte bei der Interpretation der Wirtschaftlichkeitsdaten berücksichtigt werden, dass die tatsächlichen Ausführungs- und Betriebskosten von dieser Kostenschätzung abweichen können.

7.1 Kapitalkosten (Investitionskosten)

Für die Kapitalkostenabschätzung wurden folgende Quellen verwendet:

- Kostenkurven von Dipl.-Ing. Dr. nat. techn. Kiril Atanassoff-Kardjalieff (2000) zu konventionellen Aufbereitungsanlagen (Enteisungs-, Entmanganungs- und Entsäuerungsanlagen) welche vom Land NÖ zur Verfügung gestellt wurden (Anm.: da diese Aufstellungen aus dem Jahr 2000 stammen, wurden die Kosten auf das heutige Niveau hochgerechnet).
- Vier Referenzprojekte verschiedener Aufbereitungsanlagen aus dem Zeitraum 1999 bis 2008, welche vom Land NÖ und vom Bund gefördert wurden (Email von HR Dipl.-Ing. Walter Braun vom 5.1.2009).
- Vergleichskosten von Ultrafiltrationsanlagen in Bayern, welche von Dr.-Ing. Steffen Krause zur Verfügung gestellt wurden (2009).
- Persönliche Information (telefonisch eingeholt durch Dipl.-Ing. Dr.techn. Jörg Kölbl) der Firma Donauchemie zu Kosten für Eisen-(III)-Chlorid Tanks (2009).
- Persönliche Information (eingeholt durch Dipl.-Ing. Dr.techn. Jörg Kölbl) der Kaiser & Mach ZT-GmbH zu Kosten für Tiefbehälter (2009).
- Förderrichtlinien des Landes Niederösterreich (2009).

Die zu erwartenden Kapitalkosten (dargestellt als €/m³) berechnen sich auf Basis geschätzter Investitionskosten und beinhalten Abschreibungen und kalkulatorische Zinsen. Als Zinssatz wurden 5 % angenommen:

$$\text{Kapitalkosten} = \text{Abschreibungen} + \text{kalkulatorische Zinsen} \quad (\text{€/m}^3)$$

Die kalkulatorischen Zinsen berechnen sich nach:

$$\text{kalkulatorische Zinsen} = \text{Zinssatz (Ann. 5 \%)} * \text{Investitionskosten} \quad (\text{€/m}^3)$$

Die Abschreibungen ergeben sich aus:

$$\text{Abschreibungen} = \text{Investitionskosten} / \text{Nutzungsdauer} \quad (\text{€/m}^3)$$

Die Nutzungsdauer variiert je nach Anlagenteil. Folgende Nutzungs- bzw. Abschreibungsdauern wurden angenommen:

<i>Planung, Ausschreibung, Bauaufsicht</i>	<i>40 Jahre</i>
<i>Eisen-(III)-Tank</i>	<i>15 Jahre</i>
<i>Konventionelle Filter</i>	<i>40 Jahre</i>
<i>Ultrafiltrationsanlage</i>	<i>15 Jahre</i>
<i>UV-Anlage</i>	<i>15 Jahre</i>

Tabelle 13 gibt einen Überblick über die angenommenen Investitionskosten.

Tabelle 13: Investitionskostenschätzung

Investitionskosten allgemein	Erstinvestitionskosten (€)			
	Var 1 (2 l/s)	Var 2 (4 l/s)	Var 3 (6 l/s)	Var 4 (15 l/s)
Planung, Ausschreibung, Bauaufsicht	30.000	40.000	50.000	90.000
Adaptierung Betriebsgebäude	nicht berücksichtigt			
Brunnen - Sanierung/Neubau	nicht berücksichtigt			
Eisen-(III)-Chlorid-Tank	20.000	20.000	20.000	30.000
Konventionelle Filter	180.000	200.000	230.000	500.000
UF-Anlage	64.000	105.000	132.000	270.000
UV-Anlage	30.000	30.000	40.000	60.000
Tiefbehälter	nicht berücksichtigt			
Fernwirktechnik	nicht berücksichtigt			
Gesamt	324.000	395.000	472.000	950.000

In Tabelle 14 sind die Kapitalkosten (Abschreibungskosten und die kalkulatorischen Zinsen) für die unterschiedlichen Anlagenteile dargestellt. Die detaillierten tabellarische Berechnungen, die mittels MS Excel© durchgeführt wurden, sind im Anhang 4 zu finden.

Tabelle 14: Kapitalkostenübersicht

Kapitalkosten allgemein	Abschreibungskosten und kalkulatorische Zinsen (€/m ³)			
	Var 1 (2 l/s)	Var 2 (4 l/s)	Var 3 (6 l/s)	Var 4 (15 l/s)
Planung, Ausschreibung, Bauaufsicht	0,036	0,024	0,020	0,014
Eisen-(III)-Chlorid-Tank	0,037	0,018	0,012	0,007
Konventionelle Filter	0,214	0,119	0,091	0,079
UF-Anlage	0,145	0,120	0,104	0,078
UV-Anlage	0,063	0,032	0,027	0,016
Gesamt	0,496	0,313	0,255	0,194

Aus Tabelle 14 ist ersichtlich, dass die Kapitalkosten bezogen auf einen Kubikmeter an aufbereitetem Wasser mit zunehmender Auslegungswassermenge deutlich abnehmen. Während bei Variante 1 (2 l/s) die konventionellen Filter (inkl. aller erforderlichen Pumpen, Steuerungen etc.) den größten Anteil an den Kapitalkosten ausmachen, halten sich bei den anderen Varianten die Kapitalkosten für die konventionellen Filter ungefähr die Waage mit den Kapitalkosten für die Ultrafiltration.

7.2 Betriebskosten

Die Abschätzung der Betriebskosten erfolgte größtenteils anhand von tatsächlichen Projektdaten. Grundsätzlich wurden Kosten für alle Prozessschritte von der Wassergewinnung, über die einzelnen Aufbereitungsschritte bis zur Wasserförderung in den Hochbehälter auf Ebene der einzelnen Schritte ermittelt (teilweise direkt aus Projektdaten, teilweise über theoretischen Berechnungen aus den Kennwerten der jeweiligen Pumpen und Anlagen). Zur Plausibilitätskontrolle wurde die Summe aller Einzelkosten mit dem tatsächlichen Strom- bzw. Chemikalienverbrauch im Zuge des Projektes verglichen.

Für die Abschätzung der Betriebskosten der Ultrafiltrationsanlage (Strom, Chemikalien) wurde auf Erfahrungswerte der Universität der Bundeswehr München zurückgegriffen. Tabelle 15 gibt eine Übersicht über die Betriebskosten der einzelnen Varianten (Details sind der Zusammenstellung im Anhang 4 ersichtlich).

Tabelle 15: Betriebskostenübersicht

Betriebskosten allgemein	Var 1 (2 l/s) (€/m ³)	Var 2 (4 l/s) (€/m ³)	Var 3 (6 l/s) (€/m ³)	Var 4 (15 l/s) (€/m ³)
Betriebsgebäude - Heizung, Licht	0,031	0,016	0,010	0,007
Brunnen - Pumpe	0,008	0,008	0,008	0,008
Gebläse Riesler	0,010	0,005	0,003	0,003
WW - Rohwasserpumpe	0,008	0,008	0,008	0,008
Chemikalien: Eisen-(III)-Chlorid	0,033	0,033	0,033	0,033
Rückspülen - Pumpe	0,002	0,002	0,002	0,002
Rückspülen - Kompressor	0,0014	0,0007	0,0005	0,0006
UF-Anlage	0,015	0,015	0,015	0,015
UV-Anlage	0,004	0,002	0,002	0,001
Pumpe zu HB	0,028	0,028	0,028	0,028
Personalkosten	0,402	0,201	0,134	0,096
Gesamt	0,542	0,317	0,243	0,200

Die Personalkosten nehmen den größten Teil der Betriebskosten ein (74 % bei Variante 1, 63 % bei Variante 2, 55 % bei Variante 3 und 48 % bei Variante 4). Der Aufwand für den Betrieb und die Instandhaltung wurde die Varianten 1, 2 und 3 mit insgesamt 2,5 h pro Tag und für Variante 4 mit 4,5 h pro Tag angenommen. Die restlichen Betriebskosten bewegen sich zwischen 0,14 €/m³ bei Variante 1, 0,12 €/m³ bei Variante 2, 0,11 €/m³ bei Variante 3 und 0,10 €/m³ bei Variante 4. In Summe nehmen die Betriebskosten der Variante 4 also nur etwas mehr als ein Drittel der Variante 1 ein.

7.3 Gesamtkostenschätzung und Variantenvergleich

Die Gesamtaufbereitungskosten sind sehr stark von der Auslegungswassermenge abhängig (Abbildung 32). Für die Variante 1 (2 l/s) betragen die Gesamtkosten ca. 1,04 €/m³. Mit steigender Auslegungswassermenge sinken die Kosten je m³ an aufbereitetem Wasser deutlich. Variante 2 (4 l/s) ist um ca. 40 % günstiger als Variante 1 (2 l/s). Die Gesamtkosten für Variante 3 (6 l/s) betragen weniger als die Hälfte von Variante 1 (2 l/s) und die Kosten für Variante 4 (15 l/s) liegen mit ca. 0,40 €/m³ nur bei ca. 40 % der Variante 1.

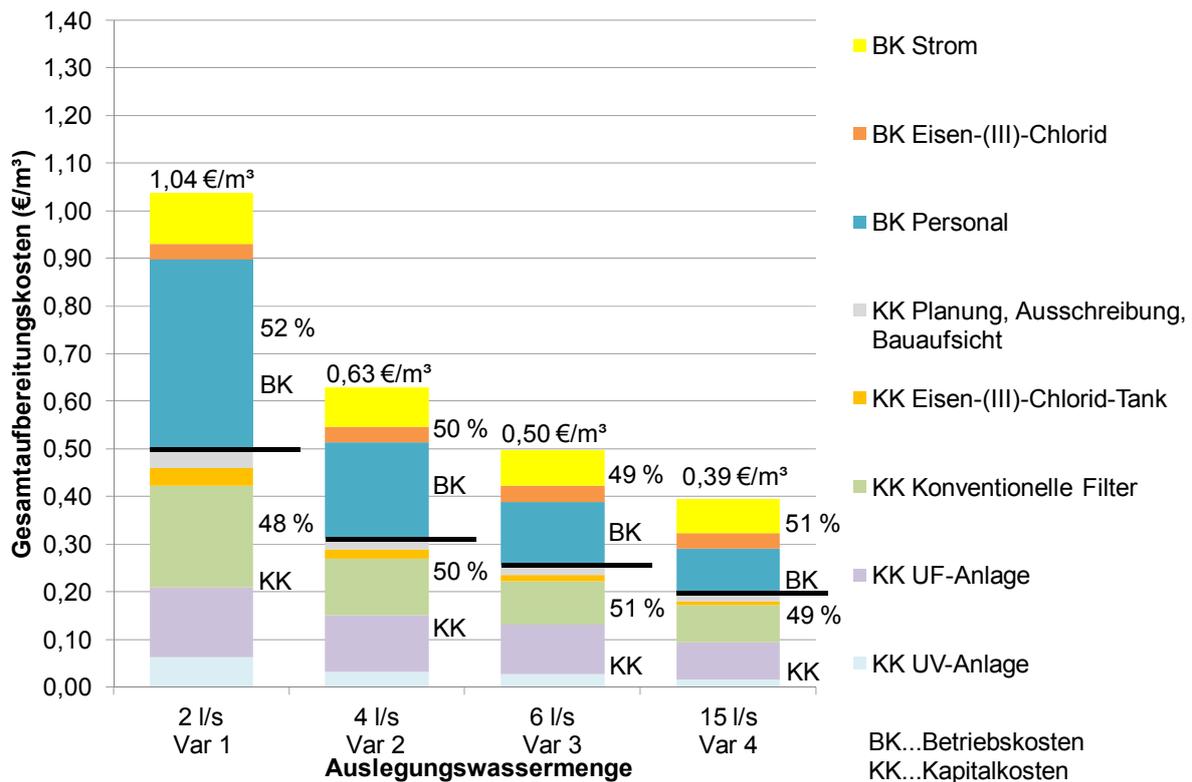


Abbildung 32: Gesamtkostenübersicht (4 Varianten)

Somit zeigt sich, dass das gewählte Aufbereitungsverfahren mit einer Kombination von konventionellen Aufbereitungsschritten, einer Flockenfiltration und einer nachgeschalteten Ultrafiltration für Kleinanlagen in der Regel nicht wirtschaftlich ist. Jedoch liegen die Gesamtkosten für etwas höhere Auslegungswassermengen (4 bis 6 l/s) mit 0,50 bis 0,65 €/m³ durchaus in einem vertretbaren Bereich, wenn die Rahmenbedingungen entsprechend schwierig sind, wie dies im Waldviertel der Fall ist. Bei noch höheren Auslegungswassermengen, wie z.B. 15 l/s im berechneten Fall, kann mit noch geringeren Gesamtaufbereitungskosten (ca. 0,40 €/m³) gerechnet werden. Bei den kleinen Anlagen sind es vor allem die Personalkosten, die überproportional hoch in die Gesamtkosten eingehen. Das ist damit zu begründen, dass der Personaleinsatz je Anlage ungefähr gleich eingeschätzt wird (ca. 2,5 h/d), egal ob die Anlage 2, 4 oder 6 l/s produziert. Für die Variante 4 (15 l/s) wurde ein Personalaufwand von 4,5 h/d angesetzt.

Das Verhältnis zwischen Betriebs- und Kapitalkosten ist bei allen Varianten recht ausgewogen (jeweils ca. die Hälfte).

Die geschätzten Kosten (Kapital- und Betriebskosten) für die Ultrafiltration liegen bei Variante 1 bei ca. 0,16 €/m³, bei Varianten 2 bei ca. 0,14 €/m³, bei Varianten 3 bei ca. 0,12 €/m³ und bei Variante 4 unter 0,10 €/m³.

8 Ergebnisdiskussion und Ausblick

Im gegenständlichen Forschungsprojekt wurden Möglichkeiten zur Verbesserung der hygienischen Sicherheit bei bestehenden Wasseraufbereitungsanlagen im Waldviertel untersucht. Das derzeit nicht für die Versorgung genutzte Wasserwerk der Stadtgemeinde Heidenreichstein bot sehr gute Rahmenbedingungen für die durchgeführten Untersuchungen.

Dass die Aufbereitung von typischem Waldviertler Wasser eine große Herausforderung darstellt, war schon vor Projektbeginn bekannt. Diese Wässer sind durch einen hohen Huminstoffgehalt sowie hohen Eisen und Mangangehalten gekennzeichnet. Durch die Nutzung von Uferfiltrat ist auch ein Einfluss von Oberflächenwasser gegeben und kann die Rohwasserqualität in Abhängigkeit der hydrologischen Randbedingungen stark schwanken.

Das im Projekt angewandte Aufbereitungskonzept beinhaltet folgende Aufbereitungsschritte:

- Belüftung des Rohwasser über einen Riesler
- Flockenfiltration mittels Fe(III)-chlorid in Sandfilter
- Entmangung in Sandfilter
- Entsäuerung über Akdolitfilter
- Ultrafiltration
- UV-Desinfektion

Nach umfangreichen Versuchen ist es gelungen, einen stabilen Betrieb dieser Verfahrenskombination zu implementieren und die Basis für die Produktion von einwandfreiem Trinkwasser zu legen. Folgende wesentliche Erfahrungen und Aussagen können aus den Projektergebnissen abgeleitet werden:

Flockenfiltration

- Das Verfahren der Flockenfiltration ist ein wesentlicher Aufbereitungsschritt zur Entfernung von Trübung, Huminstoffen und Mikroorganismen. Auch bei schwankender Rohwasserqualität ist durch den Einsatz der Flockenfiltration ein ausreichender Rückhalt von Trübstoffen und Mikroorganismen möglich.
- Für die Flockenfiltration muss ein geeignetes Filtermaterial in Form eines Mehrschichtfilters verwendet werden. Das Filtermaterial muss auf die vorhandenen Rahmenbedingungen, wie z.B. die mögliche Rückspülgeschwindigkeit, angepasst werden. Den Bestimmungen in einschlägigen Normen, Regelwerken und Datenblättern ist Folge zu leisten. Ungeeignetes Filtermaterial führt zum Verlust der Reinigungsleistung und zum Funktionsverlust des Flockenfilters.
- Mit Fe(III)-chlorid wurden unter den Bedingungen von Heidenreichstein höhere Wirkungsgrade hinsichtlich der Entfernung von TOC und Trübung erzielt als mit Polyaluminiumchlorid (PACl). Der Wirkungsgrad bei der TOC-Entfernung lag bei 75-80 %.

- Die Anpassung der Flockungsmitteldosierung an Veränderungen der Rohwasserqualität erscheint sinnvoll und notwendig.
- Eine permanente Überwachung der Trübung im Ablauf des Filters zur Flockenfiltration erhöht die Betriebssicherheit deutlich, da das Durchbrechen des Filters rechtzeitig erkannt wird.
- Alternativ zu einer reinen Flockenfiltration in einem Sandfilter kann zusätzlich eine Sedimentation vor der Filtration eingesetzt werden. Im Vergleich zur ausschließlichen Flockenabscheidung in Sandfiltern kann das Vorteile in der Ausbeute und höhere Effizienz beim Einsatz des Flockungsmittels bringen. Die Entscheidung über das geeignetste Verfahren obliegt dem Fachplaner.

Entmanganung

- Mit der Flockenfiltration konnte der Mangangehalt zwar reduziert werden, allerdings ist für eine vollständige Entmanganung eine nachfolgende Filtration in einem speziellen Entmanganungsfilter erforderlich.

Entsäuerung

- Eine Entsäuerung des aufzubereitenden Wassers ist jedenfalls erforderlich. Im Zuge des Projektes wurden zwei Möglichkeiten der Situierung der Entsäuerung im Verfahrenskonzept untersucht: vor der Ultrafiltration oder nach der Ultrafiltration. Betreffend Entsäuerungswirkung ist beides möglich, allerdings hat die Variante mit Entsäuerung vor der Ultrafiltration Vorteile hinsichtlich der hygienischen Sicherheit, da die Ultrafiltration somit den abschließenden Filtrationsschritt darstellt.

Ultrafiltration

- Durch den Einsatz von Ultrafiltrationsmembranen im Ablauf der Flockenfilter wird die Sicherheit bezüglich Partikel und Keimrückhalt deutlich verbessert. Auch bei Störungen im Betrieb der Flockenfilter stellen die Membranen eine Barriere für Flocken und Mikroorganismen dar. Diese Erhöhung der Sicherheit ist insbesondere bei schwankender Rohwasserqualität und kleinen, nicht ständig besetzten Anlagen von Vorteil.
- Für die Aufrechterhaltung einer hohen Permeabilität der eingesetzten Ultrafiltrationsmembranen müssen die Vorstufen der Aufbereitung bereits entsprechende Wirkungsgrade hinsichtlich der Entfernung von TOC (Huminstoffe), Trübung, Eisen und Mangan aufweisen. Anderenfalls ist allein durch die Membran keine ausreichende TOC Entfernung möglich. Zudem wären beim Betrieb der Membran mit einem Wasser mit hohem TOC-Gehalt sehr häufige chemische Reinigungen erforderlich, die zu deutlich höheren Kosten führen würden.
- Erfahrungen aus Heidenreichstein und aus einer Vielzahl an Anlagen in Bayern und Baden-Württemberg zeigen, dass der technische Betrieb von

Ultrafiltrationsanlagen durch eine weitgehende Automatisierung auch bei kleinen Wasserversorgungsunternehmen möglich ist.

- Durch die Verfahrenskombination Flockenfiltration und Ultrafiltration werden Eisen, Mangan und Trübstoffe inkl. Mikroorganismen zuverlässig zurückgehalten. Die Neigung zur Nachverkeimung kann jedoch nicht beseitigt werden. Daher besteht auch bei dem Wasser, das für die Rückspülung der Membran und der Filter gespeichert wird, die Gefahr einer Aufkeimung. Aus diesem Grund muss bei der Planung der entsprechenden Speicherbehälter auf eine ständige und ausreichende Durchströmung der Behälter geachtet werden. Die Behälter dürfen zudem nicht mit Erstfiltrat befüllt werden und müssen bei einer beginnenden Aufkeimung leicht zu reinigen und zu desinfizieren sein.
- Die Ultrafiltration ist als Filtrationsverfahren kein Ersatz für eine Desinfektion.

Desinfektion

- Eine Desinfektion des Wassers ist jedenfalls erforderlich.
- Mit dem angewandten Aufbereitungskonzept, insbesondere durch den Verfahrensschritt der Flockenfiltration, kann die UV-Durchlässigkeit so weit erhöht werden, dass eine Desinfektion mittels UV-Licht möglich ist. Das Verfahren der UV-Desinfektion wurde über einen Zeitraum von ca. 3 Monaten erfolgreich getestet.
- Nicht vollständig beantwortet kann die Frage, ob eine UV-Desinfektion im Hinblick auf Nachverkeimungen im Wasserverteilsystem ausreichend ist, oder eine Desinfektion z.B. mit Chlordioxid erfolgen muss. Als Primärdesinfektion ist eine UV-Desinfektion jedenfalls anwendbar. Allerdings bietet die UV-Desinfektion keine Depotwirkung für die Speicherung des Wassers in Behälter bzw. für die Verteilung des Wassers im Wasserverteilsystem.
- In wie weit unter den Rahmenbedingungen des Waldviertels (z.B. inkrustierte Leitungen, immer wieder Probleme mit Nachverkeimungen in Wasserverteilsystemen) eine reine UV-Desinfektion möglich ist, sollte in einem gesonderten Projekt untersucht werden. Dies gilt generell auch für die Auswirkungen anderer Desinfektionsverfahren auf das Verkeimungsverhalten des Wassers im Leitungsnetz.

Reihenfolge der Aufbereitungsschritte

- Es wurden zwei mögliche Situierungen der Ultrafiltrationsanlage untersucht:
 - Ultrafiltration vor der Entsäuerung und
 - Ultrafiltration nach der Entsäuerung unmittelbar vor der UV-Desinfektion.
- Die Ultrafiltrationsmembran als anschließender Filtrationsschritt hat den Vorteil, dass im Falle einer eventuellen permeatseitigen Aufkeimung unmittelbar danach eine Desinfektion mittels UV erfolgt.

- Soll vor der Ultrafiltrationsmembran eine geringe Menge Fe(III)-chlorid dosiert werden, was das Fouling verringert, muss der pH-Wert optimal eingestellt werden. Anderenfalls bricht das Eisen durch die Membran durch. In Diesem Fall wäre es besser, die Membran vor dem Entsäuerungsfilter zu situieren, da der Entsäuerungsfilter das Eisen abfängt.

Wirtschaftlichkeit

- Die Gesamtaufbereitungskosten sind sehr stark von der Auslegungswassermenge abhängig. Für Kleinanlagen, z.B. mit einer Auslegungswassermenge von 2 l/s, betragen die Gesamtkosten für die Aufbereitung über 1,00 €/m³, wobei die Personalkosten und die Investitionskosten überproportional hoch sind. Mit steigender Auslegungswassermenge sinken die Kosten je m³ an aufbereitetem Wasser deutlich. Das gewählte Aufbereitungsverfahren mit einer Kombination von konventionellen Aufbereitungsschritten, einer Flockenfiltration und einer nachgeschalteten Ultrafiltration ist für Kleinanlagen in der Regel nicht wirtschaftlich.
- Jedoch liegen die Gesamtkosten für etwas höhere Auslegungswassermengen (4 bis 6 l/s) mit 0,50 bis 0,65 €/m³ durchaus in einem vertretbaren Bereich, wenn die Rahmenbedingungen entsprechend schwierig sind, wie dies im Waldviertel der Fall ist. Bei noch höheren Auslegungswassermengen, wie z.B. 15 l/s, kann mit noch Gesamtaufbereitungskosten von ca. 0,40 €/m³ gerechnet werden.

Personal

- Ausreichend qualifiziertes Personal ist eine Grundvoraussetzung für einen ordnungsgemäßen Betrieb einer Wasseraufbereitungsanlage.

Wasserverteilsystem (Rohrnetz)

- Mit der Produktion von einwandfreiem Trinkwasser ist erst ein Teil der Aufgabe zur Versorgung der Kunden mit Trinkwasser erfüllt. Der zweite Teil der Aufgabe besteht in der Verteilung des Wassers über das Wasserverteilsystem. Die Fragestellung, wie sich das aufbereitete Wasser im Rohrnetz verhält kann auf Basis der Projektergebnisse nicht zuverlässig beantwortet werden.
- Die für die Untersuchungen zur Verfügung stehende Transportleitung vom Wasserwerk zum Hochbehälter Dietweis bot keine idealen Voraussetzung für die Untersuchungen, da die Leitung sowohl für den Transport des Wassers vom Wasserwerk in den Hochbehälter, wie auch zur Lieferung von Rückspülwasser aus dem Hochbehälter ins Wasserwerk genutzt wurde. Daher kam es in der Leitung zur oftmaligen Fließrichtungsumkehr und wurde Wasser mit teilweise sehr hohen Aufenthaltszeiten im Hochbehälter in die Leitung gebracht. Zusätzlich wurde die für das Projekt genutzte Behälterkammer auch

einige Male mit Wasser aus der öffentlichen Versorgung (teil-)befüllt, was die Interpretation der Ergebnisse erschwert.

- Daher waren einige Proben aus der Transportleitung aus mikrobiologischer nicht einwandfrei. Allerdings gab es auch Proben, die einwandfrei waren, deshalb kann die „Schuld“ allfälliger mikrobiologischer Belastungen nicht ausschließlich der Transportleitung zugeordnet werden.
- Entscheidend ist vielmehr auch die Art und Weise des Betriebes von Leitungen. Wichtig erscheint ein möglichst kontinuierlicher Durchfluss. Starke Geschwindigkeitsschwankungen und Fließrichtungswechsel sind zu vermeiden.
- Die Fragestellung, wie einwandfrei aufbereitetes Trinkwasser über das Wasserverteilsystem einwandfrei bis zum Kunden geliefert werden kann, ist insbesondere in Wasserverteilsystemen von Bedeutung, die über längere Zeiträume mit unzureichend aufbereitetem Wasser betrieben wurden und wo sich Ablagerungen, wie z.B. Inkrustierungen und Beläge, im Rohrnetz ausgebildet haben. Entscheidend ist dabei die Frage, wie eine nachhaltige Rehabilitation dieser Leitungen erfolgen kann. Der Begriff Rehabilitation umfasst die Möglichkeiten der Reinigung, der Sanierung und der Erneuerung.

Die Autoren: (Reihenfolge alphabetisch)

Jörg Kölbl (Technische Universität Graz)

Steffen Krause (Universität der Bundeswehr München)

Gerhard Lindner (Universität für Bodenkultur, Wien)

Franziska Zibuschka (Universität für Bodenkultur, Wien)

Graz, Wien, München im Juni 2009

Literatur

- BOERLAGE SIOBHAN F.E.; KENNEDY, M.; DICKSON, M.; EL-HODALI, D. & J. SCHIPPERS (2002): The modified fouling index using ultrafiltration membranes (MFI-UF): characteristics, filtration mechanisms and proposed reference membrane.- In: Journal of Membrane Science **197** (2002) S. 1-21.
- FRENZL, B. (2006): Drinking water treatment at the Austrian-Czech-border – Waldviertel The drinking water problem zone in Austria. – Diplomarbeit an der School of Chemical & Pharmaceutical Sciences, Dublin Institute of Technology, Irland.
- GIMBEL, R., JEKEL, M. & R. LIEßFELD (2004): DVGW-Lehr- und Handbuch Wasserversorgung, Bd. **6**. Oldenbourg Industrieverlag München, Deutschland.
- HUBER & FRIMMEL (1996): Gelchromatographie mit Kohlenstoffdetektion (LC-OCD): Ein rasches und aussagekräftiges Verfahren zur Charakterisierung hydrophiler organischer Wasserinhaltsstoffe. Vom Wasser 86:277-290.
- KRAUSE, S. (2009a): Einsatzmöglichkeiten und mehrjährige Erfahrungen mit Ultrafiltration in Bayern.- In: Symposium Wasserversorgung 28./29.01.2009. ÖVGW, Wien 2009.
- KRAUSE, S. (2009b): Unterlagen zur Vorlesung „Wasseraufbereitung“. Universität der Bundeswehr München, Deutschland.
- LUSARDI, P.J. & CONSONERY, P.J. (1999): Factors Affecting Filtered Water Turbidity. Journal of AWWA, **91**(12), S. 28-40, USA.
- RIESER, M. (2009): Trinkwasseraufbereitungsanlagen für huminstoffreiche Wässer – Abschätzung von Investitions- und Betriebskosten am Beispiel der Wasseraufbereitungsanlage Heidenreichstein.- Masterarbeit an der Technischen Universität Graz.
- US EPA (2005): Membrane Filtration Guidance Manual.- United States Environmental Protection Agency, USA.
- WERNER, P. (1997): Mikrobiologische Probleme in Verteilungsnetzen – Ursachen und Gegenmaßnahmen.- In: Sicherung der Trinkwassergüte bei der Wasserverteilung und Wasserverwendung; 2. TZW Kolloquium, Deutschland.
- WRICKE, B., (2001): Mikrobielle Beeinträchtigung der Trinkwasserqualität auf dem Transportweg.- In: Sicherung der mikrobiologischen Trinkwassergüte bei der Wasserverteilung; 10. Trinkwasserkolloquium, Dresden, Deutschland.
- WRICKE, B., PETZOLD, H., KORTH, A., KRÜGER, M., ANDRUSCH, T., BÖHM, U. & H. HÄUSLER (2002): Minimierung der Desinfektionsmittelnebenproduktbildung und der Wiederverkeimung im Verteilungsnetz von Fernwasserversorgungssystemen.- Abschlussbericht zum BMBF-Vorhaben, Schriftenreihe des TZW, Heft 17, Deutschland.

Veröffentlichungen im Rahmen des Projektes

Zwischenbericht

KÖLBL J., KRAUSE S., ZIBUSCHKA F., LINDNER G., GÜNTHERT F. W., KAINZ H. & R. HABERL (2008): Optimierung bestehender Aufbereitungsanlagen für huminstoffreiche Wässer im Waldviertel.- Zwischenbericht vom März 2008, TU Graz, BOKU Wien, Universität der Bundeswehr München, Graz, Wien, München.

Broschüre

KÖLBL J., KRAUSE S., ZIBUSCHKA F., LINDNER G., GÜNTHERT F. W., KAINZ H. & R. HABERL (2009a): Broschüre zum Themenbereich „Filteraufbau und –betrieb beim Verfahren der Flockenfiltration“.- Broschüre im Auftrag der niederösterreichischen Landesregierung, TU Graz, BOKU Wien, Universität der Bundeswehr München, Graz, Wien, München.

Publikationen in Tagungsbänden und Fachzeitschriften

KÖLBL J. (2009): Optimierungsmöglichkeiten an bestehenden Wasseraufbereitungsanlagen für huminstoffreiche Wässer unter Verwendung der Ultrafiltration.- Tagungsband Symposium Wasserversorgung 2009, ÖVGW, Wien.

KÖLBL, J.; KAINZ, H.; SCHAUER, U.; BRAUN, W.; HOCHSTÖGER, C.; KRAUSE, S.; LINDNER, G.; WANDALLER, M.; ZIBUSCHKA, F. (2008): Verbesserung der hygienischen Sicherheit durch Optimierung an bestehenden Aufbereitungsanlagen für huminstoffreiche Wässer am Beispiel eines Pilotprojektes im Waldviertel. - Umweltmedizin in Forschung und Praxis **13 (5)** (2008) , p. 297 – 298, Landsberg, Germany. ISSN 1430-8681

KRAUSE S. (2009): Einsatzmöglichkeiten und mehrjährige Erfahrungen mit Ultrafiltration in Bayern.- Tagungsband Symposium Wasserversorgung 2009, ÖVGW, Wien.

ZIBUSCHKA F. (2009): Mikrobiologische Aspekte beim Einsatz von Membranverfahren.- Tagungsband Symposium Wasserversorgung 2009, ÖVGW, Wien.

Diplom- bzw. Masterarbeiten

MAJER, A. (in Bearbeitung): Optimierung bestehender Aufbereitungsanlagen für huminstoffreiche Wässer im Waldviertel aus mikrobiologischer Sicht.- Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur, Wien.

RIESER, M. (2009): Trinkwasseraufbereitungsanlagen für huminstoffreiche Wässer – Abschätzung von Investitions- und Betriebskosten am Beispiel der Wasseraufbereitungsanlage Heidenreichstein.- Masterarbeit an der Technischen Universität Graz.

Pressemeldungen

KÖLBL J. (2008): Projekt Wasseraufbereitung vor erfolgreichem Abschluss.-
Heidenreichsteiner Stadtnachrichten, Ausgabe Dezember 2008.

KELLNER W. (2009): Wasser – ein kostbares Gut.- Gmünder Bezirksblatt Nr. 3, Jänner
2009, Gmünd.

Präsentationen und Vorträge

- Zwischenpräsentation im Dezember 2007 in Heidenreichstein (gesamtes wissenschaftliches Team)
- Zwischenpräsentation im Mai 2007 in St. Pölten (gesamtes wissenschaftliches Team)
- Jahrestagung der GHUP (Gesellschaft für Hygiene, Umwelt- und Präventivmedizin) im Oktober 2008 in Graz
 - KÖLBL J.: Verbesserung der hygienischen Sicherheit durch Optimierung an bestehenden Aufbereitungsanlagen für huminstoffreiche Wässer am Beispiel eines Pilotprojektes im Waldviertel.
- ÖVGW Symposium Wasserversorgung 2009, Wien (Themen siehe oben unter Publikationen in Tagungsbänden und Fachzeitschriften)
 - KRAUSE S.: Einsatzmöglichkeiten und mehrjährige Erfahrungen mit Ultrafiltration in Bayern.
 - KÖLBL J.: Optimierungsmöglichkeiten an bestehenden Wasseraufbereitungsanlagen für huminstoffreiche Wässer unter Verwendung der Ultrafiltration.
 - ZIBUSCHKA F.: Mikrobiologische Aspekte beim Einsatz von Membranverfahren.
- Ergebnispräsentation April 2009 in St. Pölten (gesamtes wissenschaftliches Team)



Anhang

- Anhang 1: Betriebstagebuch**
- Anhang 2: Teilbericht zu Versuchen zum Filtermaterial**
- Anhang 3: Messdaten**
- Anhang 4: Kostenschätzung allgemein (Detailaufstellung)**
- Anhang 5: LC-OCD Analysen, Labor Dr. Huber**



Anhang 1

Betriebstagebuch

Sep 07															Okt 07															
Einarbeitungsphase Filter I und II															Einarbeitungsphase Filter I und II															
Anlagenbetrieb:																														
Betrieb Filter I	[Blue bar]																													
Betrieb Filter II	[Blue bar]																													
Betrieb Filter III	[Blue bar]																													
Ultrafiltration	[Green bar]																													
UV	[Green bar]																													
Durchfluss:																														
Durchfluss nach Riesler I/s	keine vernünftige Pumpensteuerung, häufiges Ein- und Ausschalten															kein konstanter Durchfluss, sondern konstanter Druck der Hydrovar-Pumpe														
Dosiermittel:																														
PACl	5 mg/l PACl (Sachtklar)																													
FeCl3																														
Rückspülen:																														
Filter I	[Purple dots]																													
Filter II	[Purple dots]																													
Filter III	[Purple dots]																													
Belüftung Riesler:																														
Ventilator auf ... Hz	[Orange bar]																													
Analysen:																														
Routineanalysen BOKU	[Green dots]																													
Mikrobiologie BOKU	[Green dots]																													
Besonderheiten:																														
Ventilatorausfall	[Red bar]																													

Abbildung A 1-1: Auszug aus dem Betriebstagebuch (September und Oktober 2007)

Nov 07															Dez 07																																														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Einarbeitungsphase Filter I und II															UF Testphase 1																																														
Betrieb Filter I															Betrieb Filter I																																														
Betrieb Filter II															Betrieb Filter II																																														
Betrieb Filter III															Betrieb Filter III																																														
Ultrafiltration															UF nach Filter III																																														
UV																																																													
kein konstanter Durchfluss, sondern konstanter Druck der Hydrovar-Pumpe ca. 1,2 bis 3,7 l/s															ca. 1,2 bis 3,7 l/s																																														
Dosiermittel: PACI vor Filter I																																																													
FeCl3 vor Filter I																																																													
vor Filter II																																																													
vor UF																																																													
pH+ vor Filter I																																																													
Rückspülen: Filter I															Filter I																																														
Filter II															Filter II																																														
Filter III															Filter III																																														
Beifügung Riesler: Ventilator auf ... Hz															8 Hz																																														
Analysen: Routineanalysen BOKU															8 Hz																																														
Mikrobiologie BOKU															8 Hz																																														
Besonderheiten:															BOKU pH-Sonde in Reinwasser																																														

Abbildung A 1-2: Auszug aus dem Betriebstagebuch (November und Dezember 2007)

Jan 08															Feb 08														
Testphase zur Flockenfiltration															Testphase zur Flockenfiltration														
Anlagenbetrieb:																													
Betrieb Filter I																													
Betrieb Filter II																													
Betrieb Filter III																													
Ultrafiltration																													
UV																													
UF zw. Filter II und III																													
Durchfluss:																													
Durchfluss nach Riesler /s															kein konstanter Durchfluss, sondern konstanter Druck der Hydrovar-Pumpe														
ca. 1.2 bis 3.7 /s															ca. 1.2 bis 3.7 /s														
Dosiermittel:																													
PACl																													
vor Filter I																													
FeCl3																													
vor Filter I																													
vor Filter II																													
vor UF																													
pH+ vor Filter I																													
Rückspülen:																													
Filter I																													
Filter II																													
Filter III																													
Belüftung Riesler:																													
Ventilator auf ... Hz															9 Hz														
8 Hz 9 Hz															9 Hz														
Analysen:																													
Routineanalysen BOKU																													
Mikrobiologie BOKU																													
Besonderheiten:																													
Ventilatorausfall															Rohrbruch TL														
Pumpentausch															Brunnen 2														
Jan 08															Feb 08														

Abbildung A 1-3: Auszug aus dem Betriebstagebuch (Jänner und Februar 2008)

Mai 08															Jun 08																
Anlagenbetrieb:	Testphase zur Flockenfiltration															Einarbeitungsphase Filter I															
	Betrieb Filter I	[Blue bar]																													
	Betrieb Filter II	[Blue bar]																													
	Betrieb Filter III	[Blue bar]																													
	Ultrafiltration	[Blue bar]															UF nach Filter III														
UV																															
Durchfluss:	konstanter Durchfluss 2,6 l/s															konstanter Durchfluss 2,6 l/s															
Dosiermittel:																															
PACl	vor Filter I																														
FeCl3	vor Filter I																														
	vor Filter II																														
	vor UF																														
	pH+ vor Filter I																														
Rückspülen:																															
Filter I																															
Filter II																															
Filter III																															
Beifügung Riesler:	Ventilator auf ... Hz 9 Hz															9 Hz 13 Hz															
Analysen:																															
Routineanalysen BOKU	[Green bar]															[Green bar]															
Mikrobiologie BOKU	[Yellow bar]															[Green bar]															
Besonderheiten:																															
	[Red bar]															[Red bar]															
	Filtermaterial Wechsel Filter I (Sand 0,4-0,8 mm)																														
Mai 08															Jun 08																

Abbildung A 1-5: Auszug aus dem Betriebstagebuch (Mai und Juni 2008)

	Jul 08															Aug 08																																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Anlagenbetrieb:	UF- Testphase II																																																													
Betrieb Filter I																																																														
Betrieb Filter II																																																														
Betrieb Filter III																																																														
Ultrafiltration																																																														
UV																																																														
Durchfluss:	konstanter Durchfluss																																																													
Durchfluss nach Riesler I/s	2,6 l/s																																																													
Dosiermittel:	konstanter Durchfluss																																																													
PACI																																																														
vor Filter I																																																														
FeCl3																																																														
vor Filter I																																																														
vor Filter II																																																														
vor UF																																																														
pH+ vor Filter I																																																														
Rückspülen:	konstanter Durchfluss																																																													
Filter I																																																														
Filter II																																																														
Filter III																																																														
Belüftung Riesler:	konstanter Durchfluss																																																													
Ventilator auf ... Hz																																																														
Analysen:	konstanter Durchfluss																																																													
Routineanalysen BOKU																																																														
Mikrobiologie BOKU																																																														
Besonderheiten:	konstanter Durchfluss																																																													
Statischer Mischer für Dosierstelle vor Filter I eingebaut																																																														

Abbildung A 1-6: Auszug aus dem Betriebstagebuch (Juli und August 2008)

Sep 08															Okt 08															
UF-Testphase II															UF-Testphase III															
Anlagenbetrieb:																														
Betrieb Filter I	[Blue bar]																													
Betrieb Filter II	[Blue bar]																													
Betrieb Filter III	[Blue bar]																													
Ultrafiltration	UF zw. F. II + III															UF nach Filter III														
UV	[Light blue bar]																													
Durchfluss:	konstanter Durchfluss 2,6 l/s															konstanter Durchfluss 2,0 l/s														
Dosiermittel:																														
PACl	[Green bar]																													
vor Filter I																														
FeCl3	12 mg/l Fe 16 mg/l Fe															16 mg/l Fe 20 mg/l Fe														
vor Filter I																														
vor Filter II																														
vor UF	4 mg/l Fe 2 mg/l Fe															2 mg/l Fe														
pH+ vor Filter I																														
Rückspülen:																														
Filter I																														
Filter II																														
Filter III																														
Beiftung Riesler:	13 Hz															13 Hz 16 Hz 8 Hz														
Ventilator auf ... Hz																														
Analysen:																														
Routineanalysen BOKU	[Green bar]																													
Mikrobiologie BOKU	[Yellow bar]																													
Besonderheiten:																														
Stromausfall	[Red bar]																													
	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31															1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31														
	Sep 08															Okt 08														

Abbildung A 1-7: Auszug aus dem Betriebstagebuch (September und Oktober 2008)

	Nov 08																														Dez 08																														Jan 09																															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Anlagenbetrieb:	UF Testphase III																																																																																											
Betrieb Filter I	[Blue bar]																																																																																											
Betrieb Filter II	[Blue bar]																																																																																											
Betrieb Filter III	[Blue bar]																																																																																											
Ultrafiltration	UF nach Filter III																																																																																											
UV	[Light blue bar]																																																																																											
Durchfluss:	konstanter Durchfluss																																																																																											
Durchfluss nach Riesler l/s	2,0 l/s																																																																																											
Dosiermittel:	konstanter Durchfluss																																																																																											
PACI	2,0 l/s																																																																																											
vor Filter I	[Empty]																																																																																											
FeCl3	20 mg/l Fe																																																																																											
vor Filter I	[Purple bar]																																																																																											
vor Filter II	[Empty]																																																																																											
vor UF	[Empty]																																																																																											
pH+ vor Filter I	[Yellow bar]																																																																																											
Rückspülen:	[Empty]																																																																																											
Filter I	[Empty]																																																																																											
Filter II	[Empty]																																																																																											
Filter III	[Empty]																																																																																											
Belüftung Riesler:	8 Hz 26 Hz																																																																																											
Ventilator auf ... Hz	26 Hz																																																																																											
Analysen:	[Green and yellow bars]																																																																																											
Routineanalysen BOKU	[Green bar]																																																																																											
Mikrobiologie BOKU	[Yellow bar]																																																																																											
Besonderheiten:	[Red bar]																																																																																											
Rein. HB, TL, Vorl.beh	[Red bar]																																																																																											
Reinigung Vorlagebehälter	[Red bar]																																																																																											

Abbildung A 1-8: Auszug aus dem Betriebstagebuch (November 2009 bis Jänner 2009)



Anhang 2

Teilbericht zu Versuchen zum Filtermaterial

Teilbericht zu Versuchen zum Filtermaterial

Der Betrieb einer Flockenfiltration erfordert den Einsatz eines geeigneten Filtermaterials. Bei der Implementierung der Flockenfiltration im Zuge des gegenständlichen Projektes traten Probleme hinsichtlich der Reinigungsleistung beim Rückspülen des Filters I auf. Es wurde festgestellt, dass auch bei mehrmaligem und sehr intensivem Rückspülen die gewünschte Reinigungsleistung nicht erreicht wurde und der Filter nach dem Rückspülen den gewünschten Flockenrückhalt nicht aufrecht halten konnte.

Das war der Auslöser für Detailuntersuchungen zum eingesetzten Filtermaterial und möglichen Optimierungspotenzialen. Folgende Punkte wurden untersucht:

- Ist das eingesetzte Filtermaterial zur Flockenfiltration geeignet?
- Wo erfolgt der Flockenrückhalt (Filteroberfläche und/oder im Filtermedium selbst)?
- Wie ist das Fluidisierungs- bzw. Ausdehnungsverhalten der einzelnen Filterschichten im Mehrschichtfilter?
- Welche Rückspülgeschwindigkeiten erfordern die unterschiedlichen Filtermaterialien?
- Welche Material und Kornkombination ist für die Anwendung der Flockenfiltration unter den Rahmenbedingungen des Projektes Heidenreichstein geeignet?

Filteraufbau und Filterspülungen des bestehenden Filters

Bevor auf die verschiedenen Untersuchungen zum Filtermaterial näher eingegangen wird, beschreibt dieses Kapitel die Ausgangssituation beim Filter I.

Der Filter I ist ein Stahlkessel und ist folgendermaßen aufgebaut:

Durchmesser des Filters:	180 cm
Höhe des Filterkessels:	250 cm
Filtermaterialhöhe:	180 cm

Der Aufbau des Filtermaterials von oben nach unten sah folgendermaßen aus:

Hydro-Anthrasit H (Körnung I, 0,6-1,6 mm)	75 cm
Filterkies I (Körnung 0,7-1,2 mm)	75 cm
Stützkies (2-3,2 mm)	10cm
Stützkies (3-5,6 mm)	10cm
Stützkies (5-8 mm)	10cm

Im Datenblatt von Hydro-Anthrasit H werden zwei möglich Kornkombinationen genannt (siehe Tabelle 1). Die im Filter I eingesetzten Filtermaterialien Hydro-Anthrasit H (Körnung I, 0,6-1,6 mm) und Filterkies I (Körnung 0,7-1,2 mm) gehören somit unterschiedlichen Kornkombinationen an.

Tabelle 1: Kornkombinationen Hydro-Anthrasit H

	Körnung (mm)	Schichthöhe (mm)
Kornkombination I		
Hydro-Anthrasit H	0,6–1,6	600-800
Filtersand	0,4-0,8	≥ 600
Kornkombination II		
Hydro-Anthrasit H	1,4-2,5	600-1200
Filtersand	0,7-1,2	≥ 600

Im Datenblatt des Hydro-Anthrasit H werden für diese beiden Kombinationen folgende Spülgeschwindigkeiten empfohlen:

- Kornkombination I: 30 m/h
- Kornkombination II: 50 m/h

Die im Filter I ursprünglich eingesetzten Filtermaterialien erfordern aufgrund ihrer Korngröße, unterschiedliche Spülgeschwindigkeiten und sind also nicht optimal aufeinander abgestimmt („grober“ Unterbau, „feine“ Oberschicht). Die vom Hersteller vorgegebenen Kombinationen zielen darauf ab, dass beide Komponenten (Sand und Anthrazit) bei derselben Spülgeschwindigkeit in Schwebelagerung gebracht werden können (fluidisieren). Sind diese von Dichte und Durchmesser nicht aufeinander abgestimmt, wird entweder die eine Komponente ausgespült oder die andere nicht vollständig gereinigt.

Für die Versuchsanlage Heidenreichstein heißt das, dass für den Unterbau mit Filtersand Körnung 0,7-1,2 ein gröberer Hydro-Anthrasit H (Körnung 1,4-2,5) erforderlich wäre (entsprechend der genannten Kornkombination II), oder für den vorhandenen Hydro-Anthrasit H ein feinerer Filtersand (Körnung 0,4 – 0,8 mm). Aufgrund der geringen Filtergeschwindigkeit kann es bei einem feineren Sand aber dazu kommen, dass die Flocken schwer in das Filterbett eindringen und es mehr zu einer Oberflächenfiltration mit der Gefahr von Kanalbildung kommt. Dies kann zu schlechten Ablaufwerten führen.

Aus den beobachteten Fakten war daher zu vermuten, dass der Filtersand (zu grob) beim Rückspülen nicht ausreichend mobilisiert werden kann und somit die gewünschte Reinigungsleistung nicht erreicht wird. Diese Theorie sollte im Zuge von Versuchen an der Versuchsanlage in Heidenreichstein sowie in Laborversuchen zum Filtermaterial mit simulierten Flockenfiltrationsversuchen und Rückspülungen bei unterschiedlichen Spülgeschwindigkeiten in einem VersuchsfILTER untersucht werden.

Beprobung des Filtermaterials

Ausgehend von der beschriebenen Ausgangslage und den Vermutungen wurden am 5.3.2008 und 6.3.2008 Untersuchungen am Filter I durchgeführt.

Mittels Gerätschaften zur Bodenbeprobung wurden Bohrproben aus dem Filter I (vor dem Rückspülen) gezogen. Dabei zeigte sich, dass an der Filteroberfläche eine ca. 2 cm mächtige Schichte als „Filterkuchen“ abgelagert ist. Darunter befindet sich eine ca. 70 cm mächtige Schicht aus Hydro-Anthrazit, die makroskopisch keine Einlagerungen größerer Eisenflocken erkennen lässt (siehe Abbildung 1 und Abbildung 2).



Abbildung 1: Filter I, ungestörte Filteroberfläche

Die Schichtgrenze zum darunter liegenden Filterkies scheint relativ scharf zu sein. Auch der ca. 70 cm mächtige Filterkies weist keine makroskopischen Spuren größerer Eisenflocken auf. Die entnommenen Proben wurden getrennt in Plastiksäcke abgefüllt und im Labor der TU Graz hinsichtlich der im Filtermaterial abgeschiedenen Eisen- und Manganmengen untersucht. Dazu wurden die Proben mit Wasser eluiert.

Zur Eluatbestimmung wurden je Schicht 50 g Filtersand mit deionisiertem Wasser auf 100 ml aufgefüllt und geschüttelt. Der gesamte Überstand wurde nach dem Eluieren abfiltriert. Die in Tabelle 2 ersichtlichen Ergebnisse bestätigen die makroskopischen Beobachtungen und zeigen, dass ein Großteil der Flocken an der Filteroberfläche abgeschieden wird.



Abbildung 2: Filter I, Bohrloch (links) und Filtermaterial im Übergangsbereich Hydro-Anthrazit zu Filtersand (rechts)

Tabelle 2: Filter I, Eluatbestimmung der Beprobung vom 5.3.2008

Filter	Probenbezeichnung	Probenahme	Probenvolumen [ml]	Multipl. faktor	Filter + Schlamm [g]	Filter leer [g]	TS [g/l]
1	Schicht 1 (0 - 2 cm)	05.03.2008	100	10	0,6174	0,0839	5,34
2	Schicht 2 (2 - 70 cm) Kernbohrer	05.03.2008	300	10	0,1083	0,0835	0,25
3	Schicht 2 u. 3 (70 - 80 cm) Kernb.	05.03.2008	250	10	0,1004	0,0834	0,17
4	Schicht 3 (80 - 90 cm) Kernbohrer	05.03.2008	200	10	0,0951	0,0863	0,09
5	Schicht 1 + 2 (0 - 70 cm) Spiralbohrer	05.03.2008	400	10	0,171	0,0837	0,87

Untersuchung Filterspülung und Spülwasser

Nach der oben beschriebenen Beprobung erfolgte am 5.3.2008 eine Filterspülung unter Beobachtung der Oberfläche des Filters über die geöffnete Luke des Filter I. Dabei wurde erkannt, dass der Filter I ab einer Spülwassermenge von ca. 95 m³/h, was einer Spülgeschwindigkeit von ca. 37 m/h entspricht, unter Druck geht und kein freier Ablauf des Spülwassers mehr möglich ist. Als Konsequenz wird daher eine maximale Spülwassermenge von 90 m³/h empfohlen (siehe Abbildung 3).



Abbildung 3: Filter I, Überlauf bei einer Spülwassermenge von ca. 90 m³/h

Nach kurzem Vorspülen wurde 10 min. mit Luft gespült, danach 10 min. mit Wasser gespült (90 m³/h). Dieser Vorgang wurde insgesamt dreimal durchgeführt, da im Spülwasser immer Trübungen zu beobachten waren. Selbst nach der dritten Spülung war das Spülwasser noch immer stark getrübt. Das lässt darauf schließen, dass im Filter noch immer abgeschiedene Partikel bzw. Flocken enthalten sind.

Zur quantitativen Abschätzung der Trübungen im Spülwasser wurden am 6.3.2008 weitere Versuche zur Spülung des Filter I durchgeführt. Dabei wurden bei Beginn der Rückspülung und dann im Minutentakt bzw. nach 5 Minuten im 2-Minutenabstand Spülwasserproben entnommen und die Trübung gemessen. Bei einer weiteren Spülung (unmittelbar nach der ersten) wurden annähernd gleiche Trübungswerte, wie bei der ersten Spülung gemessen (siehe Abbildung 4).

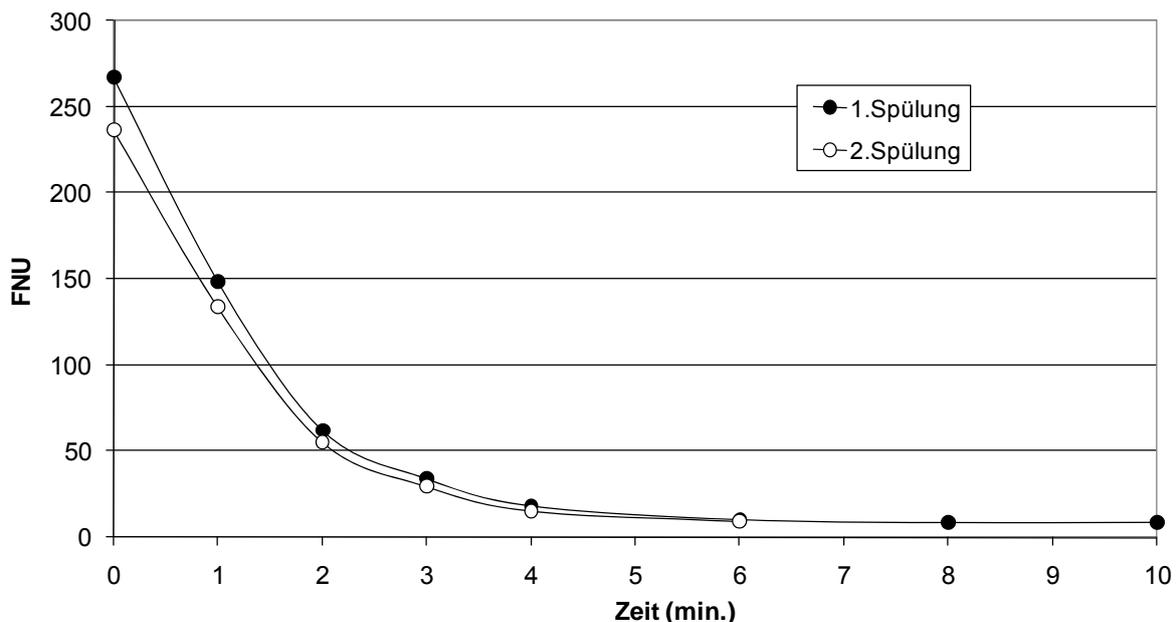


Abbildung 4: Filter I, Trübungswerte im Spülwasser vom 6.3.2008

Laboruntersuchungen zum Filtermaterial und zu Filterspülungen

Im Zeitraum vom 1.4.2008 bis 11.4.2008 wurden im Technikum der TU Graz verschiedene Filterversuche durchgeführt und die Ergebnisse mittels Fotos und Videoaufnahmen dokumentiert. Die wesentlichsten Ergebnisse werden im Folgenden beschrieben.

Versuchsaufbau und Durchführung

Als Filter wurde ein Plexiglaszylinder mit 30 cm Durchmesser verwendet. An diesen Zylinder ist an der Unterseite ein Wasseranschluss angebracht, welcher zugleich auch als Entnahmestelle dient. Über einer unteren Kammer, welche der Homogenisierung des zuströmenden Wasser bzw. der Luft dient, befindet sich ein gelochtes Blech. Die Wasserentnahme bzw. das Zuführen des Spülwassers wird über einen Clamp-on Ultraschalldurchflussmesser gemessen (siehe Abbildung 5).

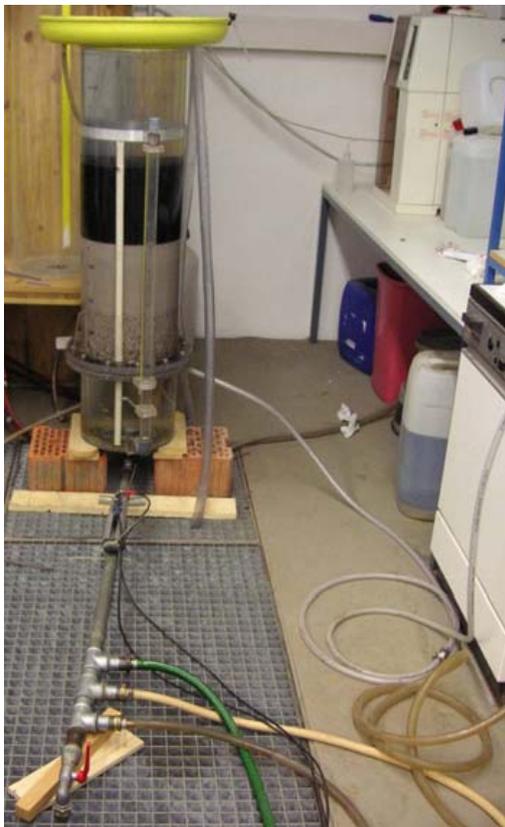


Abbildung 5: Versuchsaufbau



Abbildung 6: Versuchsaufbau, Kamera

Die gesamte Apparatur wurde mittels Videokamera gefilmt (siehe Abbildung 6). In die über dem Blech liegende Filterkammer, ist das Filtermaterial eingefüllt. Es wurden 2 unterschiedliche Varianten untersucht:

Variante 1: Filteraufbau analog bestehendem Filter I

Variante 2: Filteraufbau mit feinerem Filtersand

Nach einer Erstspülung der Filtermaterialien erfolgte zunächst die Untersuchung der Ausdehnung der Filtermaterialien in Abhängigkeit von der Spülgeschwindigkeit.

Als zweiter Schritt erfolgte eine Beschickung der Filter mit Eisenflocken, dazu wurde herkömmliches Grazer Leitungswasser mit dem Flockungsmittel FeCl_3 in einer Dosierung von 10 mg Fe/l versetzt und langsam (ca. 3 m/h) durch den Filter geschickt. Dabei wurde der Eisengehalt im Ablauf des Filters stichprobenartig untersucht.

Danach erfolgte jeweils eine Rückspülung (Vorspülen mit Wasser, Luftspülung, Klarspülen mit Wasser). Nach dem Rückspülen erfolgte eine Beschickung mit Wasser ohne Zugabe von FeCl_3 , wobei auch wieder der Eisengehalt im Ablauf des Filters stichprobenartig untersucht wurde.

Variante 1: Filteraufbau analog bestehendem Filter I

Zunächst wurden analog zum Filteraufbau in Heidenreichstein (Variante 1) fünf Schichten eingebracht (siehe Abbildung 7 bis Abbildung 10):

Hydro-Anthrasit H (Körnung I, 0,6-1,6 mm)	20 cm
Filtersand (Körnung I, 0,7-1,2 mm)	20 cm
Stützkies (Körnung 3-3,5 mm)	7 cm
Stützkies (Körnung 3-5 mm)	5 cm
Stützkies (Körnung 5,6-8,8 mm)	5 cm



Abbildung 7: Gesamtansicht Filter



Abbildung 8: Hydro-Anthrasit H
(Körnung I, 0,6-1,6 mm)

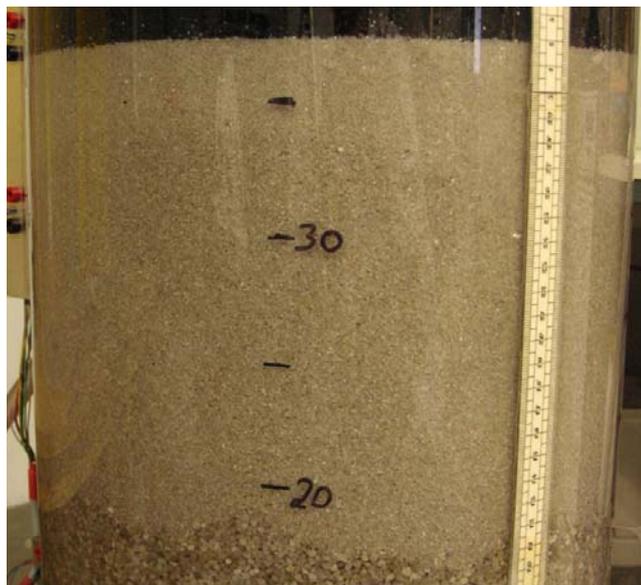


Abbildung 9: Filtersand (Körnung I,
0,7-1,2 mm)

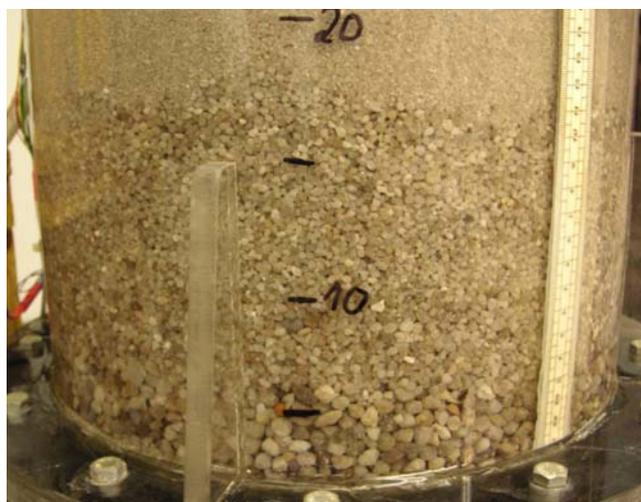


Abbildung 10: Stützkies

Wie in Abbildung 11 und Abbildung 12 ersichtlich, haben die beiden Filtermaterialien ein unterschiedliches Ausdehnungsverhalten. Der Hydro-Anthrazit H (Körnung I, 0,6-1,6 mm) dehnt sich mit zunehmender Spülgeschwindigkeit ungefähr fünfmal so stark aus, wie der Filtersand der Körnung I (0,7-1,2 mm).

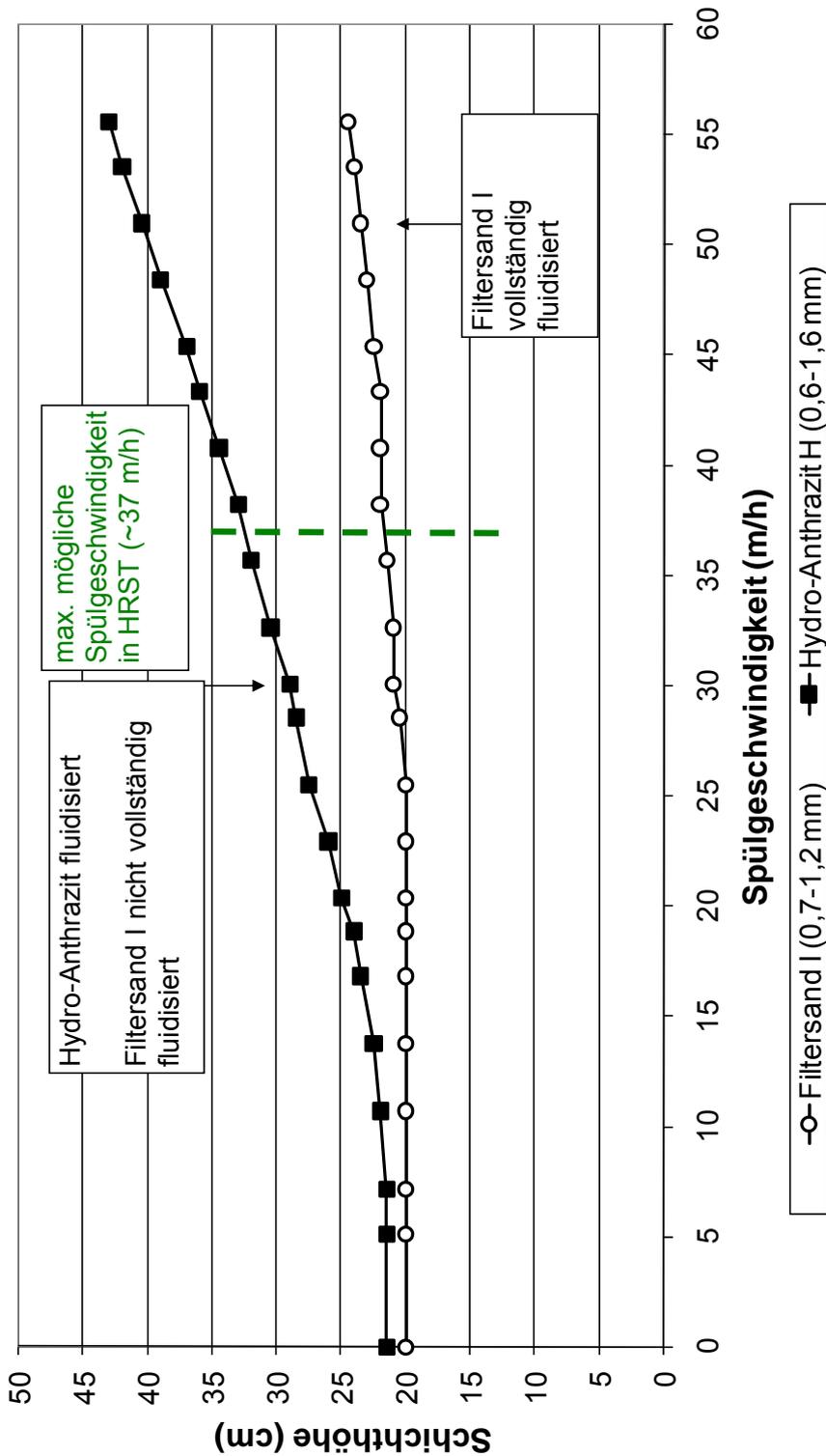


Abbildung 11: Variante 1, Ausdehnung des Filtermaterials (Absolutwerte)

Des Weiteren konnte nachgewiesen werden, dass bei der in Heidenreichstein maximal erreichbaren Spülgeschwindigkeit von ca. 37 m/h (Anm.: sonst geht der Filterkessel unter Druck) der Großteil des Filtersandes I zwar in Bewegung ist, Teile davon aber noch nicht in Bewegung sind.

Dazu ist noch anzumerken, dass in den Laborversuchen Bedingungen herrschen, die das Ergebnis im Vergleich zur Situation Vor-Ort noch besser erscheinen lassen (frisches Filtermaterial, geringe Reibung an der Filteraußenwand mit bevorzugter Durchströmung im Randbereich, gleichmäßige Durchströmung aufgrund der geringen Querschnittsfläche).

Daraus lässt sich ableiten, dass unter den gegebenen Bedingungen in Heidenreichstein der Filtersand der Körnung I (0,6-1,2 mm) ungeeignet ist, da

- die erforderliche Spülgeschwindigkeit von ca. 50 m/h (das entspricht einer Ausdehnung des Filtersandes um ca. 20%) nicht erreicht werden kann und
- daher eine unzureichende Auflockerung des Kornverbandes erfolgt, wodurch Ablagerungen nicht ausgetragen werden.
- Des Weiteren ist ersichtlich, dass es durch die Kombination mit dem Hydro-Anthrasit H (Körnung I, 0,6-1,6 mm) aufgrund des unterschiedlich starken Ausdehnungsverhaltens zu einer überproportionalen Volumenerhöhung des Hydro-Anthrasits kommt.

Als zweiter Versuchsteil erfolgte eine Beschickung mit Eisenflocken. Dabei wurden am 8.4.2008 in Summe ca. 220 l Wasser mit FeCl_3 versetzt (Dosierung 10 mg Fe/l, Einwirkzeit ca. 10 min.) und im Zeitraum von ca. 60 min. durch den Filter geschickt.



Abbildung 13: Beschickung mit Eisenchlorid, Variante 1, 8.4.2008

Tabelle 3 zeigt die während des Durchsatzes im Ablauf des Filters gemessenen Eisenwerte (mittels Schnellbestimmung Merck Microquant 0,1-0,5 mg/l Fe). Dabei ist ersichtlich, dass im Filterablauf bei allen Messungen ein Eisenanteil von 0,1 bis 0,2 mg/l zu beobachten war.

Tabelle 3: Eisenwerte im Filterablauf, Variante 1, 8.4.2008

Zeit	Fe im Filterablauf (mg/l)
15:30	0,20
15:40	0,15
15:46	0,10
15:53	0,15
16:00	0,10
16:10	0,10

Am 10.4.2008 erfolgte eine weitere Beschickung des Filters und zwar ca. 150 l in ca. 60 min. mit der gleichen Dosiermenge wie zuvor. Die im Filterablauf gemessenen Eisenwerte sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Eisenwerte im Filterablauf, Variante 1, 10.4.2008

Zeit	Fe im Filterablauf (mg/l)
09:50 (vor Beginn)	0,05
10:10	0,35
10:23	0,20

Danach erfolgte eine Rückspülung. Die Vorgehensweise beim Rückspülen erfolgte unter ähnlichen Bedingungen wie es in Heidenreichstein der Fall ist. Zuerst wurde 5 min. mit Wasser gespült (Spülgeschwindigkeit ca. 32 m/h), danach wurde 10 min. mit Luft gespült und dann abschließend wieder 5 min. mit Wasser gespült. Dabei konnte beobachtet werden, dass an der Filteraußenwand einzelne Eisenflocken nicht ausgetragen wurden (siehe Abbildung 14).



Abbildung 14: Eisenflocke an Filteraußenwand nach Rückspülen, Variante 1

Nach dem Rückspülen erfolgte ein Beschicken des Filters mit Wasser ohne Zugabe von Dosiermittel. Im Ablauf des Filters wurde kontrolliert, ob Eisen vorhanden ist, oder eine vollständige Reinigung des Filters erfolgte.

Tabelle 5: Eisenwerte im Filterablauf, Variante 1, 10.4.2008, nach Rückspülen

Zeit	Fe im Filterablauf (mg/l)
11:05	0,01
11:13	0,30
11:18	0,00
11:23	0,00

Dabei konnte bei einer Messung ein Eisengehalt von 0,3 mg/l festgestellt werden, wobei nicht klar ist, was die Ursache dafür ist, denn die Messung davor und auch die Messungen danach zeigten keinen (oder nur sehr geringen) Eisengehalt an. Möglicherweise handelte es sich dabei um den Austrag von vereinzelt Eisenflocken.

Variante 2: feinerer Filtersand (0,4-0,8 mm)

Als zweite Variante wurde ein Versuch mit feinerem Filtersand und ohne Hydro-Anthrasit H durchgeführt (siehe Abbildung 7 bis Abbildung 10):

Filtersand (Körnung I, 0,4-0,8 mm)	40 cm
Stützkies (Körnung 3-3,5 mm)	8 cm
Stützkies (Körnung 3-5 mm)	5 cm
Stützkies (Körnung 5,6-8,8 mm)	5 cm



Abbildung 15: Filteraufbau Variante 2

Wie bei Variante 1 wurde auch hier das Ausdehnungsverhalten in Abhängigkeit der Spülgeschwindigkeit untersucht (siehe Abbildung 16). Der feinere Filtersand zeigt im Vergleich zum Filtersand der Körnung I schon bei geringeren Spülgeschwindigkeiten höhere Ausdehnungen. Bei einer Spülgeschwindigkeit von 30 m/h, was der im Datenblatt des Hydro-Anthrasit H angegebenen Spülgeschwindigkeit für die Kornkombination I entspricht, kann eine Ausdehnung um ca. 30 % und eine vollständige Fluidisierung des Filtersandes beobachtet werden. Bei der in Heidenreichstein maximal erreichbaren Spülgeschwindigkeit von ca. 37 m/h beträgt die Ausdehnung ca. 45 %.

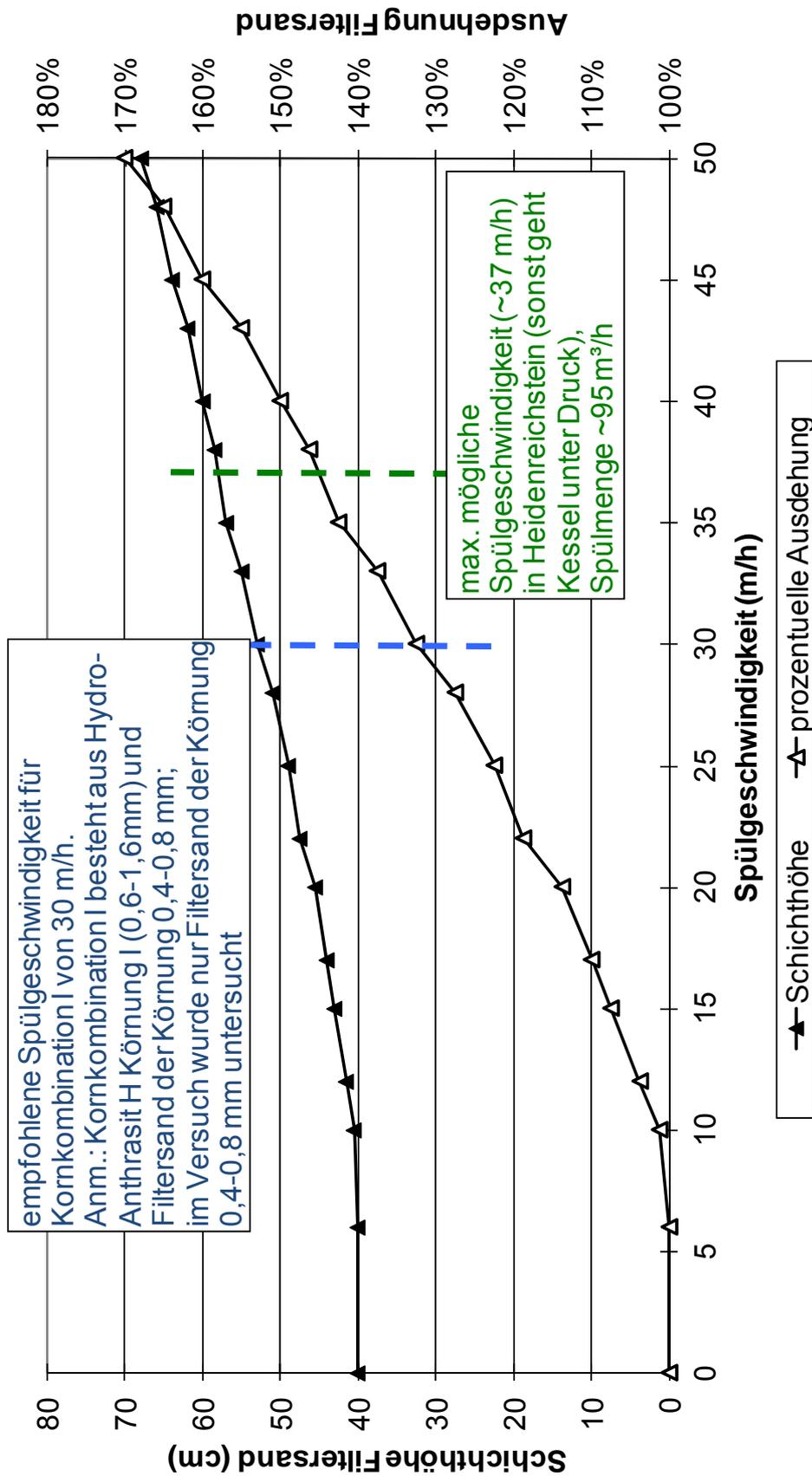


Abbildung 16: Variante 2, Ausdehnung des Filtermaterials (Absolut- und Prozentwerte)

Dieses Filtermaterial zeigt somit ähnliche Fluidisierungseigenschaften wie der Hydro-Anthrasit H der Körnung I und ist daher, wie im Datenblatt beschrieben, besser geeignet als der zuvor eingesetzte Filtersand der Körnung 0,6-1,2 mm.



Abbildung 17: Ausdehnung des Filtersandes um ca. 170 % bei einer Spülggeschwindigkeit von ca. 51 m/h

Als zweiter Versuchsteil für Variante 2 erfolgte wie bei Variante 1 eine Beschickung mit Eisenflocken. Dabei wurden am 10.4.2008 in Summe ca. 250 l Wasser mit FeCl_3 versetzt (Dosierung 10 mg Fe/l, Einwirkzeit ca. 10 min.) und im Zeitraum von ca. 60 min. durch den Filter geschickt (Abbildung 18).

Tabelle 6 zeigt die während des Durchsatzes im Ablauf des Versuchsfilters gemessenen Eisenwerte (mittels Schnellbestimmung Merck Microquant 0,1-0,5 mg/l Fe). Dabei ist ersichtlich, dass im Filterablauf bei allen Messungen kein oder nur ein minimaler Eisenanteil von max. 0,05 mg/l zu beobachten war.

Am 11.4.2008 erfolgte eine weitere Beschickung des Filters und zwar ca. 105 l in ca. 30 min. mit der gleichen Dosiermenge wie zuvor. Die im Filterablauf gemessenen Eisenwerte sind in Tabelle 7 dargestellt. Der erste Wert repräsentiert die erste Probe, wobei das Wasser die Nacht über in der Ablaufleitung gestanden ist und daher dürfte der Eisengehalt von 0,08 mg/l auf den Einfluss der Leitung zurückzuführen sein. Die weiteren Messungen zeigen de facto keinen Eisengehalt.

Tabelle 6: Eisenwerte im Filterablauf, Variante 2, 10.4.2008

Zeit	Fe im Filterablauf (mg/l)
14:39	0,01
14:45	0,01
14:52	0,05
14:55	0,05
15:00	0,05
15:06	0,05
15:11	0,05
15:16	0,05
15:29	0,02
15:34	0,01
15:41	0,01
15:46	0,01
15:51	0,00
15:56	0,00

Tabelle 7: Eisenwerte im Filterablauf, Variante 2, 11.4.2008

Zeit	Fe im Filterablauf (mg/l)
06:44	0,08
07:40	0,00
07:55	<0,01
08:03	0,00
08:10	0,00

Im Zuge des Beschickens mit Eisenflocken konnte in den obersten 5 bis 10 cm des Filtersandes eine zunehmende Gelbfärbung aufgrund der Flockenabscheidung beobachtet werden (siehe Abbildung 19). Da im Ablauf keine Eisenwerte zu erkennen waren wird davon ausgegangen, dass offensichtlich sämtliche Flocken im Filtersand zurückgehalten werden.



Abbildung 18: Beschickung mit Eisenflocken, Variante 2, 10.4.2008

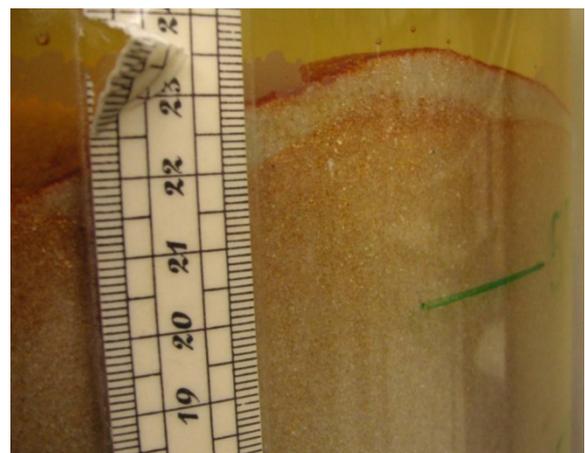


Abbildung 19: Abscheiden der Eisenflocken im den oberen Bereich des Filtersandes, Variante 2, 11.4.2008

Danach erfolgte am 11.4.2008 eine Rückspülung. Die Vorgehensweise beim Rückspülen erfolgte wieder unter ähnlichen Bedingungen wie es in Heidenreichstein der Fall ist. Zuerst wurde 5 min. mit Wasser gespült (Spülgeschwindigkeit ca. 30 m/h), danach wurde 10 min. mit Luft und dann abschließend wieder 10 min. mit Wasser gespült.



Abbildung 20: Beginn Rückspülen, Variante 2, 11.4.2008

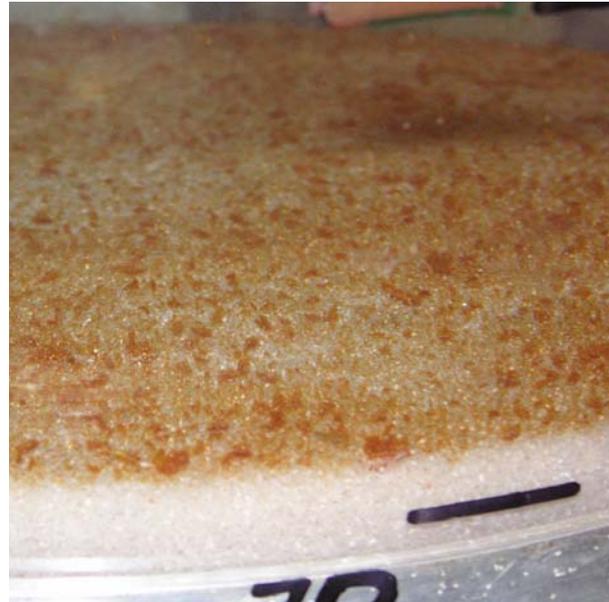


Abbildung 21: Rückspülen, Variante 2, 11.4.2008, größere Partikel werden nicht ausgespült

Dabei konnte beobachtet werden, dass ein Großteil der abgeschiedenen Eisenflocken sofort beim Einleiten der Rückspülung mobilisiert wird (Abbildung 20). Kurz danach ist bereits ersichtlich, dass größere Partikel (Aggregate von Eisenflocken mit Körnern) beim ersten Rückspülen nicht ausgetragen werden (Abbildung 21).

Im Zuge der Luftspülung (Abbildung 22) werden diese Aggregate aufgebrochen und dann im Zuge des Klarspülens ausgetragen (Abbildung 23 und Abbildung 24). Am Ende der Spülung erscheint der Filtersand makroskopisch sauber.

Nach dem Rückspülen erfolgte wieder ein Beschicken des Filters mit Wasser ohne Zugabe von Dosiermittel. Im Ablauf des Filters wurde kontrolliert, ob Eisen vorhanden ist, oder eine vollständige Reinigung des Filters erfolgte.

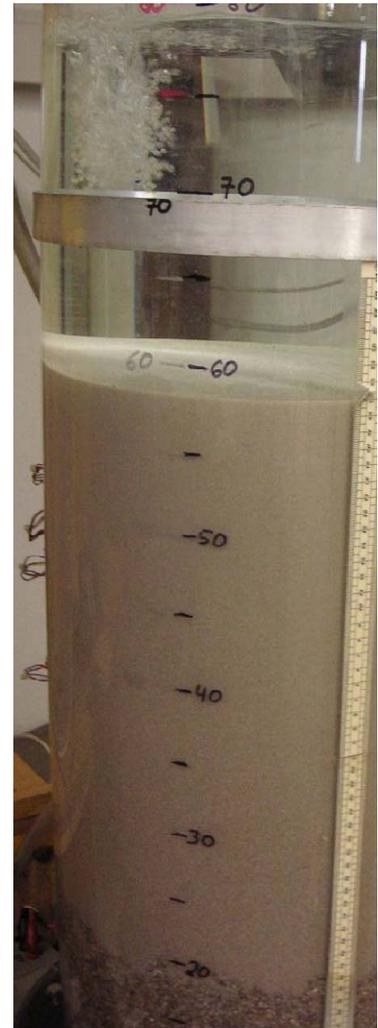
Tabelle 8: Eisenwerte im Filterablauf, Variante 2, 11.4.2008, nach Rückspülen

Zeit	Fe im Filterablauf (mg/l)
09:07	0,00
09:12	0,00
09:18	0,00

Bei allen drei durchgeführten Messungen konnte kein Eisen im Ablauf nachgewiesen werden.

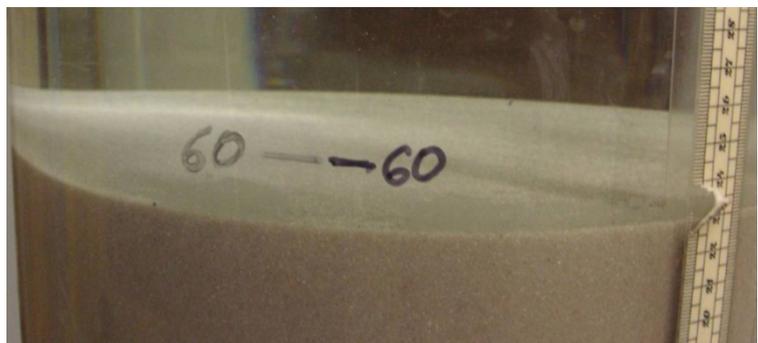


**Abbildung 22: Spülen mit Luft, Variante 2,
11.4.2008**



**Abbildung 23: Nach Rückspülen, Variante 2,
11.4.2008**

**Abbildung 24: Filteroberfläche nach
Klarspülen, Variante 2, 11.4.2008**



Interpretation der Laborversuche zum Filtermaterial

Es wurde festgestellt, dass die ursprünglich im Wasserwerk Heidenreichstein eingesetzte Kornkombination im Filter I unter den gegebenen Bedingungen ungeeignet ist.

Aus den Untersuchungen geht hervor, dass das Fluidisierungsverhalten der eingesetzten Materialien sehr heterogen ist. Auch konnten im Ablauf des Versuchsfilters bei den Versuchen zum bestehenden Material (Variante 1) sowohl vor als auch nach dem Rückspülen Eisengehalte beobachtet werden, was darauf schließen lässt, dass nicht alle Eisenflocken im Filter zurückgehalten werden.

Bei den Untersuchungen zum Filtersand der Körnung 0,4-0,8 (Variante 2) zeigte sich ein deutlich besseres Bild. Mit den möglichen Spülgeschwindigkeiten in Heidenreichstein (max. 37 m/h) kann eine gute Reinigungswirkung des Filtersandes erzielt werden. Sowohl vor als auch nach dem Rückspülen konnte praktisch kein Eisen im Ablauf des Versuchsfilters nachgewiesen werden.

Im Anschluss wurden Versuche Vor-Ort im Wasserwerk Heidenreichstein mit „Originalwasser“ durchgeführt. Dabei wurde die Kornkombination I (lt. Datenblatt Hydro-Anthrasit H) untersucht werden, d.h. Filtersand der Körnung 0,4-0,8 mm und darüber Hydro-Anthrasit H (Körnung I, 0,6-1,6 mm). Die Beschickung erfolgte mit Wasser, welches direkt vor der Einleitung in den Filter I entnommen wurde (also nach der Dosierstelle von FeCl_3), um einen möglichst realitätsnahen Kleinversuch zu gewährleisten. Die Ergebnisse deckten sich mit den Laborversuchen.

Daher wurde auf Basis dieser Untersuchungen entschieden, den Filtersand der Körnung 0,7-1,2 mm im Filter I mit Filtersand der Körnung 0,4-0,8 mm zu ersetzen. Dieser Schritt war entscheidend für eine erfolgreiche Flockenfiltration. Nach einer Einarbeitungszeit von wenigen Wochen, konnten ab Ende Juni sehr gute Wirkungsgrade hinsichtlich der Entfernung von TOC und Trübung erzielt werden, womit die Voraussetzung für einen stabilen Betrieb der Ultrafiltration geschaffen war.



Anhang 3

Messdaten

- pH
- Leitfähigkeit
- Sauerstoff
- Redoxpotential
- Eisen
- Mangan
- TOC
- UV-Extinktion
- SAK436
- Mikrobiologie (tabellarische Zusammenstellung)

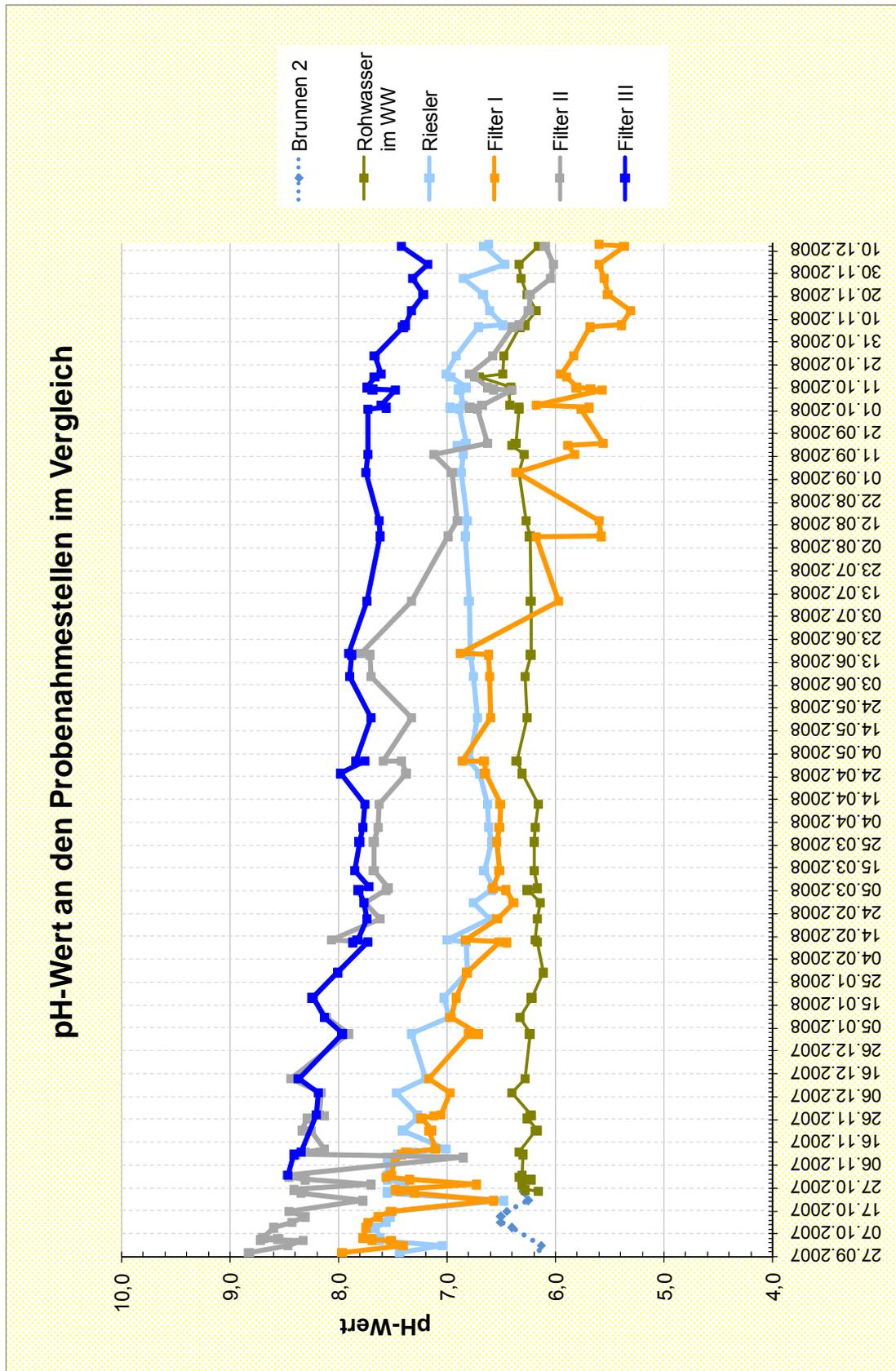


Abbildung A 3-1: Entwicklung des pH-Wertes in den einzelnen Aufbereitungsstufen

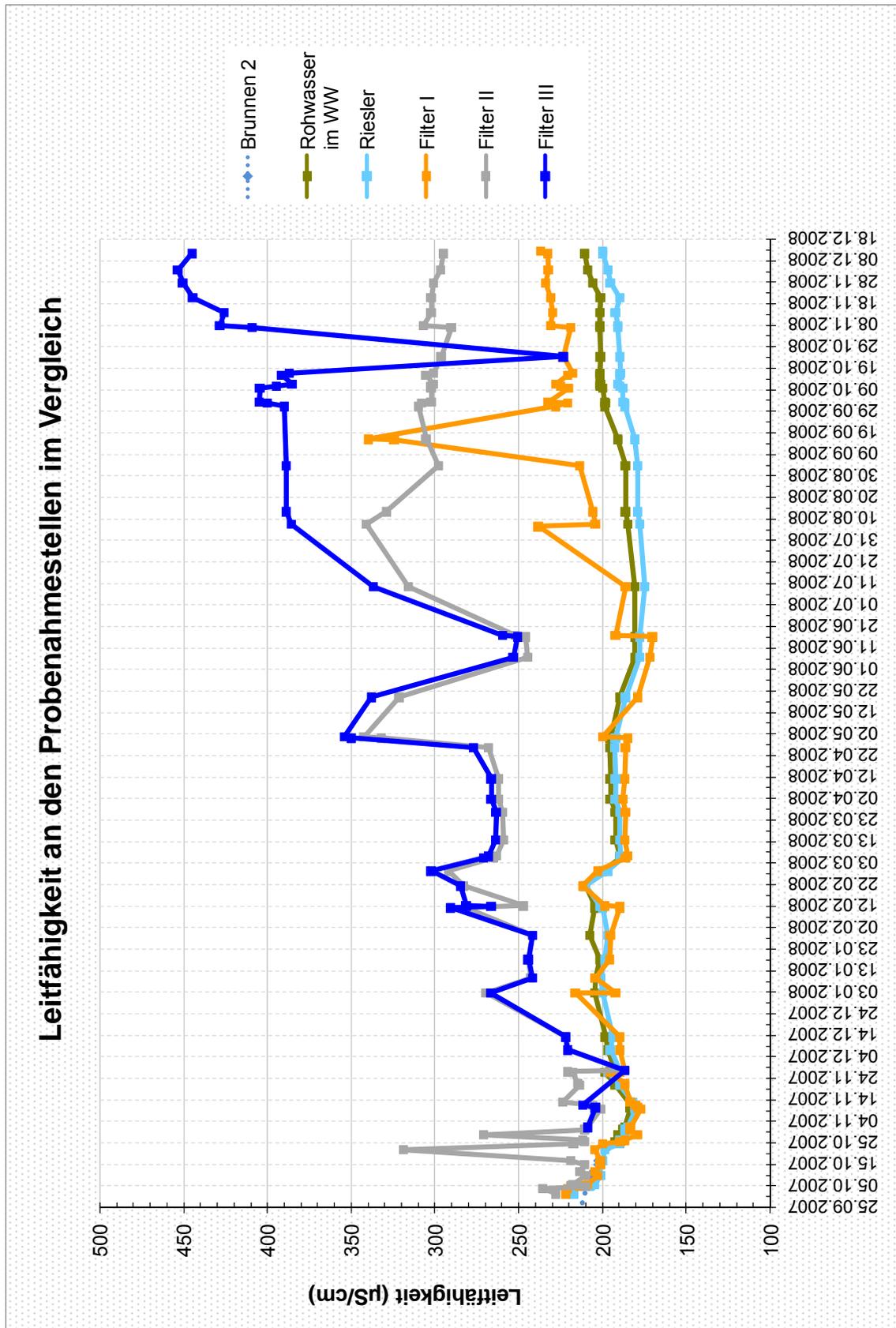


Abbildung A 3-2: Entwicklung der Leitfähigkeit in den einzelnen Aufbereitungsstufen

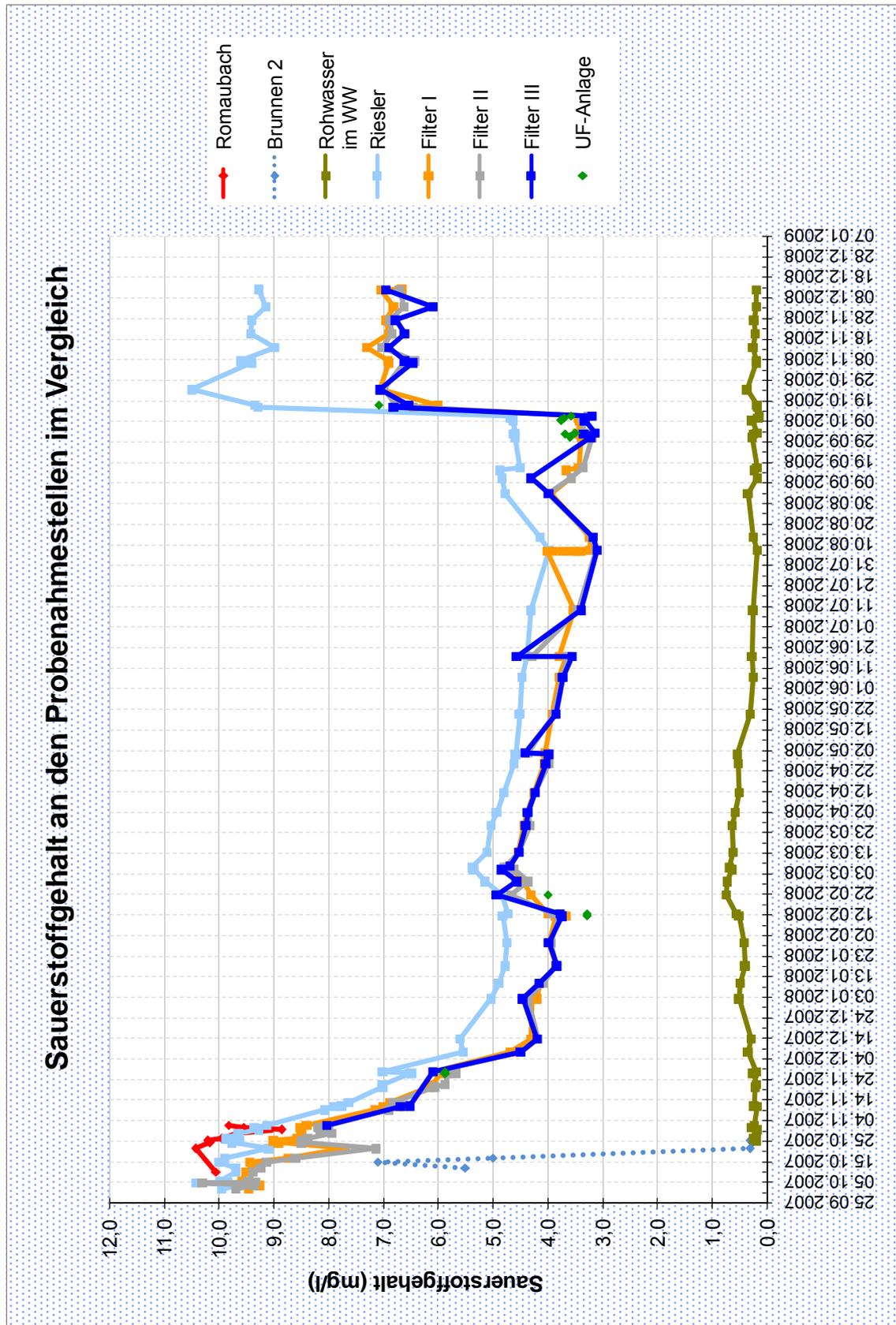


Abbildung A 3-3: Entwicklung des Sauerstoffgehalts in den einzelnen Aufbereitungsstufen

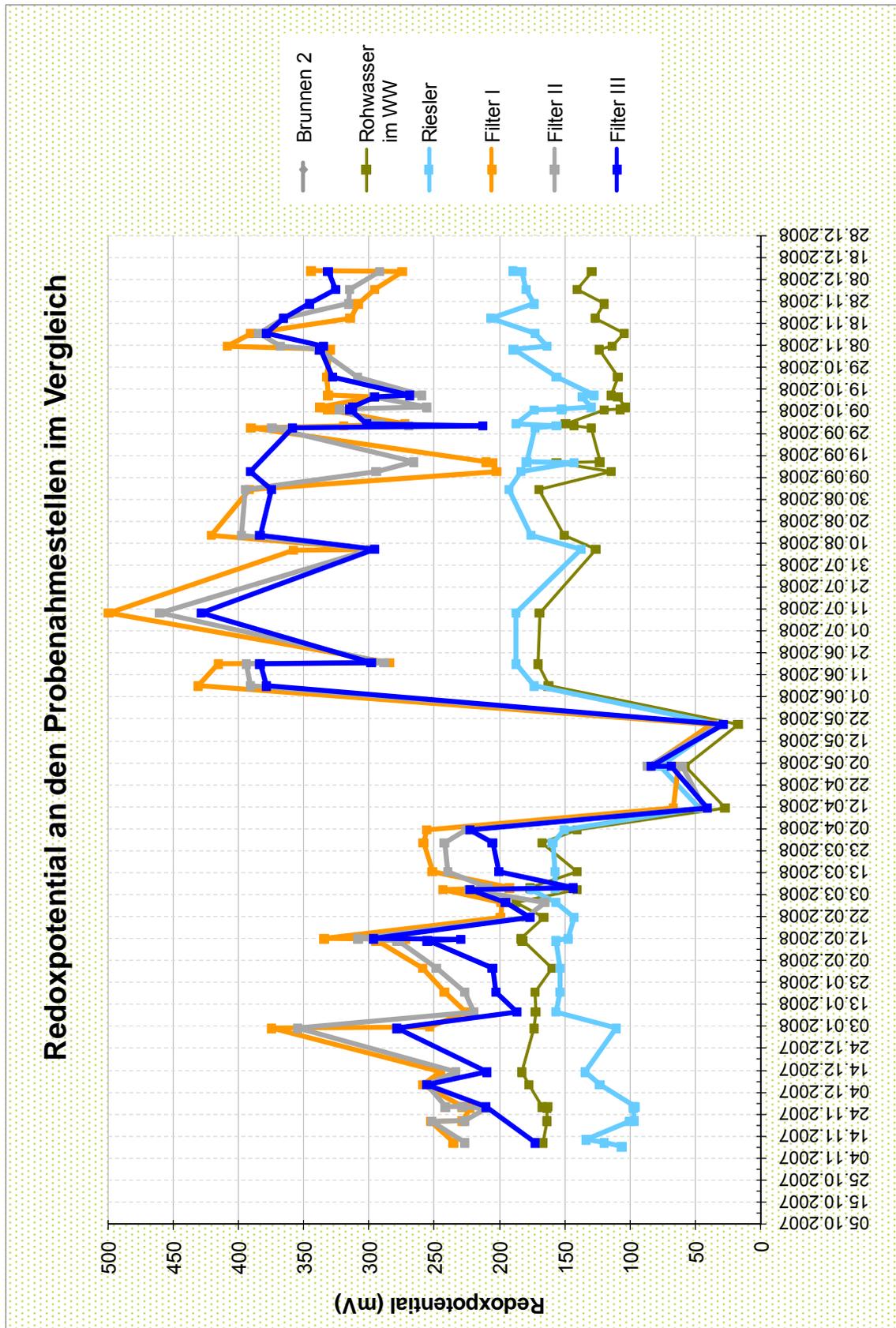


Abbildung A 3-4: Entwicklung des Redox-Potentials in den einzelnen Aufbereitungsstufen

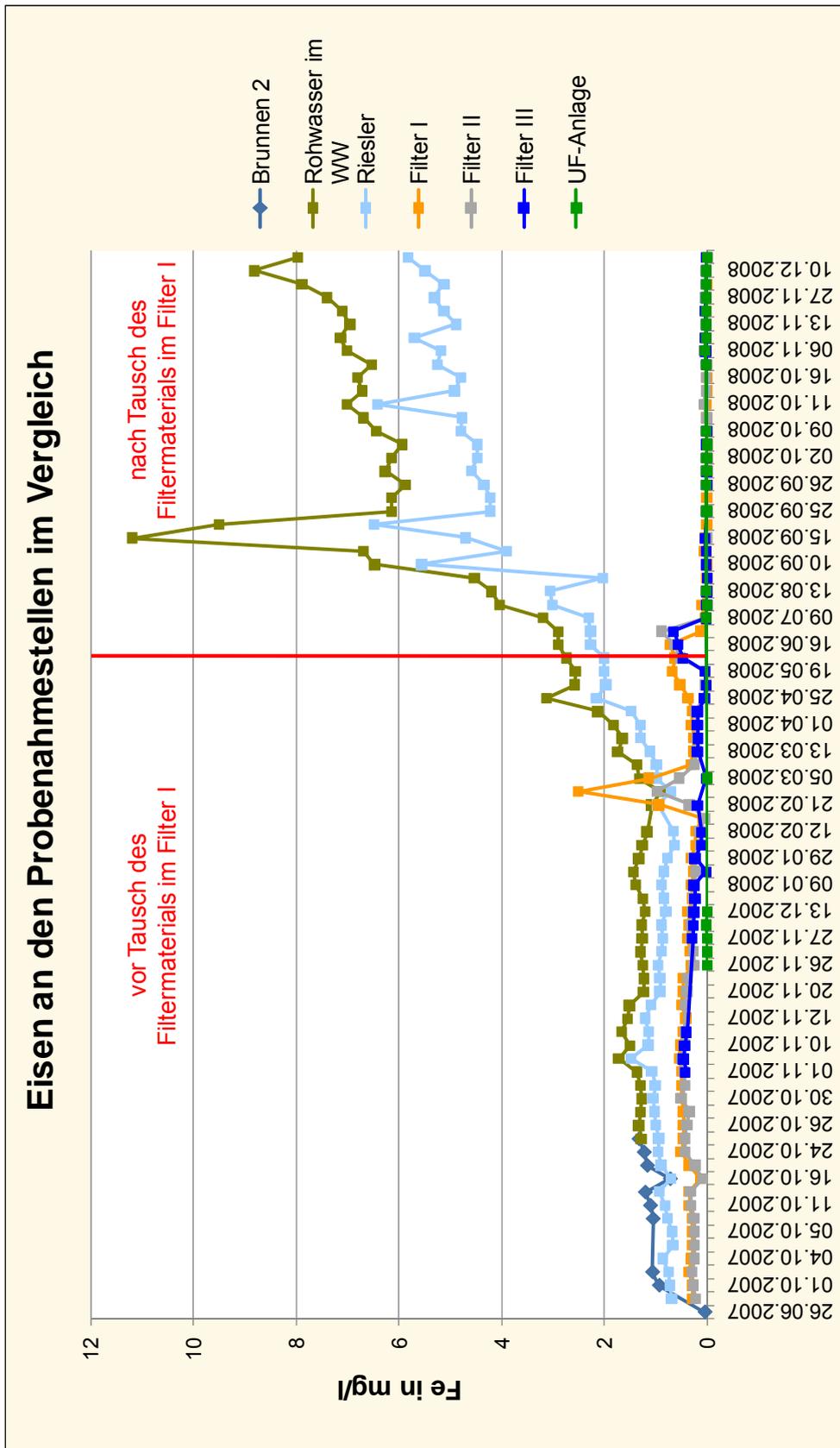


Abbildung A 3-5: Entwicklung der Eisengehalte im Rohwasser und in den einzelnen Aufbereitungsstufen

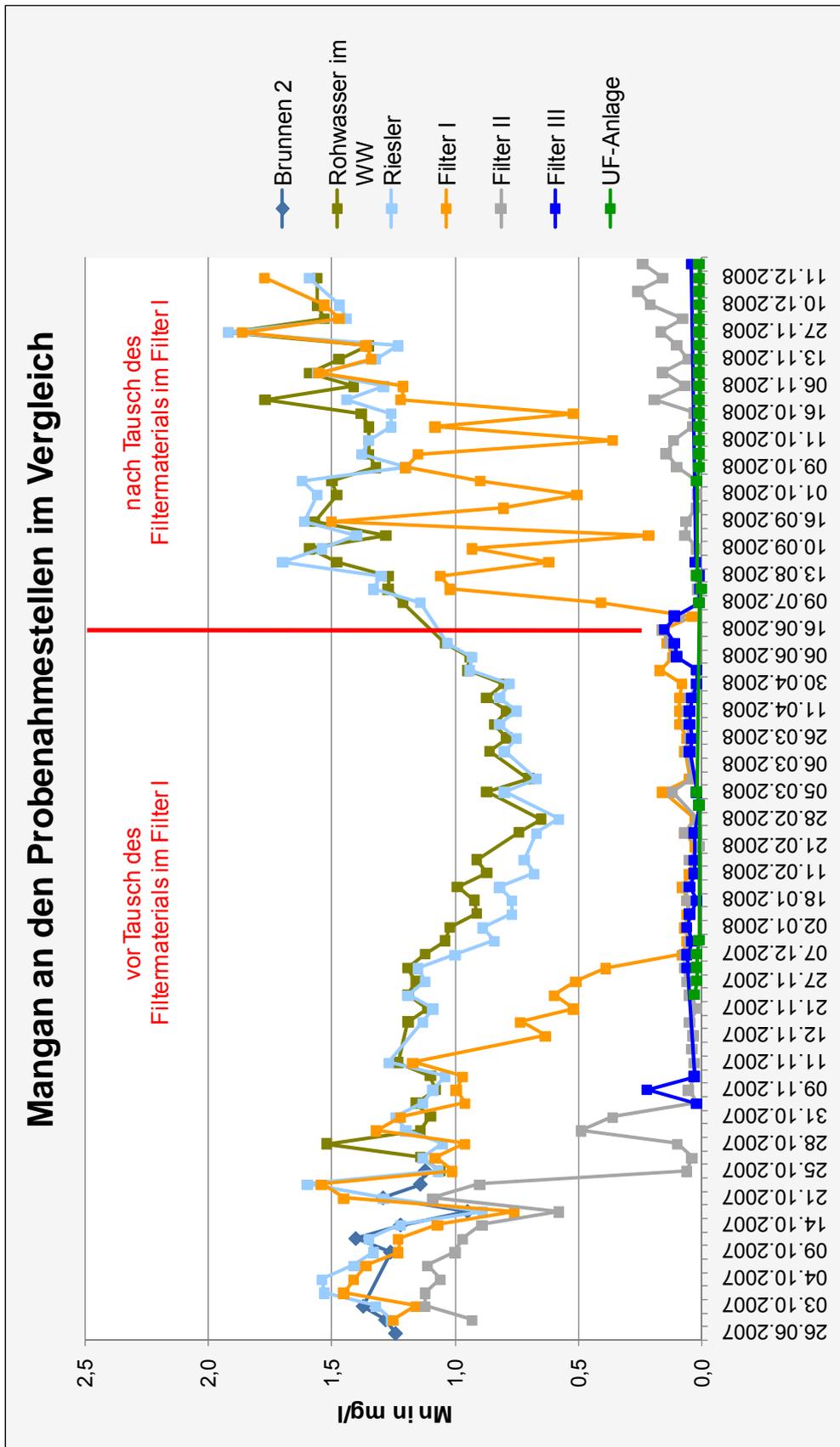


Abbildung A 3-6: Entwicklung der Mangangehalte in den einzelnen Aufbereitungsstufen

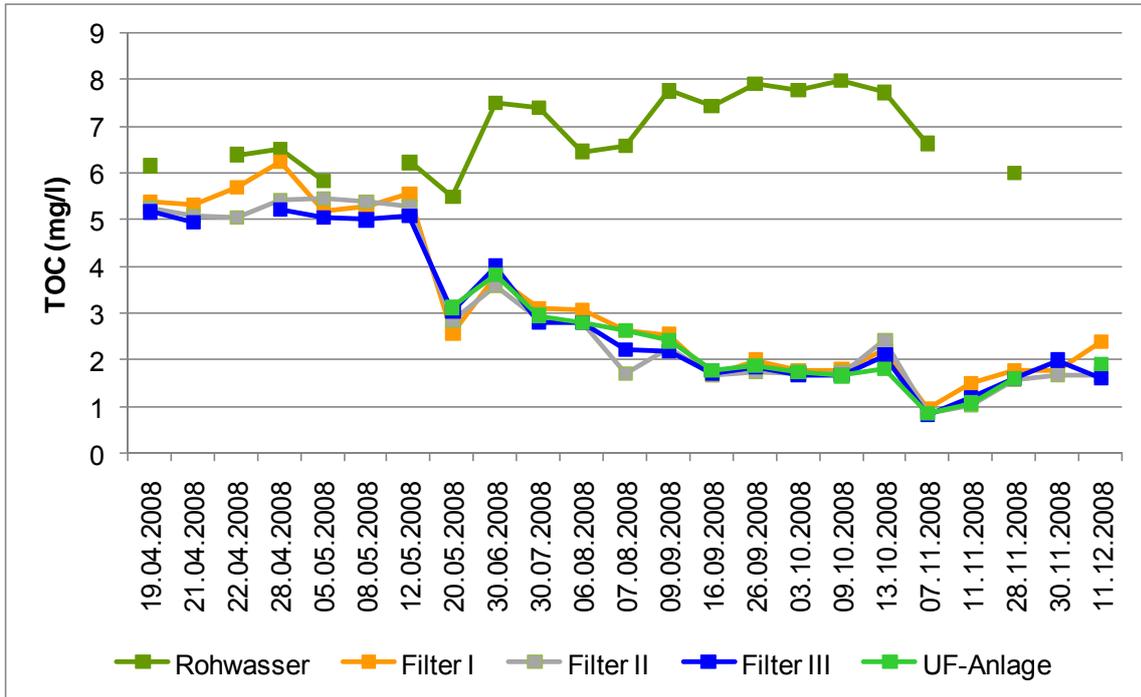


Abbildung A 3-7: Entwicklung der TOC-Gehalte in den einzelnen Aufbereitungsstufen

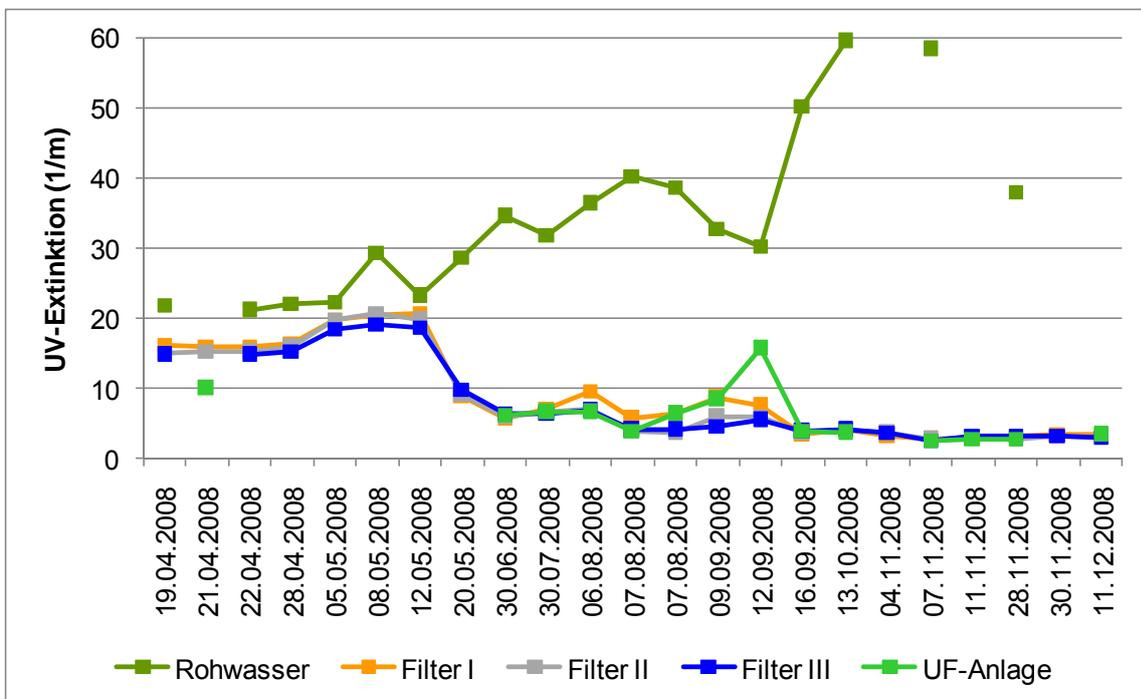


Abbildung A 3-8: Entwicklung der UV-Extinktion in den einzelnen Aufbereitungsstufen

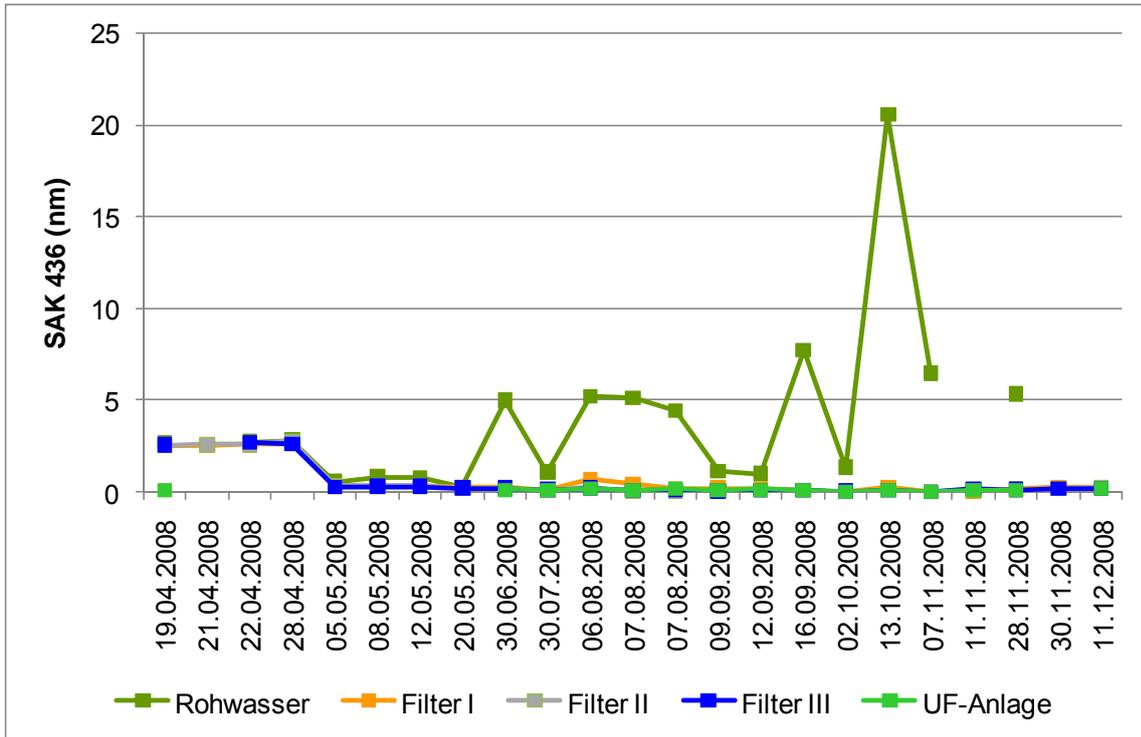


Abbildung A 3-9: Entwicklung des SAK 436 in den einzelnen Aufbereitungsstufen

Datum Probe Uhrzeit (ca.)	Entnahmestelle	in Worten	Koloniezahl pro ml, 22°C	Wachstumspotential, WP _{KBE-22°C}	Koloniezahl pro ml, 37°C	Wachstumspotential, WP _{KBE-37°C}	Koloniezahl pro ml, R2A-Medium	Wachstumspotential, WP _{KBE-R2A}	<i>Escherichia coli</i> in 100 ml bzw. 250 ml	Coliforme in 100 ml bzw. 250 ml	Enterokokken in 100 ml bzw. 250 ml
31.07.2007 00:00	1,1	Brunnen 1; Schöpfprobe	2.400	2.700	0,0	1986,3	9,4				
31.07.2007 00:00	2,1	Brunnen 2; Schöpfprobe	250	9	0,0	24,9	4,1				
20.09.2007 00:00	2,1	Brunnen 2; Schöpfprobe	250	na	3,0	73,3	0,0				
28.09.2007 14:30	0,1	Romaubach bei Brücke	38.000								
28.09.2007 14:30	2,1	Brunnen 2; Schöpfprobe	600	7							
28.09.2007 14:30	5,1	nach Fe-Filter; Probenahmehahn 5 Ablauf Fe-Filter (Fe-Filtrat)	410	18							
28.09.2007 14:30	6,1	nach Mn Filter; Probenahmehahn 7 Ablauf Mn-Filter (Mn-Filtrat)	900	140							
01.10.2007 14:00	2,1	Brunnen 2; Schöpfprobe	380	40	2,0	344,8	1,0				
01.10.2007 14:00	5,1	nach Fe-Filter; Probenahmehahn 5 Ablauf Fe-Filter (Fe-Filtrat)	770	60	1,0	261,3	0,0				
01.10.2007 14:00	6,1	nach Mn Filter; Probenahmehahn 7 Ablauf Mn-Filter (Mn-Filtrat)	750	50	2,0	290,9	0,0				
Hochbehälter Dietweis;											
01.10.2007 14:00	11,3	Feuerwehrschauchanschluss Ablauf Kammer erster Entnahmehahn; Transportleitung im WW (Hahn 11)	550	12.000	0	31	15.000	75.000			
01.10.2007 14:00	20,1	während / nach Rückspülen; Förderpumpe AUS	12.000	110.000	40	160	23.000	150.000			
06.10.2007 15:30	2,1	Brunnen 2; Schöpfprobe	210	20							
06.10.2007 15:30	4,1	nach Riesler; Probenahmehahn 3 direkt nach Pumpe	1.100	30							
06.10.2007 15:30	5,1	nach Fe-Filter; Probenahmehahn 5 Ablauf Fe-Filter (Fe-Filtrat)	730	na							
06.10.2007 15:30	6,1	nach Mn Filter; Probenahmehahn 7 Ablauf Mn-Filter (Mn-Filtrat)	370	na							
09.10.2007 15:30	0,1	Romaubach bei Brücke	27.000		290,0	2420,0	235,9				
09.10.2007 15:30	1,2	Brunnen 1; Ablauf temporäre Tauchpumpe	510		3,1	344,8	0,0				
09.10.2007 15:30	2,1	Brunnen 2; Schöpfprobe	215	na	1,0	195,6	1,0				
09.10.2007 15:30	4,1	nach Riesler; Probenahmehahn 3 direkt nach Pumpe	235	40	1,0	235,9	0,0				
09.10.2007 15:30	5,1	nach Fe-Filter; Probenahmehahn 5 Ablauf Fe-Filter (Fe-Filtrat)	260	na							
09.10.2007 15:30	6,1	nach Mn Filter; Probenahmehahn 7 Ablauf Mn-Filter (Mn-Filtrat)	300	na	2,0	128,1	1,0				

Datum Probe Uhrzeit (ca.)	Entnahmestelle	in Worten	Koloniezahl pro ml, 22°C	Wachstumspotential, WP _{KBE-22°C}	Koloniezahl pro ml, 37°C	Wachstumspotential, WP _{KBE-37°C}	Koloniezahl pro ml, R2A-Medium	Wachstumspotential WP _{KBE-R2A}	<i>Escherichia coli</i> in 100 ml bzw. 250 ml	Coliforme in 100 ml bzw. 250 ml	Enterokokken in 100 ml bzw. 250 ml
14.10.2007 14:15	2,1	Brunnen 2; Schöpfprobe	160	20							
14.10.2007 14:15	4,1	nach Riesler; Probenahmehahn 3 direkt nach Pumpe	320	18							
14.10.2007 14:15	5,1	nach Fe-Filter; Probenahmehahn 5 Ablauf Fe-Filter (Fe-Filtrat)	530	70							
14.10.2007 14:15	6,1	nach Mn Filter; Probenahmehahn 7 Ablauf Mn-Filter (Mn-Filtrat)	230	na							
21.10.2007 14:00	2,1	Brunnen 2; Schöpfprobe	285	150							
21.10.2007 14:00	4,1	nach Riesler; Probenahmehahn 3 direkt nach Pumpe	1.000	10							
21.10.2007 14:00	5,1	nach Fe-Filter; Probenahmehahn 5 Ablauf Fe-Filter (Fe-Filtrat)	520	60							
21.10.2007 14:00	6,1	nach Mn Filter; Probenahmehahn 7 Ablauf Mn-Filter (Mn-Filtrat)	424	64							
23.10.2007 14:00	2,1	Brunnen 2; Schöpfprobe	113	10					2,0	133,4	1,0
23.10.2007 14:00	5,1	nach Fe-Filter; Probenahmehahn 5 Ablauf Fe-Filter (Fe-Filtrat)	90	20					0,0	81,3	0,0
23.10.2007 14:00	6,1	nach Mn Filter; Probenahmehahn 7 Ablauf Mn-Filter (Mn-Filtrat)	90	40					2,0	56,3	1,0
23.10.2007 14:00	11,1	Hochbehälter Dietweis; erster Hahn Anbohrschelle Ablauf / Füllung Kammer	42	3					0,0	2,0	
23.10.2007 14:00	20,1	erster Entnahmehahn Transportleitung im WW (Hahn 11) während / nach Rückspülen; Förderpumpe AUS	2.100	1					0,0	4,2	
28.10.2007 15:00	2,1	Brunnen 2; Schöpfprobe	200	81							
28.10.2007 15:00	3,1	Rohwasser vor Riesler; Probenahmehahn 1 oder 2	140	40							
28.10.2007 15:00	4,1	nach Riesler; Probenahmehahn 3 direkt nach Pumpe	280	50							
28.10.2007 15:00	5,1	nach Fe-Filter; Probenahmehahn 5 Ablauf Fe-Filter (Fe-Filtrat)	610	140							
28.10.2007 15:00	6,1	nach Mn Filter; Probenahmehahn 7 Ablauf Mn-Filter (Mn-Filtrat)	295	172							

Datum Probe Uhrzeit (ca.)	Entnahmestelle	in Worten	Koloniezahl pro ml, 22°C	Wachstumspotential, WP _{KBE-22°C}	Koloniezahl pro ml, 37°C	Wachstumspotential, WP _{KBE-37°C}	Koloniezahl pro ml, R2A-Medium	Wachstumspotential, WP _{KBE-R2A}	<i>Escherichia coli</i>	in 100 ml bzw. 250 ml	Coliforme	in 100 ml bzw. 250 ml	Enterokokken	in 100 ml bzw. 250 ml
19.05.2008 09:55	8,1	nach Kalk Filter; Probenahmehahn 5 Ablauf Kalk Filter	80	78.000	0	40	126	67.000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19.05.2008 09:55	9,1	Probenahmehahn 'UF out' - Ablauf UF	2	95.000	0	460	4	102.000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
09.07.2008 09:40	3,1	Rohwasser vor Riesler; Probenahmehahn 1 oder 2	31	20.000	7	420	60	28.000	---	---	---	---	---	---
09.07.2008 09:40	8,1	Probenahmehahn 9 Ablauf Kalkfilter	13	83.000	0	460	160	70.000	---	---	---	---	---	---
09.07.2008 09:40	9,1	Probenahmehahn 'UF out' - Ablauf UF	0	115.000	2	1	0	80.000	---	---	---	---	---	---
07.08.2008 07:30	3,1	Rohwasser vor Riesler; Probenahmehahn 1 oder 2	90	4.900	4	30	350	10.700	---	---	---	---	---	---
07.08.2008 07:30	8,1	Probenahmehahn 9 Ablauf Kalkfilter	8	9.400	1	500	54	17.000	---	---	---	---	---	---
07.08.2008 07:30	9,1	Probenahmehahn 'UF out' - Ablauf UF	0	0	0	0	0	---	---	---	---	---	---	---
07.08.2008 07:30	11,2	Hochbehälter Dietweis; Kammer Schöpfprobe	1.500	10.800	123	5.300	5.000	86.000	---	---	---	---	---	---
07.08.2008 07:30	20,1	erster Entnahmehahn Transportleitung im WW (Hahn 11)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
07.08.2008 07:30	20,1	während / nach Rückspülen; Förderpumpe AUS	550	27.000	*	4.400	570	54.000	---	---	---	---	---	---
13.08.2008 15:30	3,1	Rohwasser vor Riesler; Probenahmehahn 1 oder 2	39	1.400	2	4	200	12.500	---	---	---	---	---	---
13.08.2008 15:30	8,1	Probenahmehahn 9 Ablauf Kalkfilter	1	20.000	0	230	28	29.000	---	---	---	---	---	---
13.08.2008 15:30	9,1	Probenahmehahn 'UF out' - Ablauf UF	0	30	0	15	2	40	---	---	---	---	---	---
13.08.2008 15:30	20,1	erster Entnahmehahn Transportleitung im WW (Hahn 11)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
13.08.2008 15:30	20,1	während / nach Rückspülen; Förderpumpe AUS	330	41.000	9	11.800	570	44.000	---	---	---	---	---	---
04.09.2008 08:30	20,5	Probenahme während Rückspülung	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
04.09.2008 10:00	3,1	beim Hahn für Filtrat an Stelle 5, 6, 8	47	---	4	---	---	---	---	---	---	---	---	---
04.09.2008 10:00	3,1	Rohwasser vor Riesler; Probenahmehahn 1 oder 2	90	---	10	---	---	---	---	---	---	---	---	---
04.09.2008 10:00	6,1	nach Mn Filter; Probenahmehahn 7 Ablauf Mn-Filter (Mn-Filtrat)	23	---	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---
04.09.2008 10:00	7,1	Probenahmehahn 'UF out' Ablauf UF	83	---	37	---	---	---	---	---	---	---	---	---
04.09.2008 10:00	8,1	Probenahmehahn 9 Ablauf Kalkfilter	9	---	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---
04.09.2008 10:00	11,2	Hochbehälter Dietweis; Kammer Schöpfprobe	80	---	10	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Datum Probe Uhrzeit (ca.)	Entnahmestelle	in Worten	Koloniezahl pro ml, 22°C	Wachstumspotential, WP _{KBE-22°C}	Koloniezahl pro ml, 37°C	Wachstumspotential, WP _{KBE-37°C}	Koloniezahl pro ml, R2A-Medium	Wachstumspotential, WP _{KBE-R2A}	<i>Escherichia coli</i> in 100 ml bzw. 250 ml	Coliforme in 100 ml bzw. 250 ml	Enterokokken in 100 ml bzw. 250 ml
16.09.2008 14:30	3,1	Rohwasser vor Riesler; Probenahmehahn 1 oder 2	8	10							
16.09.2008 14:30	6,1	nach Mn Filter; Probenahmehahn 7 Ablauf Mn-Filter (Mn-Filtrat)	3	0							
16.09.2008 14:30	8,1	Probenahmehahn 9 Ablauf Kalkfilter	8	4							
16.09.2008 14:30	9,1	Probenahmehahn 'UF out' - Ablauf UF	0	0							
16.09.2008 14:30	11,2	Hochbehälter Dietweis; Kammer Schöpfprobe	23	4							
27.09.2008 08:00	0,1	Romaubach bei Brücke	40.000	1.600							
27.09.2008 08:00	3,1	Rohwasser vor Riesler; Probenahmehahn 1 oder 2	60	60							
27.09.2008 08:00	8,2	Probenahmehahn 'UF in' - Zulauf UF	12	9.400	2	1.300	162	27.800			
27.09.2008 08:00	9,1	Probenahmehahn 'UF out' - Ablauf UF	0	0	0	0	0	0			
27.09.2008 08:00	9,4	Vorlagebehälter zum Hochbehälter (Drain für Sichtrohr) erster Entnahmehahn Transportleitung im WW,	9	0							
27.09.2008 08:00	9,5	keine Rückspülung	21	7							
Hochbehälter Dietweis:											
27.09.2008 08:00	11,1	erster Hahn Anbohrschelle Ablauf / Füllung Kammer	390	1.200	318	5.300	12.300	220.000			
27.09.2008 08:00	11,2	Hochbehälter Dietweis; Kammer Schöpfprobe	420	400							
11.10.2008 12:30	3,1	Rohwasser vor Riesler; Probenahmehahn 1 oder 2	270	41					1,0	20,1	1,0
11.10.2008 12:30	4,1	nach Riesler; Probenahmehahn 3 direkt nach Pumpe	290	70							
11.10.2008 12:30	5,1	nach Fe-Filter; Probenahmehahn 5 Ablauf Fe-Filter (Fe-Filtrat)	5	5							
11.10.2008 12:30	6,1	nach Mn Filter; Probenahmehahn 7 Ablauf Mn-Filter (Mn-Filtrat)	0	5							
11.10.2008 12:30	8,1	Probenahmehahn 9 Ablauf Kalkfilter	7	2.900	16	285	8	26.000	0,0	0,0	0,0
11.10.2008 12:30	9,1	Probenahmehahn 'UF out' - Ablauf UF	0	54	0	0	2	126	0,0	0,0	0,0
Hochbehälter Dietweis:											
11.10.2008 12:30	11,1	erster Hahn Anbohrschelle Ablauf / Füllung Kammer	14	1.200	-	5.700	5.100	62.000	0,0	1,0	0,0
11.10.2008 12:30	11,2	Hochbehälter Dietweis; Kammer Schöpfprobe	171	27.000	54	5.900	7.000	265.000	0,0	0,0	0,0

Datum Probe Uhrzeit (ca.)	Entnahmestelle	in Worten	Koloniezahl pro ml, 22°C	Wachstumspotential, WP _{KBE-22°C}	Koloniezahl pro ml, 37°C	Wachstumspotential, WP _{KBE-37°C}	Koloniezahl pro ml, R2A-Medium	Wachstumspotential, WP _{KBE-R2A}	<i>Escherichia coli</i>	in 100 ml bzw. 250 ml	Coliforme	in 100 ml bzw. 250 ml	Enterokokken	in 100 ml bzw. 250 ml
01.11.2008 15:45	3,1	Rohwasser vor Riesler; Probenahmehahn 1 oder 2	20		flz									
01.11.2008 15:45	4,1	nach Riesler; Probenahmehahn 3 direkt nach Pumpe	34		10									
01.11.2008 15:45	5,1	nach Fe-Filter; Probenahmehahn 5 Ablauf Fe-Filter (Fe-Filtrat)	4		0									
01.11.2008 15:45	6,1	nach Mn Filter; Probenahmehahn 7 Ablauf Mn-Filter (Mn-Filtrat)	5		1									
01.11.2008 15:45	8,1	Probenahmehahn 9 Ablauf Kalkfilter	3	8.600	2	5.800	80	140.000						
01.11.2008 15:45	9,1	Probenahmehahn 'UF out' - Ablauf UF	2	1.400	0	750	4	44.000						
01.11.2008 15:45	10,2	Probenahmehahn 10 Zulauf Vorlagebehälter zum Hochbehälter	41	85.400	75	8.570	260	141.000						
Hochbehälter Dietweis;														
01.11.2008 15:45	11,1	erster Hahn Anbohrschelle Ablauf / Füllung Kammer	62	30.000	60	7.500	1.200	99.000						
08.11.2008 11:00	3,1	Rohwasser vor Riesler; Probenahmehahn 1 oder 2	10		flz									
08.11.2008 11:00	4,1	nach Riesler; Probenahmehahn 3 direkt nach Pumpe	11		5									
08.11.2008 11:00	5,1	nach Fe-Filter; Probenahmehahn 5 Ablauf Fe-Filter (Fe-Filtrat)	4		0									
08.11.2008 11:00	6,1	nach Mn Filter; Probenahmehahn 7 Ablauf Mn-Filter (Mn-Filtrat)	0		3									
08.11.2008 11:00	8,1	Probenahmehahn 9 Ablauf Kalkfilter	3	27.600	2	304	81	17.000						
08.11.2008 11:00	9,1	Probenahmehahn 'UF out' - Ablauf UF	2	30.000	0	2.000	0	39.000						
08.11.2008 11:00	10,2	Probenahmehahn 10 Zulauf Vorlagebehälter zum Hochbehälter	480	52.000	19	22.700	450	48.000						
Hochbehälter Dietweis;														
08.11.2008 11:00	11,1	erster Hahn Anbohrschelle Ablauf / Füllung Kammer	128	12.000	41	1.250	13.600	114.000						
12.11.2008 15:15	20,1	erster Entnahmehahn Transportleitung im WW (Hahn 11) während / nach Rückspülen; Förderpumpe AUS	0	0	0	0	0	0						
12.11.2008 15:15	20,1	erster Entnahmehahn Transportleitung im WW (Hahn 11) während / nach Rückspülen; Förderpumpe AUS	0	0	0	0	0	0						

Datum Probe Uhrzeit (ca.)	Entnahmestelle	In Worten	Koloniezahl pro ml, 22°C	Wachstumspotential, WP _{KBE-22°C}	Koloniezahl pro ml, 37°C	Wachstumspotential, WP _{KBE-37°C}	Koloniezahl pro ml, R2A-Medium	Wachstumspotential, WP _{KBE-R2A}	<i>Escherichia coli</i>	in 100 ml bzw. 250 ml	Coliforme	in 100 ml bzw. 250 ml	Enterokokken	in 100 ml bzw. 250 ml
14.11.2008 11:30	3,1	Rohwasser vor Riesler; Probenahmehahn 1 oder 2	20	8										
14.11.2008 11:30	4,1	nach Riesler; Probenahmehahn 3 direkt nach Pumpe	24	5										
14.11.2008 11:30	5,1	nach Fe-Filter; Probenahmehahn 5 Ablauf Fe-Filter (Fe-Filtrat)	7	0										
14.11.2008 11:30	6,1	nach Mn Filter; Probenahmehahn 7 Ablauf Mn-Filter (Mn-Filtrat)	1	0										
14.11.2008 11:30	8,1	Probenahmehahn 9 Ablauf Kalkfilter	6	65.600	2	25.000	59	83.000						
14.11.2008 11:30	8,2	Probenahmehahn 'UF in' - Zulauf UF	3	37.800	0	440	84	71.000						
14.11.2008 11:30	9,1	Probenahmehahn 'UF out' - Ablauf UF	2	57.600	0	4.500	0	60.000						
14.11.2008 11:30	9,2	Probehahn UV in	0	1										
14.11.2008 11:30	10,1	Probehahn UV out	0	0	0	0	0	0						
14.11.2008 11:30	10,2	Probenahmehahn 10 Zulauf Vorlagebehälter zum Hochbehälter	2	8										
14.11.2008 11:30	10,3	Vorlagebehälter zum Hochbehälter (Drain für Sichtrohr)	414	28.200	1	1.100	620	66.000						
14.11.2008 11:30	10,4	erste Entnahmean Transportleitung im WW, keine Rückspülung	16	0										
		Hochbehälter Dietweis;												
14.11.2008 11:30	11,1	erster Hahn Anbohrschelle Ablauf / Füllung Kammer	4	900	0	16	5.800	136.000						
14.11.2008 11:30	11,2	Hochbehälter Dietweis; Kammer Schöpfprobe	14	350	1	5	10.600	138.000						
21.11.2008 08:00	3,1	Rohwasser vor Riesler; Probenahmehahn 1 oder 2	14	5	5	150								
21.11.2008 08:00	8,1	Probenahmehahn 9 Ablauf Kalkfilter	0	0	0	37								
21.11.2008 08:00	9,1	Probenahmehahn 'UF out' - Ablauf UF	4	0	0	12								
21.11.2008 08:00	10,1	Probehahn UV out	0	0	0	0								
		Hochbehälter Dietweis;												
21.11.2008 08:00	11,1	erster Hahn Anbohrschelle Ablauf / Füllung Kammer	62	0	0	11.200								

Datum Probe Uhrzeit (ca.)	Entnahmestelle	In Worten	Koloniezahl pro ml, 22°C	Wachstumspotential, WP _{KBE-22°C}	Koloniezahl pro ml, 37°C	Wachstumspotential, WP _{KBE-37°C}	Koloniezahl pro ml, R2A-Medium	Wachstumspotential, WP _{KBE-R2A}	<i>Escherichia coli</i>	in 100 ml bzw. 250 ml	Coliforme	in 100 ml bzw. 250 ml	Enterokokken	in 100 ml bzw. 250 ml
28.11.2008 10:40	3,1	Rohwasser vor Riesler; Probenahmehahn 1 oder 2	17	500	10	30	370	2.100						
28.11.2008 10:40	8,2	Probenahmehahn 'UF in' - Zulauf UF	0	28.300	0	41	46	4.100						
28.11.2008 10:40	9,1	Probenahmehahn 'UF out' - Ablauf UF	1	40.100	0	1.000	0	58.000						
28.11.2008 10:40	10,1	Probehahn UV out	0	4.100	0	0	0	2.500						
28.11.2008 10:40	10,2	Probenahmehahn 10 Zulauf Vorlagebehälter zum Hochbehälter	0	19.200	0	0	1	20.500						
28.11.2008 10:40	10,3	Vorlagebehälter zum Hochbehälter (Drain für Sichtrohr)	0	2	0	0	0	10						
Hochbehälter Dietweis;														
28.11.2008 10:40	11,1	erster Hahn Anbohrschelle Ablauf / Füllung Kammer	181	780	2	16	12.000	410.000						
28.11.2008 10:40	11,2	Hochbehälter Dietweis; Kammer Schöpfprobe	163	1.140	1	15	18.700	530.000						
04.12.2008 12:10	3,1	Rohwasser vor Riesler; Probenahmehahn 1 oder 2	14	300	3	120	500							
04.12.2008 12:10	8,1	Probenahmehahn 9 Ablauf Kalkfilter	1	3.500	0	107	87							
04.12.2008 12:10	9,1	Probenahmehahn 'UF out' - Ablauf UF	1	63.000	1	1.700	15							
04.12.2008 12:10	10,1	Probehahn UV out	0	4.800	0	0	0							
Hochbehälter Dietweis;														
04.12.2008 12:10	11,1	erster Hahn Anbohrschelle Ablauf / Füllung Kammer	247	1.100	3	130	18.000							
09.01.2009 13:30	3,1	Rohwasser vor Riesler; Probenahmehahn 1 oder 2	10	90	7	3	80							
09.01.2009 13:30	8,1	Probenahmehahn 9 Ablauf Kalkfilter	0	2.800	0	0	20							
09.01.2009 13:30	9,1	Probenahmehahn 'UF out' - Ablauf UF	1	141.000	0	3.000	1							
09.01.2009 13:30	10,1	Probehahn UV out	1	62.000	0	0	1							
09.01.2009 13:30	10,3	Vorlagebehälter zum Hochbehälter (Drain für Sichtrohr)	250	8.900	27	1.350	300							
09.01.2009 13:30	11,2	Hochbehälter Dietweis; Kammer Schöpfprobe	700	1.200	12	29	800							



Anhang 4

Kostenschätzung allgemein (Detailaufstellung)

In der „Kostenschätzung allgemein“ wurden nur die Kosten der Aufbereitungsanlage ohne die Kosten für Bauwerke (z.B. Betriebsgebäude, Brunnen, Tiefbehälter etc.) berücksichtigt!

4 Varianten:

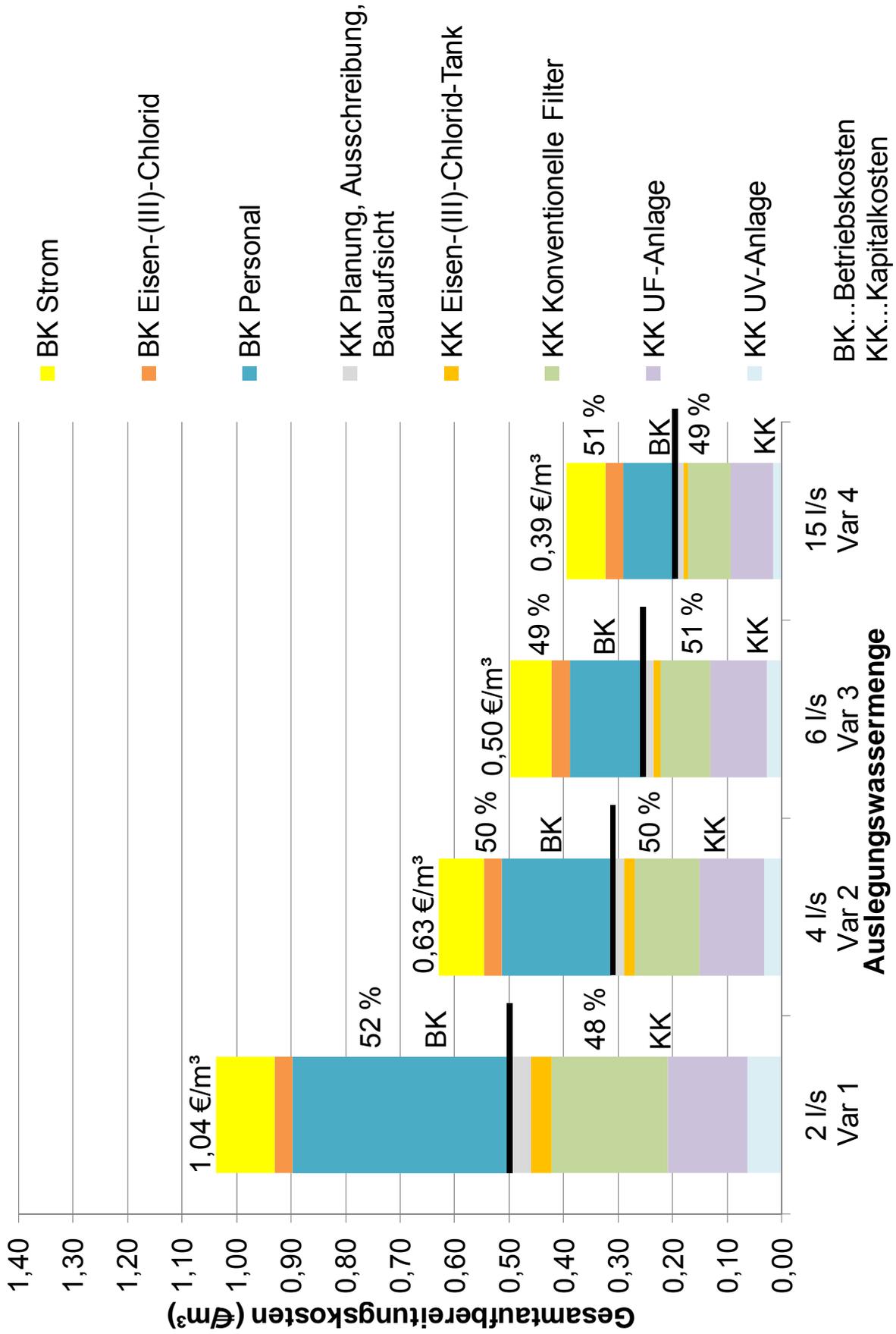
Var 1:	Auslegungswassermenge	2 l/s
Var 2:	Auslegungswassermenge	4 l/s
Var 3:	Auslegungswassermenge	6 l/s
Var 4:	Auslegungswassermenge	15 l/s

	VAR 1			VAR 2			VAR 3			VAR 4		
	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]
	Strompreis [€/kWh]	Strompreis [€/kWh]	Strompreis [€/kWh]	Strompreis [€/kWh]	Strompreis [€/kWh]	Strompreis [€/kWh]	Strompreis [€/kWh]	Strompreis [€/kWh]	Strompreis [€/kWh]	Strompreis [€/kWh]	Strompreis [€/kWh]	Strompreis [€/kWh]
angenommene Förderhöhe	2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4	15,0	54,0	1296,0
	Q _{Auslegung} [l/s]	Q _{Auslegung} [m³/h]	Q _{Auslegung} [m³/d]	Q _{Auslegung} [l/s]	Q _{Auslegung} [m³/h]	Q _{Auslegung} [m³/d]	Q _{Auslegung} [l/s]	Q _{Auslegung} [m³/h]	Q _{Auslegung} [m³/d]	Q _{Auslegung} [l/s]	Q _{Auslegung} [m³/h]	Q _{Auslegung} [m³/d]
Planung, Ausschreibung, Bauaufsicht	2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4	15,0	54,0	1296,0
Q _{Auslegung} [m³/a]	63.072			126.144			189.216			473.040		
Investitionskosten Planung, Ausschreibung, Bauaufsicht [€]	30.000			40.000			50.000			90.000		
Förderung [€]	0			0			0			0		
Investitionsbedarf [€]	30.000			40.000			50.000			90.000		
Zinssatz [%/a]	5%			5%			5%			5%		
Zinsen [€/a]	1.500			2.000			2.500			4.500		
Zinsen [€/m³]	0,024			0,016			0,013			0,010		
Abschreibung [a]	40			40			40			40		
Abschreibungskosten pro Jahr [€/a]	750			1.000			1.250			2.250		
Abschreibungskosten pro m³ [€/m³]	0,012			0,008			0,007			0,005		
Kapitalkosten [€/m³]	0,036			0,024			0,020			0,014		
Betriebsgebäude - Heizung, Licht	Q _{Auslegung} [l/s]	Q _{Auslegung} [m³/h]	Q _{Auslegung} [m³/d]	Q _{Auslegung} [l/s]	Q _{Auslegung} [m³/h]	Q _{Auslegung} [m³/d]	Q _{Auslegung} [l/s]	Q _{Auslegung} [m³/h]	Q _{Auslegung} [m³/d]	Q _{Auslegung} [l/s]	Q _{Auslegung} [m³/h]	Q _{Auslegung} [m³/d]
Leistung [kW]	3,00			3,00			3,00			3,00		
Betrieb pro Tag [h/d]	12,00			12,00			12,00			12,00		
Energie pro Tag [kWh/d]	36,00			36,00			36,00			36,00		
Energie pro m³ [kWh/m³]	0,208			0,104			0,069			0,046		
Stromkosten [€/m³]	0,031			0,016			0,010			0,007		
Ausbeute UF-Anlage	95%											
Ausbeute Sandfilter	85%											
Brunnen - Pumpe	Q _{Auslegung} [l/s]	Q _{Auslegung} [m³/h]	Q _{Auslegung} [m³/d]	Q _{Auslegung} [l/s]	Q _{Auslegung} [m³/h]	Q _{Auslegung} [m³/d]	Q _{Auslegung} [l/s]	Q _{Auslegung} [m³/h]	Q _{Auslegung} [m³/d]	Q _{Auslegung} [l/s]	Q _{Auslegung} [m³/h]	Q _{Auslegung} [m³/d]
Leistung [kW]	0,62			1,25			1,87			4,68		
Betrieb pro Tag [h/d]	14,00			14,00			14,00			14,00		
Energie pro Tag [kWh/d]	8,74			17,48			26,22			65,56		
Energie pro m³ [kWh/m³]	0,041			0,041			0,041			0,041		
Stromkosten [€/m³ außer Wasser]	0,008			0,008			0,008			0,008		
Gebäude Riesler	Q _{Auslegung} [l/s]	Q _{Auslegung} [m³/h]	Q _{Auslegung} [m³/d]	Q _{Auslegung} [l/s]	Q _{Auslegung} [m³/h]	Q _{Auslegung} [m³/d]	Q _{Auslegung} [l/s]	Q _{Auslegung} [m³/h]	Q _{Auslegung} [m³/d]	Q _{Auslegung} [l/s]	Q _{Auslegung} [m³/h]	Q _{Auslegung} [m³/d]
Leistung [kW]	0,50			0,50			0,50			1,00		
Betrieb pro Tag [h/d]	24,00			24,00			24,00			24,00		
Energie pro Tag [kWh/d]	12,00			12,00			12,00			24,00		
Energie pro m³ [kWh/m³]	0,069			0,035			0,023			0,019		
Stromkosten [€/m³]	0,010			0,005			0,003			0,003		

	VAR 1			VAR 2			VAR 3			VAR 4			
	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	
	Strompreis [€/kWh]												
angenommene Förderhöhe	0%	2,0	7,2	172,8	0,15	172,8	345,6	6,0	21,6	518,4	15,0	54,0	1296,0
Ausbeute UF-Anlage	95%	2,0	7,2	172,8	0,15	172,8	345,6	6,0	21,6	518,4	15,0	54,0	1296,0
Ausbeute Sandfilter	85%	2,0	7,2	172,8	0,15	172,8	345,6	6,0	21,6	518,4	15,0	54,0	1296,0
WW - Rohwasserpumpe													
Leistung [kW]		0,38							1,14				2,85
Betrieb pro Tag [h/d]		23,00							23,00				23,00
Energie pro Tag [kWh/d]		8,74							26,22				65,56
Energie pro m³ [kWh/m³]		0,041							0,041				0,041
Stromkosten [€/m³ aufber. Wasser]		0,008							0,008				0,008
Chemikalien: Eisen-(III)-Chlorid + Tank													
Q _{Auslegung} [m³/a]		63,072							189,216				473,040
Investitionskosten Tank [€]		20,000							20,000				30,000
Förderung [€]	0%	0							0				0
Investitionsbedarf [€]		20,000							20,000				30,000
Zinssatz [%/a]		5%							5%				5%
Zinsen [€/a]		1.000,00							1.000,00				1.500,00
Zinsen [€/m³]		0,016							0,005				0,003
Abschreibung Tank [a]		15							15				15
Abschreibungskosten pro Jahr [€/a]		1.333,33							1.333,33				2.000,00
Abschreibungskosten pro m³ [€/m³]		0,021							0,007				0,004
Kapitalkosten [€/m³]		0,037							0,012				0,007
Menge Eisen-(III)-Chlorid [l/t]		704,23							704,23				704,23
Mengenpreis exkl. USt [€/l]		230,00							230,00				230,00
Preis pro Liter [€/l]		0,33							0,33				0,33
Dosierung [ml/h]		735,00							2.205,00				5.512,50
Dosierung [l/d]		17,64							52,92				132,30
Kosten pro Tag [€/d]		5,76							17,28				43,21
Dosierung [l/m³]		0,102							0,102				0,102
Kosten pro m³ [€/m³]		0,033							0,033				0,033
Betriebskosten [€/m³]		0,033							0,033				0,033

	VAR 1			VAR 2			VAR 3			VAR 4		
	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]
angenommene Förderhöhe	2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4	15,0	54,0	1296,0
	Strompreis [€/kWh]			Strompreis [€/kWh]			Strompreis [€/kWh]			Strompreis [€/kWh]		
	0,15			0,15			0,15			0,15		
Konventionelle Filter	Q _{Auslegung} [m³/a]	Q _{Auslegung} [m³/h]	Q _{Auslegung} [m³/d]	Q _{Auslegung} [l/s]	Q _{Auslegung} [m³/h]	Q _{Auslegung} [m³/d]	Q _{Auslegung} [l/s]	Q _{Auslegung} [m³/h]	Q _{Auslegung} [m³/d]	Q _{Auslegung} [l/s]	Q _{Auslegung} [m³/h]	Q _{Auslegung} [m³/d]
Investitionskosten Filter [€]	63.072	180.000	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4	15,0	54,0	1296,0
Förderung [€]	0	0										
Investitionsbedarf [€]	180.000	180.000										
Zinssatz [%/a]	5%	5%										
Zinsen [€/a]	9.000,00	10.000,00										
Zinsen [€/m³]	0,143	0,079										
Abschreibung [a]	40	40										
Abschreibungskosten pro Jahr [€/a]	4.500,00	5.000,00										
Abschreibungskosten pro m³ [€/m³]	0,071	0,040										
Kapitalkosten [€/m³]	0,214	0,119										
Rückspülen - Pumpe	Q _{Auslegung} [l/s]	Q _{Auslegung} [m³/h]	Q _{Auslegung} [m³/d]	Q _{Auslegung} [l/s]	Q _{Auslegung} [m³/h]	Q _{Auslegung} [m³/d]	Q _{Auslegung} [l/s]	Q _{Auslegung} [m³/h]	Q _{Auslegung} [m³/d]	Q _{Auslegung} [l/s]	Q _{Auslegung} [m³/h]	Q _{Auslegung} [m³/d]
	25	90		25	90		25	90		25	90	
Leistung [kW]	3,50	3,50										
Betrieb pro Tag [h/d]	0,50	1,00										
Energie pro Tag [kWh/d]	1,75	3,50										
Energie pro m³ [kWh/m³]	0,010	0,010										
Stromkosten [€/m³]	0,0015	0,0015										
Rückspülen - Kompressor	Q _{Auslegung} [l/s]	Q _{Auslegung} [m³/h]	Q _{Auslegung} [m³/d]	Q _{Auslegung} [l/s]	Q _{Auslegung} [m³/h]	Q _{Auslegung} [m³/d]	Q _{Auslegung} [l/s]	Q _{Auslegung} [m³/h]	Q _{Auslegung} [m³/d]	Q _{Auslegung} [l/s]	Q _{Auslegung} [m³/h]	Q _{Auslegung} [m³/d]
	2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4	15,0	54,0	1296,0
Leistung [kW]	5,50	5,50										
Betrieb pro Tag [h/d]	0,30	0,30										
Energie pro Tag [kWh/d]	1,65	1,65										
Energie pro m³ [kWh/m³]	0,010	0,005										
Stromkosten [€/m³]	0,0014	0,0007										

	VAR 1			VAR 2			VAR 3			VAR 4			
	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	Q [l/s]	Q [m³/h]	Q [m³/d]	
	Strompreis [€/kWh]	Q _{Auslegung} [m³/h]	Q _{Auslegung} [m³/d]	Strompreis [€/kWh]	Q _{Auslegung} [m³/h]	Q _{Auslegung} [m³/d]	Strompreis [€/kWh]	Q _{Auslegung} [m³/h]	Q _{Auslegung} [m³/d]	Strompreis [€/kWh]	Q _{Auslegung} [m³/h]	Q _{Auslegung} [m³/d]	
UF-Anlage	2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4	6,0	21,6	518,4	
Ausbeute UF-Anlage	95%												
Q _{Auslegung} [m³/a]		59.918			119.837			179.755			449.388		
Energie pro Tag [kWh/d]		16,42			32,83			49,25			123,12		
Energie pro m² [kWh/m²]		0,10			0,10			0,10			0,10		
Stromkosten [€/m³]		0,015			0,015			0,015			0,015		
Investitionskosten UF-Anlage [€]		64.000			105.000			132.000			270.000		
Förderung [€]		0			0			0			0		
Investitionsbedarf [€]		64.000			105.000			132.000			270.000		
Zinssatz [%/a]		5%			5%			5%			5%		
Zinsen [€/a]		3.200,00			5.250,00			6.600,00			13.500,00		
Zinsen [€/m³]		0,053			0,044			0,037			0,030		
Abschreibung [a]		15			15			15			15		
Abschreibungskosten pro Jahr [€/a]		4.266,67			7.000,00			8.800,00			18.000,00		
Abschreibungskosten pro m³ [€/m³]		0,071			0,058			0,049			0,040		
Modulanzahl [Stk.]		3			5			8			8		
Modulpreis [€/Stk.]		2.500			2.500			2.500			2.500		
Modulstandzeit [a]		6			6			6			6		
Membranersatz [€/m³]		0,021			0,017			0,019			0,007		
Kapitalkosten [€/m³]		0,145			0,120			0,104			0,078		
UV-Anlage		2,0	7,2	172,8	4,0	14,4	345,6	6,0	21,6	518,4	6,0	21,6	518,4
Q _{Auslegung} [m³/a]		63.072			126.144			189.216			473.040		
Leistung [kW]		0,21			0,21			0,33			0,33		
Betrieb pro Tag [h/d]		24,00			24,00			24,00			24,00		
Energie pro Tag [kWh/d]		5,04			5,04			7,92			7,92		
Energie pro m² [kWh/m²]		0,029			0,015			0,015			0,006		
Stromkosten [€/m³]		0,004			0,002			0,002			0,001		
Investitionskosten UV-Anlage [€]		30.000			30.000			40.000			60.000		
Förderung [€]		0			0			0			0		
Investitionsbedarf [€]		30.000			30.000			40.000			60.000		
Zinssatz [%/a]		5%			5%			5%			5%		
Zinsen [€/a]		1.500,00			1.500,00			2.000,00			3.000,00		
Zinsen [€/m³]		0,024			0,012			0,011			0,006		
Abschreibung [a]		15			15			15			15		
Abschreibungskosten pro Jahr [€/a]		2.000,00			2.000,00			2.666,67			4.000,00		
Abschreibungskosten pro m² [€/m²]		0,032			0,016			0,014			0,008		
Ersatztrahlerkosten pro Jahr [€/a]		500,00			500,00			500,00			500,00		
Ersatztrahlerkosten pro m² [€/m²]		0,008			0,004			0,003			0,001		
Kapitalkosten [€/m³]		0,063			0,032			0,027			0,016		





Anhang 5

LC-OCD Analyse, DOC Labor Dr. Huber

DOC-Charakterisierung von Proben einer Wasseraufbereitungsanlage

Auftr.-Nr. Kunde/DOC-Labor: / Uni-BW_6 (A 1955)
Projektpartner/Kontakt: Steffen Krause / Steffen.Krause@UniBw.de
Anz. und Art der Proben: 6 (Wasser)
Messbedingungen: Säule: 5033 / 006 Flussrate: 1,0 / 0,3 / Ø Puffer: STD
Datum Probenahme: 2008-Okt-13 STD MC BC
Datum Probeneingang: 2008-Okt-15 Bericht: J N
Datum der Messung: 2008-Okt-15-16 Datenauswertung: Dr. M. Abert
Datum Berichtserstellung: 2008-Okt-16 Berichterstellung: Dr. M. Abert

Rechtlicher Hinweis: Wir garantieren die Gültigkeit der im Bericht wiedergegebenen Analysedaten nach Stand von Wissenschaft und Technik. Für die im Bericht wiedergegebenen Interpretationen und Empfehlungen, die über die Erstellung der Daten hinausgehen, können wir keinerlei Haftung übernehmen. Alle Aussagen gehen zudem davon aus, dass repräsentative Proben eingeschickt wurden, die einem „typischen Betriebszustand“ entsprechen.

Technische Hinweise (siehe auch unsere Homepage): Alle angegebenen Werte entsprechen der Masse an organisch-gebundenem Kohlenstoff (OC) in µg/L oder ppb. Die Molekülmassen liegen bei natürlichem organischen Material etwa um den Faktor 2 darüber (C = 50 Gew.-%). Für Säuren liegt der Faktor jedoch höher (3-4), für hydrophoben OC (HOC) niedriger (1-2). Die angegebenen Molmassen (Molekulargewichte) für die Huminstoff-Fraktion beziehen sich jedoch auf das gesamte Molekül. Neben Chromatogrammen für OC werden auch die UV-Absorption bei 254 nm mitgemessen, da diese z.B. für den Nachweis der Huminstoffe notwendig ist. Neuerdings können bei Bedarf auch weitere Wellenlängen erfaßt werden, sowie auch der gelöste organisch-gebundene Stickstoff (DON). Die Säure-Fraktion kann Anteile an niedermolekularen Fulvinsäuren enthalten. Dieser Anteil wird auf der Basis der SAC/OC - Verhältnisse herausgerechnet. Die OC-Chromatogramme können daher einen „Säurepeak“ aufweisen, obwohl „freie“ Säuren nicht vorhanden sind.

SUMMARISCHE PARAMETER („Partitionen“):

DOC (Dissolved OC): Wird im „Bypass“ der chromatographischen Säule summarisch bestimmt, indem ein in-line gespültes 0,45 µm Membranfilter in den Probestrom eingeschleift wird.

HOC (Hydrophobic OC): Errechnet aus DOC minus CDOC (CDOC= Chromatographic DOC). CDOC ist das Gesamtintegral des Chromatogramms. Alle Stoffe, die auf der Säule „hängenbleiben“, werden demnach als HOC definiert. Hierzu zählen bei Oberflächenwässern Kohlenwasserstoffe, bei Grundwässern im Wesentlichen „Humine“ (unlösliche Huminstoffe).

CDOC (Chromatographierbarer OC): Gesamtintegral des Chromatogramms, auch „hydrophiler DOC“ bezeichnet (siehe nachfolgend):

Chromatographische Fraktionen (CDOC, bzw. „hydrophiler DOC“):

Huminstoffe (HS): „Enge“ Definition auf Basis von Retentionszeit, Peakbreite und UV-Absorption (SAK). Kalibrierung auf Basis von „Suwannee River“ Standard FA und HA (IHSS, International Humic Substances Society). Molmassen um 1000 g/mol. Neben Quantifizierung erfolgen auch statistische Daten wie Molmassenverteilung (M_n) und Aromatizität (SAK/OC).

Building Blocks (HS-Hydrolysate): Die HS-Fraktion wird von Schultern überlagert, deren Form, Konzentration und UV-Aktivität stark variieren können. Es handelt sich hier i.d.R. um Grundeinheiten („Building Blocks“) von Huminstoffen, die entweder bei Neubildung (z.B. bei Abwässern) oder bei Alterung entstehen. Building Blocks sind dann als Zwischenstufe der Oxidation von Huminstoffen zu niedermolekularen Säuren aufzufassen. Molmassen im Bereich 300-450 g/mol.

Niedermolekulare organische Säuren: Summarische Fraktion für alle niedermolekularen, aliphatischen organischen Säuren. Die Säuren eluieren alle gleichzeitig aufgrund eines ionenchromatographischen Effekts. Ein Teil der Huminstoffe wird jedoch miterfasst und muss herausgerechnet werden.

LMW Neutralstoffe: Der Theorie nach erscheinen hier nur noch niedermolekulare Stoffe, die i.d.R. neutral oder nur schwach anionisch sind (z.B. Alkohole, Aldehyde, Ketone, Aminosäuren). Zunehmende Retentionszeit weist auf zunehmende Hydrophobizität hin („amphiphil“ bis „hydrophob“, z.B. Pentanol bei 120 min, Oktanol bei 240 min).

Biopolymere (Polysaccharide, Polyaminozucker, Polypeptide und Proteine): Diese Fraktion ist sehr hochmolekular (100.000 bis 2 Mio g/mol), hydrophil und nicht UV-aktiv. Biopolymere sind nur in Oberflächenwässern vorhanden. In aufbereitungstechnischer Sicht ist diese Fraktion besonders problematisch.

Anorganische Kolloide (nur in UV-Chromatogrammen sichtbar): In dieser Fraktion sind negativ geladene anorganische Polyelektrolyte und neutrale Polyhydroxide und Oxidhydrate von Fe, Al und Si enthalten.

SUVA (siehe letzte Spalte): Verhältnis von Gesamt-UV-Absorption und DOC: dieser Parameter ist in den USA weit verbreitet.

SYNTHETISCHE ORGANISCHE STOFFE (SOM = SYNTHETIC ORGANIC MATTER):

Prinzipiell können alle wasserlöslichen organischen Stoffe erfaßt und im Vergleich mit einer Referenz auch identifiziert werden, sofern das Stoffgemisch nicht zu komplex ist, da die SEC-Methode keine sehr hohe Trennleistung hat. Typische Vertreter sind z.B. anionische Flockungshilfsmittel, Antiscalants, org. Konditionierungsmittel (z.B. Amine), allg. Additive, Harzauswaschungen (Polysulfonate, Trimethylamin). Nicht erfaßt werden schwerlösliche Stoffe (z.B. PAK, Pestizide), sowie langkettige Tenside. Diese Stoffe würden in der HOC-Fraktion summarisch erfaßt werden.

Ergebnisse und Diskussion

Anmerkung: Für die beiden Proben „3.1: RW“ und „4.1: Riesler“ werden in den Bypass-Messungen DOC-Werte gefunden, die deutlich unter den CDOC-Werten (als Gesamtintegral der chromatographischen OC-Bestimmung) liegen. Gleichzeitig weisen die Chromatogramme dieser beiden Proben einen sehr großen Anteil an anorganischen Kolloiden auf. Die UVD-Messungen der Bypass-Messungen können aufgrund der Signalhöhe nicht ausgewertet werden (vgl. SUVA-Werte für diese beiden Proben). Diese Befunde werden wahrscheinlich durch den sehr hohen Gehalt an Eisen(kolloiden) in den Wasserproben verursacht. In diesen beiden stark gelb gefärbten Proben (Eisenkolloide) führt die UV-Absorption zu einer verminderten Oxidationsausbeute des OCD in den Bypass-Messungen (DOC-Werte < CDOC) und zu einer Verfälschung des UVD-Signals (teilweise mit einem Tailing bis hinein in den HS-Bereich, was zu einer fälschlich höheren Aromatizität der HS führt) und des OND-Signals (was zu einem fälschlich höheren N-Gehalt in den Biopolymeren führt (UV-Absorption bei 220 nm)).

3.1 RW

Das Rohwasser besitzt eine CDOC-Konzentration von 7,1 ppm. Der DOC-Wert dürfte in der gleichen Größenordnung liegen (vgl. obige Anmerkung). Dies ist ein hoher Wert, wenn es sich um ein (deutsches) Oberflächenwasser als Rohwasserquelle handelt. Davon entfallen 67 % auf Huminstoffe (HS). Extrapoliert man die Position der HS im HS-Diagramm (vgl. Abb. 2) senkrecht nach unten (aufgrund der fälschliche Überhöhung der Aromatizität der HS), lassen sich die HS den pedogenen Fulvinsäuren zuordnen. Es handelt sich also um allochthone HS.

Falls es sich um ein Grundwasser handelt, ist hier auf die hohe mikrobielle Aktivität hinzuweisen (Biopolymer-Fraktion).

Die Probe enthält Nitrate und Ammonium (nicht quantifiziert).

4.1 Riesler

Die Probe ist der Probe „3.1 RW“ sehr ähnlich. Die anorganischen Kolloide besitzen einen geringen Wert und die Konzentration der Biopolymer-Fraktion (BP) ist vermindert. Für die HS-Fraktion hingegen wird eine leichte Zunahme gefunden. Die Einflüsse des Rieslers auf die CDOC-Fraktionen sind also relativ gering.

5.1 Filter 1

Wir erkennen eine drastische Veränderung: Der DOC-Wert sinkt auf ca. 2 ppm. Die Biopolymer-Fraktion wird um 85 % auf 44 ppb C vermindert, die HS-Fraktion um 88 % auf 559 ppb C. Ebenso erfahren alle anderen Fraktionen eine deutliche Verminderung, wie es aus Tab. 1 ersichtlich ist. Die Qualität der HS ändert sich hin zu einer kleineren zahlengemittelten Molmasse und geringerer Aromatizität, d. h. es werden vorrangig hochmolekulare, aromatische HS-Anteile entfernt. Dies ist ein Befund, wie man ihn typischerweise für eine Flockung findet.

Ammonium kann nicht mehr nachgewiesen werden.

6.1 Filter 2

Filter 2 bewirkt offensichtlich keine weitere dramatische Änderung der CDOC-Fraktionen außer geringen Konzentrationsabnahmen in den Fraktionen der BP, Building Blocks (BB) und niedermolekularen Säuren (LMW Acids). Die Qualität der HS bleibt unverändert.

7.1 Entsäuerung

Die Entsäuerung beeinflusst die CDOC-Fraktionen nicht.

8.1 Ablauf UF

Wie aus dem Zulauf zu erwarten, werden die meisten CDOC-Fraktionen nicht signifikant durch die UF beeinflusst, da die Molmassen zu gering sind. Einzig die hochmolekulare Fraktion der BP wird weiter in ihrer Konzentration vermindert. Allerdings bleibt ein Rest-Gehalt von 27 ppb C an BP im Ablauf der UF.

Ende des Berichts

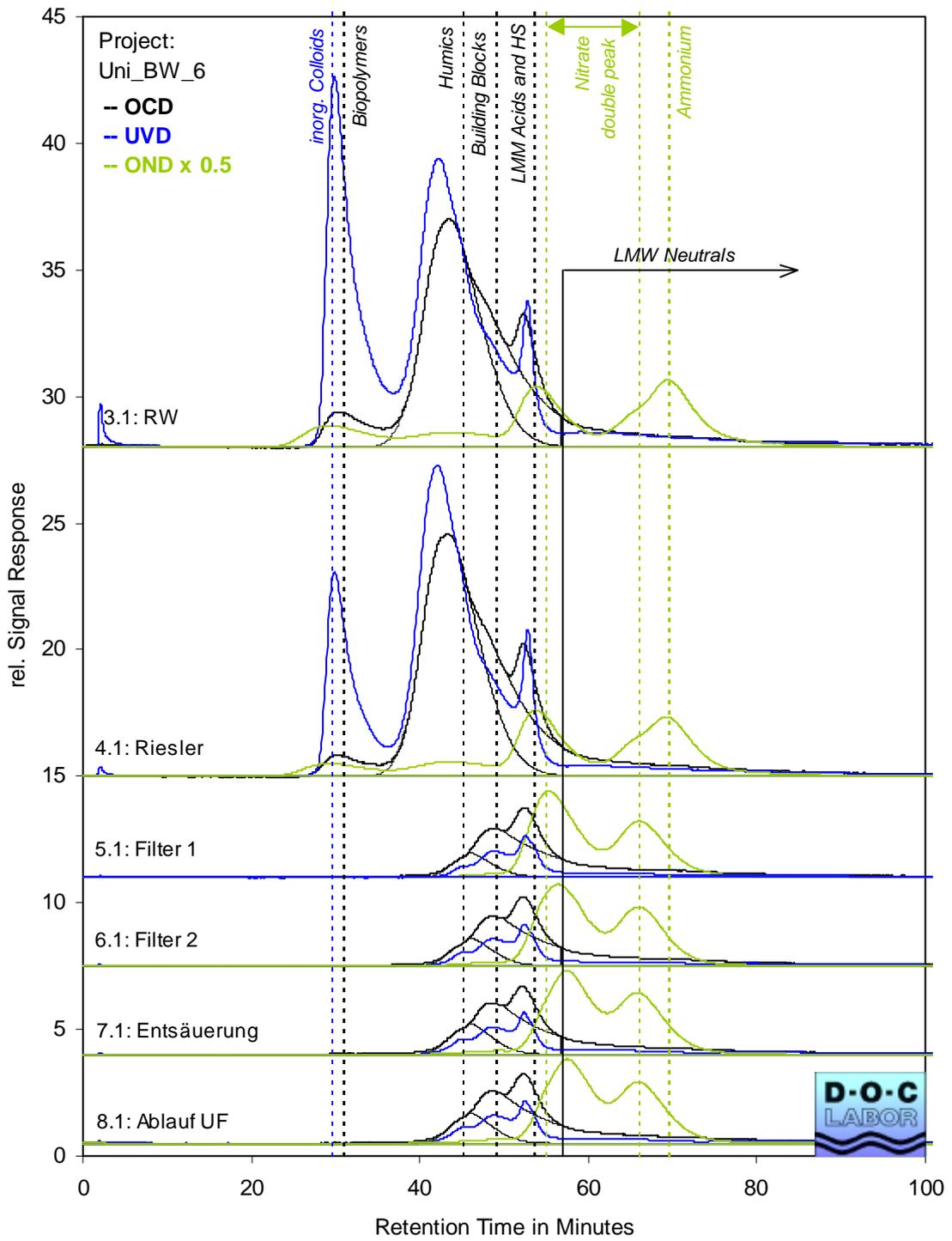


Abb. 1: LC-OCD-Chromatogramme

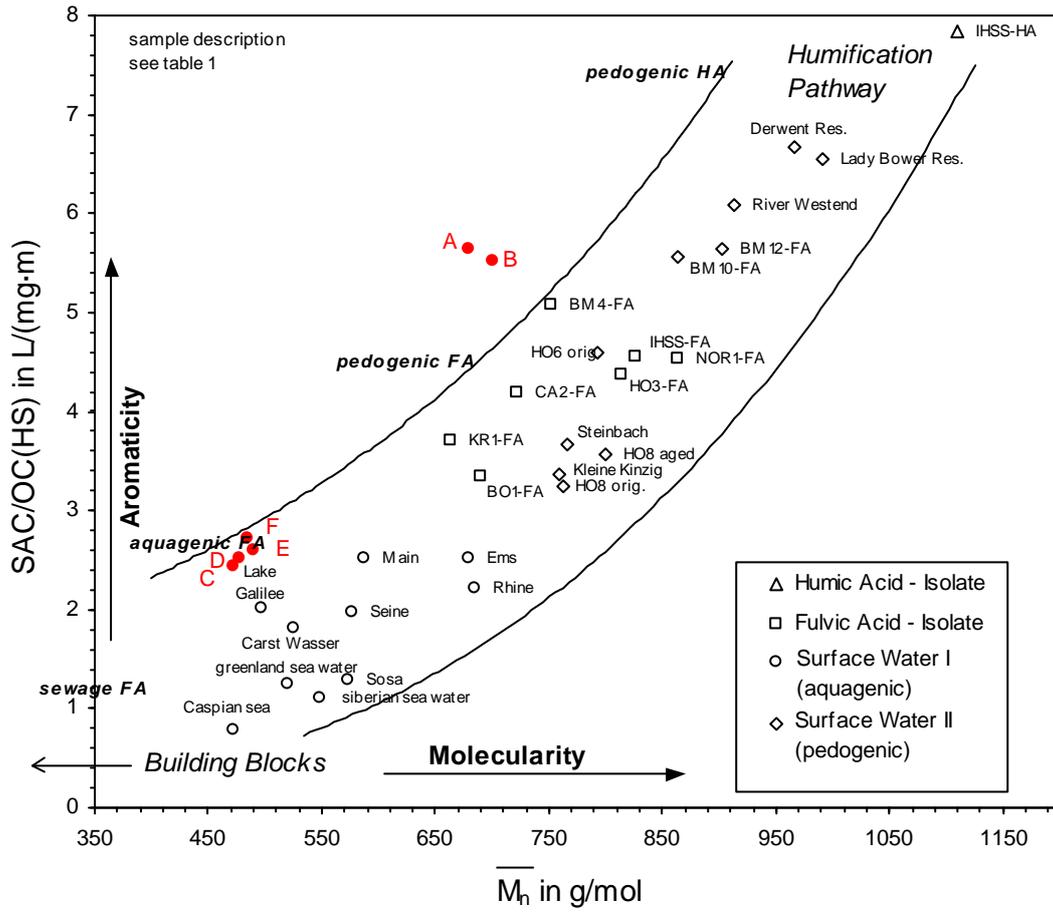


Abb. 2: Huminstoff-Diagramm

Tab. 1

		DOC			Approx. Molecular Weights in g/mol:											Inorg. Colloid. SAC (m ⁻¹)	SUVA (SAC/DOC) L/(mg*m)		
		Dissolved	Hydrophob.	Hydrophil.	>>20.000	~1000 (see separate HS-Diagram)					300-500	<350	<350						
Project: Uni_BW_6					BIO-polymers	DON (Norg)	N/C	% Proteins in BIOpol.*	Humic Subst. (HS)	DON (Norg)	N/C	Aromaticity (SUVA-HS)	Mol-Weight (Mn)	Position in HS diagram	Building Blocks	LMW Neutrals	LMW Acids		
		ppb-C	ppb-C	ppb-C	ppb-C	ppb-N	µg/µg	% BIOpol.	ppb-C	ppb-N	µg/µg	L/(mg*m)	g/mol		ppb-C	ppb-C	ppb-C	% DOC	% DOC
		% DOC	% DOC	% DOC	% DOC	--	--	--	% DOC	--	--	--	--	--	% DOC	% DOC	% DOC	--	--
	3.1: RW	6702	n.q.	7065	502	263	0,52	157	4504	184	0,04	5,65	679	A	1025	964	70	16,84	n.q.
		100%	--	105,4%	7,5%	--	--	--	67,2%	--	--	--	--	--	15,3%	14,4%	1,1%	--	--
	4.1: Riesler	6830	n.q.	7080	289	153	0,53	158	4787	168	0,04	5,52	701	B	1061	886	56	9,06	n.q.
		100%	--	103,7%	4,2%	--	--	--	70,1%	--	--	--	--	--	15,5%	13,0%	0,8%	--	--
	5.1: Filter 1	1961	91	1870	44	3	0,06	18	559	8	0,01	2,45	473	C	686	562	19	0,00	2,53
		100%	4,7%	95,3%	2,2%	--	--	--	28,5%	--	--	--	--	--	35,0%	28,6%	1,0%	--	--
	6.1: Filter 2	1979	115	1865	33	3	0,09	26	601	10	0,02	2,53	478	D	656	565	10	0,03	2,62
		100%	5,8%	94,2%	1,7%	--	--	--	30,4%	--	--	--	--	--	33,1%	28,5%	0,5%	--	--
	7.1: Entsäuerung	1992	112	1880	37	3	0,09	26	642	12	0,02	2,60	490	E	659	533	8	0,01	2,64
		100%	5,6%	94,4%	1,9%	--	--	--	32,3%	--	--	--	--	--	33,1%	26,7%	0,4%	--	--
	8.1: Ablauf UF	2021	147	1873	27	n.q.	--	--	624	10	0,02	2,71	485	F	672	525	25	0,01	2,65
		100%	7,3%	92,7%	1,3%	--	--	--	30,9%	--	--	--	--	--	33,3%	26,0%	1,2%	--	--

LMW = low-molecular weight

DON = Dissolved organic nitrogen

n.q. = not quantifiable (< 1ppb; signal-to-noise ratio)

n.m. = not measured

*:under the presumption that all org. N in the BIOpolymer fraction originates from proteins

"Biopolymers" = Polysaccharides, Proteins, Aminosugars

"Building Blocks" = mostly breakdown products of humics

"Neutrals" include mono-oligosaccharides, alcohols, aldehydes, ketones and amino sugars

"Acids" = Summaric value for monoprotic organic acids < 350 Da