

WiB Wassertechnik[®], Trinkwasseraufbereitung
Stefan Leopold Heider

**Erprobung eines innovativen Verfahrens ohne
Chemikalieneinsatz für die Gewinnung von Trinkwasser
aus Quellwasser mit schwankender Rohwasserqualität
am Beispiel der Winkelmoosalmen**

Kurztitel: TWmsR Winkelmoos
(Trinkwasser mit schwankender Rohwasserqualität)

Abschlussbericht zur Erprobung eines innovativen Verfahrens,
gefördert unter dem Az.: 31601 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Stefan Leopold Heider und Prof. Dr.-Ing. Horst Chmiel

Holzkirchen 2015

WiB Wassertechnik[®], Trinkwasseraufbereitung
Stefan Leopold Heider

**Erprobung eines innovativen Verfahrens ohne
Chemikalieneinsatz für die Gewinnung von Trinkwasser
aus Quellwasser mit schwankender Rohwasserqualität
am Beispiel der Winkelmoosalmen**

Kurztitel: TWmsR Winkelmoos
(Trinkwasser mit schwankender Rohwasserqualität)

Abschlussbericht zur Erprobung eines innovativen Verfahrens,
gefördert unter dem Az.: 31601 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Stefan Leopold Heider und Prof. Dr.-Ing. Horst Chmiel

Holzkirchen 2015

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Az	31601	Referat	23	Fördersumme
Antragstitel		Erprobung eines innovativen Verfahrens ohne Chemikalieneinsatz zur Gewinnung von Trinkwasser aus Quellwasser mit schwankender Rohwasserqualität am Beispiel der Winklmoosalmen		
Stichworte		Wasser Filter, Membran		
Laufzeit	24 Monate	Projektbeginn	23.09.2013	Projektende
				30.09.2015
Zwischenberichte				
Bewilligungsempfänger		WiB Wassertechnik		Tel 08024/46638-0 Fax 08024/46638-11 Projektleitung Stefan Leopold Heider Bearbeiter
		Raiffeisenstr. 4b 83607 Holzkirchen		
Kooperationspartner		audita Unternehmensberatung GmbH Haslangstraße 28 D – 80689 München		

Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens

Ziel ist es, zu zeigen, dass - ohne den Verbrauch von Chemikalien - aus Quellwasser mit schwankendem Gehalt an Schwebstoffen Trinkwasser erzeugt werden kann. Dabei sollen organische und anorganische Schwebstoffe, wie sie beispielsweise in Form von Trübung, Färbung und TOC/DOC im Quelleinzugsgebiet vorkommen, durch eine Kombination von in das Wasser eingetragener ionisierter Luft und Ozon mit nachgeschalteter Ultrafiltration über eine Polymermembran (mittlerer Porendurchmesser 50 nm) entfernt werden. Ein weiteres Untersuchungskriterium gilt dem Membranfouling. Dieses soll nachhaltig und energieeffizient durch Zugabe einer geringen Menge von Ozon auf der Feedseite der Membran (am Beispiel einer Polymermembran) unterdrückt werden.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

An der zentralen Wasserversorgung Winklmoosalmen (Ortsteil Seegatterl – Reit im Winkel) soll überprüft werden, ob die Kombination von ionisierter Luft, Ozon und Ultrafiltration (mit einer mittleren Porenweite von 50 nm) - unter Berücksichtigung der bisher gewonnenen Erkenntnisse – für die Wasserversorgungen mit Trinkwasser aus Quellwasser genutzt werden kann. Nach starken Regenfällen war dies mit den bisherigen Verfahren nur eingeschränkt und unter Einsatz von erheblichen Mengen von Flockungs-, und Fällungsmitteln möglich. Es wird - parallel zur Wasseraufbereitungsanlage - eine Teststrecke erbaut, um die neuen Verfahren zu testen. Dabei sollen Wasserwerte des Rohwassers mit den Werten des aufbereiteten Wassers verglichen werden. Hierfür werden der TrinkwV (Trinkwasserverordnung) entsprechende umfassende Laboruntersuchungen erhoben und vergleichsweise beurteilt.

Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse lassen sich in zwei Bereiche fassen. Zum Einen wurde die Rohwasserozonierung im Trinkwasser mit einem Grenzwert von 10mg/L untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass unter Einhaltung des Grenzwertes keine Membran im sauberen oder verlegten Zustand freigehalten werden kann. Offensichtlich werden durch das Ozon auf der Rohwasserseite Mikroorganismen lysiert und deren vor allem makromolekulare Inhaltsstoffe frei gesetzt. Diese erhöhen das Fouling-Potential, weil sie in die Membranporen eindringen, dort adsorbieren und dadurch den Durchmesser der Membranporen verringern. Außerdem bilden sie mit den lysierten Zellen und sonstigen partikulären Verunreinigungen vernetzte, gelartige Strukturen. Dies führte in allen Rohwasserozonierungsversuchen zum Anstieg des transmembranen Drucks und hatte somit gegenteilige Effekte.

Im Zweiten wurde festgestellt, dass über ozonunterstützte Rückspülprozesse verlegte oder gar verblockte Membranen freigespült werden können. Dieses Ergebnis war sehr aufschlussreich, da hier zukünftig Membranen über ozonierte Rückspülungen präventiv oder situativ gereinigt werden können. Auch besteht der Vorteil der ozonunterstützten Rückspülung darin, dass die kleineren Rückspülströme weniger freies Ozon benötigen als die der Filtratproduktion. Ein Aufzehren des eingetragenen Ozons ist in den typischen Rückspülwässern aus ultrafiltriertem Permeat geringer, als die der belasteten Rohwässer. Dies hat vor allem in der Trinkwasseranwendung den Vorteil, dass das ozonierte Rückspülwasser keinen direkten Kontakt zu Trinkwasser hat und somit keine gesundheitsgefährdenden Stoffe an den Anwender abgegeben werden können.

Die Ozonierung der Rückspülwässer ermöglicht ein enormes Einsparungspotenzial bei Wasserversorgungen mit starken organischen Belastungen, die regelmäßige chemische Reinigungsprozesse zum Freihalten der Membrane verwenden müssen (z.B. Flusswasseraufbereitung oder Uferfiltrate). Die präventive Anwendung einer ozonunterstützten Rückspülung könnte auch im Bereich der Brauch-, Ab-, und Kreislaufwässer zum Einsatz kommen, da in diesen Bereichen viel höhere Belastungen und somit höhere Reinigungsintervalle zu erwarten sind.

Es ist darauf hinzuweisen, dass die Anwendung von Ozon in der Ultrafiltration nur bei ozonresistenten Materialien möglich ist.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Termin steht noch nicht fest.

Fazit

Im vorliegenden Vorhaben wurde zwar der Eintrag des Ozons in das Rohwasser beantragt. Es stellte sich jedoch schnell heraus, dass es zu viele Reaktionsmittel im Rohwasser gibt. Trübung, organische Verbindungen, Bakterien und weitere Stoffe können das Ozon aufzehren und reduzieren.

Nur durch Erhöhung der Ozonkonzentration könnte ein Überschuss für die Reinigung der Membran erzielt werden. Dabei wird der Grenzwert für Ozon in der TrinkwV. von 10mg/l. schnell erreicht.

Daher ist es aus technischer Sicht von Vorteil, die Ozonierung in die Rückspülleitung einzubauen, da dieses nach „Freispülen“ (ohne Ozon) keinen direkten Kontakt (Ozon-Trinkwasserkontakt) mit dem Trinkwasser hat.

Inhaltsverzeichnis

Seite:

Umschlag	
Deckblatt	1
Projektkennblatt	2-3
Inhaltsverzeichnis	4
Verzeichnis von Bildern und Tabellen	5
Verzeichnis von Begriffen und Definitionen	6
1. Zusammenfassung	7
2. Einleitung	8-10
2.1. Grundinformation zur Wasserversorgung auf der Winklmoosalm.....	8
2.2. Wichtige Eckdaten.....	8
2.3. Ist Zustand der Wasserversorgung Winklmoosalm.....	8-9
2.4. Konventionelles Verfahren zur Gewinnung von Trinkwasser	
2.4.1. Stand der Technik.....	9
2.4.2. Problemstellung.....	9
2.5. Zielsetzung des Vorhabens.....	9-10
2.6. Innovatives Verfahren z. Behandlung v. Quellwasser m.d. Ziel d. Trinkwassergewinnung...10	
3. Hauptteil:	
3.1. Problemstellung.....	11-16
3.2. Rohwasserozonierung	
3.2.1. Rohwasserozonierung unter Betrieb einer verlegten Membran I. v. 11.03.2015.....	17
3.2.1.1. Ergebnis	18
3.2.2. Ozonoptimierung und Anpassung des Lösungsverhaltens v. 14.03.2015.....	19-21
3.2.3. Rohwasserozonierung unter Betrieb einer verlegten Membran II. v. 18.03.2015.....	22-23
3.2.3.1. Ergebnis.....	23
3.2.4. Rohwasserozonierung unter Betrieb einer sauberen Membran 30.03.2015.....	24-25
3.2.4.1. Ergebnis.....	25
3.2.5. Fazit.....	26
3.3. Kreislaufspülung einer verlegten Membran 30.03.2015	
Kreislaufspülung über Rohwasser.....	27-28
Rückspülung mittels aufkonzentrierter Rückspüllösung.....	27-28
3.3.1. Ergebnis.....	28
3.4. Ozonunterstützte Rückspülung	
3.4.1. Ozonunterstützte Rückspülung Teil I. vom 27.05.2015.....	29
3.4.2. Ozonunterstützte Rückspülung Teil II. vom 11.06.2015.....	30-36
3.4.3. Ergebnis.....	37
4. Fazit	38
Rückendeckel	

Verzeichnis von Bildern und Tabellen:

Unter InhaltsPunkt.. laufende Nummer....Abbildung/Tabelle verwendet auf Seite:

2.	Abb. 0:	Forschungsanlage mit Verfahrenstechnik und Analytik	10
3.1.	Abb. 1:	Ablagerungen auf einer von außen nach innen mit Rohwasserdurchströmten Hohlfasermembran	11
3.1.	Abb. 2:	Filtrations- und Rückspülvorgang.....	12
3.1.	Abb. 3:	Adsorptionsvorgänge als Funktion der Betriebsdauer	12
3.1.	Abb. 4:	Trübungswerte in Abhängigkeit der Niederschläge.....	14
3.1.	Abb. 5:	Transmembraner Druck in Abhängigkeit zu Niederschlägen	15
3.1.	Tab. 1:	Gemessene Werte während der dargestellten Niederschlagszeit	16
3.2.1.	Abb. 6:	Fließbild der Versuchsanordnung zum Eintragen vonOzon-Luftgemisch in das Rohwasser	17
3.2.1.	Abb. 7:	Zeitlicher Verlauf von NTU, TMP und Ozonkonzentrationauf der Feedseite	18
3.2.2.	Abb. 8:	Fließbild der Versuchsanordnung zur Ozonierung des Rohwassersunter Verwendung technischen Sauerstoffs	20
3.2.2.	Abb. 9:	Fließbild der Versuchsanordnung zur Ozonierung des Rohwassersunter Verwendung technischen Sauerstoffs. Gedrosselt auf 300l/h	21
3.2.3.	Abb. 10:	Zeitlicher Verlauf von NTU, TMP und Ozonkonzentration im Rohwasserbei Eintrag von ca. 10g O ₃ /h	23
3.2.3.	Abb. 11:	Zeitlicher Verlauf von NTU, TMP und Ozonkonzentration für eine vorVersuchsbeginn gereinigte Membran	24
3.2.4.1.	Abb. 12:	Verblockung einer Membran d. Mikroorganismen, lysierten Zellen u. Makro-molekülen nach Eintrag von Ozon auf der Rohwasserseite.....	25
3.3.	Abb. 13:	Fließbild des Verfahrens zur chem. Reinigung einer verblockten Membran	27
3.4.1.	Abb. 14:	Rückspülung einer verblockten Membran mit Ozon-angereichertem Filtrat bzw. Reinwasser.....	29
3.4.2.	Abb. 15:	Fließbild zur Rückspülung einer verblockten Membran mittels ozonhaltigemReinwasser bzw. Filtrat bei gleichzeitiger Entfernung von Gasblasen über demKopf des Membranmoduls.....	30
3.4.2.	Abb. 16:	Rückspülwasser einer verblockten Membranzu verschiedenen Zeiten der Rückspülung.....	31
3.4.2.	Abb. 17:	Optische und gemessene Trübung (NTU) bei fortgesetzter Rückspülungmit ozonhaltigem Reinwasser	32
3.4.2.	Tab. 2:	Tabelle 2 zeigt die gemessenen Versuchsergebnisse. Diese war dieAussagekräftigste aller Versuchsanordnungen.	33-34
3.4.2.	Tab. 3:	Zusammenstellung der wichtigsten Versuchsergebnisse	35
3.4.2.	Abb. 18:	NTU (oben), SAK (Mitte) und Permeabilität (unten)mit fortschreitender Rückspüldauer	36
4.	Abb. 19:	Schematische Darstellung einer Gasembolie in einer Hohlfaser-Membran	38

Verzeichnis von Begriffen und Definitionen:

Kurzbezeichnung Definition/Erklärung zu erst verwendet auf Seite:

PVDF	Polyvinylidenfluorid:Flurkunststoff mit ausgewogenen mechanischen Eigenschaften	7
WiB.....	Kurzform für WiB Wassertechnik:WiB steht für Wasser in Bayern	7
TMP	transmembrane pressure, Transmembraner Druck	7
CSB.....	Chemischer Sauerstoff Bedarf: Ein Maß für die Summe aller im Wasservorhandenen, unter bestimmten Bedingungen oxidierbaren Stoffen	7
UF	UF steht für Ultrafiltration	7
F&E	Forschung und Entwicklung	7
WV.....	Wasserversorgung,z.B. WV Winklmoosalm oder WV Reit im Winkl	7
TrinkwV.....	oder auch TVO bedeutet Trinkwasserverordnung	8
UVC.....	UVC Desinfektionsanlage: Ultraviolette Strahlungim kurzwelligigen Bereich (UV-C Strahlung 100-280nm)	8
UBA.....	Umweltbundesamt	9
NTU	Nephrotische trübungs unit: Trübungsbezeichnung.....	11
Hagen-Poiseuille..	Gesetzt des Volumenstrom (Berechnung)	12
.....(nach Gotthilf Heinrich Ludwig Hagen und Jean Léonard Marie Poiseuille)	
Permeabilität	Durchlässigkeit	12
RGT-Regel.....	Reaktionsgeschwindigkeit-Temperatur-Regel auchvan-'t-Hoff'sche Regel genannt.....	13
SAK	spektrale Absorptionskoeffizient	35

1. Zusammenfassung:

Die Trinkwasserversorgung der Winklmoosalmen wurde in der Vergangenheit durch Filtration von Quellwasser über Membran-Einmal-Filterkerzen gereinigt.

Im Zuge des Neubaus einer Membran-Filtrationsanlage in das vorhandene Aufbereitungsgebäude wurde bei der Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) ein Forschungsvorhaben beantragt, in dessen Rahmen ein alternatives, innovatives Verfahren zur Trinkwassergewinnung entwickelt und erprobt werden sollte. Dieses sollte aus einer Kombination von Ionisation, Ozonierung und Ultrafiltration bestehen. Dabei sollte die in das Rohwasser eingeführte ionisierte Luft zur Aggregation der vorhandenen Verunreinigungen führen. Diese sollten dadurch von der vergleichsweise groben Ultrafiltrationsmembran (mittlerer Porendurchmesser 50nm) zurück gehalten werden. Ozon sollte zur Reinigung der PVDF-Membran dienen.

Nachdem die Gutachter allerdings darauf bestanden, dass das so produzierte Wasser zu keiner Zeit als Trinkwasser verwendet werden darf, entschied die WiB die Forschungsanlage von der übrigen Trinkwasseranlage komplett getrennt aufzubauen. Dies hatte wiederum zur Folge, dass ein neues Aufbereitungsgebäude erstellt werden musste. Ein zusätzlich langer Winter gefolgt von längeren Trockenphasen führte schließlich dazu, dass das Programm zum Einsatz des Ionisators gekürzt werden musste, so dass hierfür keine reproduzierbaren Ergebnisse gewonnen werden konnten. Dafür war das übrige Programm umso aufschlussreicher. Zunächst wurde aus Luft erzeugtes Ozon auf der Rohwasserseite einer durch Verunreinigungen verblockten Membran eingebracht. Statt einer Reinigungswirkung, was sich bei gleichem Membranfluss durch eine Absenkung des transmembranen Drucks (TMP) hätte bemerkbar machen sollen, stieg der TMP weiter an. Gleichzeitig konnte aber auf der Feedseite kein freies Ozon gemessen werden. Es wurde daher darauf geschlossen, dass die eingetragene Ozonmenge zu gering war. Durch Einsatz von technischem Sauerstoff wurde in weiteren Versuchen die eingetragene Ozonmenge ca. verfünffacht. Zwar konnte nun auf der Feedseite freies Ozon (ca. $0,5\text{g}/\text{m}^3$) nachgewiesen werden, dennoch stieg der TMP weiter an, so dass der Versuch aus Sicherheitsgründen abgebrochen werden musste. Daraus wurde gefolgert, dass eine einmal in den Poren verblockte Membran durch Ozoneintrag auf der Rohwasserseite nicht mehr frei gespült werden kann.

Auch ein Versuch mit einer sauberen Membran unter sonst gleichen Randbedingungen führte zu einem erneuten Anstieg des TMP bis zu einem Sicherheitsabbruch. Offensichtlich werden durch das Ozon auf der Rohwasserseite Mikroorganismen lysiert und deren vor allem makromolekularen Inhaltsstoffe frei gesetzt. Diese erhöhen das Fouling-Potential, weil sie in die Membranporen eindringen, dort adsorbieren und dadurch den Durchmesser der Membranporen verringern. Außerdem bilden sie mit den lysierten Zellen und sonstigen partikulären Verunreinigungen vernetzte, gelartige Strukturen. Aus all diesen Versuchen wurde gefolgert, dass der Einsatz von Ozon auf der Rohwasserseite das falsche Konzept ist. Es wurde daher geprüft, ob der Einsatz von Ozon auf der Filtrat- also Reinwasser-Seite eine Reinigung der Poren und schließlich auch der Membran ermöglicht. Tatsächlich zeigten bereits erste Versuche, dass dieses Konzept zielführend ist.

Durch Ozon-unterstützte Rückspülung konnten verblockte Membranen wieder frei gespült werden. Allerdings kann hierzu nur das im Wasser gelöste Ozon genutzt werden. Freies Ozon in Form von Blasen erzeugt „Embolien“ und verschlechtert folglich das Ergebnis. Deshalb wurden Umbaumaßnahmen am Membranmodul-Kopf notwendig.

Die o. g. Ergebnisse sind insofern überraschend, als in einem früheren DBU-Projekt (Förderkennzeichen: AZ 27540/02) gefunden wurde, dass Ozon - auf der Filtratseite einer Membran eingebracht - zur Rückspülung einer verblockten Membran nicht erfolgreich sei. Allerdings handelte es sich damals um das Filtrat eines stark mit Algen verunreinigten Rohwassers, das immer noch hoch belastet war (vergleichsweise hoher CSB-Wert). Damit wird aber auch das Ziel eines zukünftigen F&E-Vorhabens klar: Das Filtrat sollte möglichst gering mit Ozon-zehrenden Verunreinigungen belastet sein. Dies soll in der Fortführung des Vorhabens dadurch realisiert werden, dass einerseits eine neu entwickelte UF-Membran mit kleinerem mittleren Porendurchmesser und vor allem engerer Porenverteilung zum Einsatz kommt und außerdem auf der Feed-Seite das Rohwasser mit ionisierter Luft beaufschlagt wird. Durch die dadurch ausgelöste Aggregation sollen auch kleinere Verunreinigungen von der Membran zurück gehalten werden, die sonst auf der Filtrat-Seite Ozon verzehren würden.

2. Einleitung:

2.1. Grundinformation zur Wasserversorgung auf der Winklmoosalm

Von Seiten der Wasserversorgung Winklmoosalm wurde aufgrund bestehender Wasser-aufbereitungsproblematik Kontakt zur WiB Wassertechnik® aufgenommen, da sich die WiB intensiv mit der Wasser-Aufbereitung kleinerer Wasserversorger mit ähnlicher Problemstellung beschäftigt. Die WiB hat sich daher intensiv mit dem Projekt Reit im Winkl beschäftigt. Im Fall der WV Winklmoosalm kommen dieselben Parameterüberschreitungen wie bei der WV der Gemeinde Reit im Winkl vor.

2.2. Wichtige Eckdaten

Wichtige Eckdaten der Wasserversorgung Winklmoosalm

1. Zentrale Versorgung mit 38 Wasserzählern
2. Dauerhafte Einwohnergleichwerte: 45 EWG
3. Gäste mit möglicher Übernachtung ca. 280 Pers.
4. Max. Tagesgäste in der Hochsaison ca. 500-600 Personen
5. Jahresverbrauch verrechnet ca. 12.000 m³/J
6. Jahresverbrauch über Viehbrunnen zum Tränken ca. 5.000 m³/Jahr (somit ergibt sich ein Jahresverbrauch von ca. 17.000m³)
7. 30m³ Hochbehälter (Trinkwasser - aufbereitet) über Drucksensor gesteuert
8. 200m³ Zisterne (befüllt) für Löschwasser
9. Reinwassertransport in den Hochbehälter 5m³/h bei Bedarf
10. Niedrigste Wasser-Temperatur im Winter 1,5°C

2.3. Ist Zustand der Wasserversorgung Winklmoosalm

Die Quelle der zentralen Wasserversorgung Winklmoosalm liegt jenseits der Bundesdeutschen Grenze im Wasserschutzgebiet des Winklmoosgebiets in Österreich.

Das Wasser wird dort am Hang gefasst und durch eine Betonplatte gegen Oberflächenwasser geschützt. Quantitativ steht auch nach langen Trockenperioden genügend Wasser zur Verfügung. Laut ehemaligem und aktuellem Betreuer läuft auch in Trockenzeiten von 4-6 Wochen der Überlauf der Quelfassung. Weitere Schüttungsmessungen stehen aufgrund der weiten Quellstreuung nicht zur Verfügung (Messung mit Behältern entsprechender Größe nicht möglich). Das Quellwasser wird in einem Vorlagebehälter mit 30m³ Fassungsvermögen gesammelt. Von dort wird es mit Kolben-Pumpen (2 Pumpen im abwechselnden Betrieb) mit 12 bar und 2 Druckkesseln (zur Druckstabilisierung) über 1km Strecke zum Aufbereitungsgebäude gepumpt.

Im Aufbereitungsgebäude wird das Wasser mit einer 2-stufigen Mikrofiltration vor der UV-Anlage vorfiltriert. Die Mikrofiltration besteht aus 0,5µm nominal Vorfiltern und 1µm absolut Feinfiltern mit jeweils neun Elementen à 40 Zoll Größe. Die nachgeschaltete, zertifizierte (lt. §11 UBA) UVC-Desinfektionsanlage sorgt für die Trinkwasserdesinfektion lt. TrinwV. Nachfolgend wird das Wasser mit dem vorhandenen Restdruck von 6 bar in den Hochbehälter transportiert.

Auf dem Weg zum Hochbehälter versorgen die Pumpen direkt die Abnehmer. Das Restwasser wird in den Hochbehälter transportiert. Nach erfolgter Befüllung wird über die Füllleitung auch das Wasser aus dem Hochbehälter für die Abnehmer entnommen.

Die Versorgung der Tränkebrunnen mit Rohwasser ist aufgrund des Kostenaufwands mit erschwerten Grabungsbedingungen (alpin) nicht wirtschaftlich. Zudem wollen die Viehzucht-Betreiber eine gewisse Wasser-Qualität für die Aufzucht erhalten.

Der Hochbehälter wird über einen Druckaufnehmer gesteuert. Dieser fordert bei Erreichen des max. zulässigen Abfallens das Wasser an. Daraufhin wird das Zulaufventil in den Hochbehälter geöffnet

und das Wasser läuft in den Behälter. Aufgrund des daraus folgenden Druckabfalls setzt die Pumpe ein und sorgt weiter für den notwendigen Transportdruck. Die Druckbehälter nach der Pumpe kompensieren dieses kurze Abfallen.

2.4. Konventionelles Verfahren zur Gewinnung von Trinkwasser

2.4.1. Stand der Technik

Ein ähnliches Projekt wurde gemäß dem aktuellen Stand der Technik nur 8 km entfernt in der Ortschaft Reit im Winkl realisiert.

Hierfür wurde eine Polyaluminiumchlorid-Dosieranlage eingebunden, die gegen einen statischen Mischer gefahren wird, um das Wasser vollständig mit Polyaluminiumchlorid zu versetzen. Danach wird eine Wirkstrecke durch mehr als die dreifache Leitungsgröße erweitert und vor der Ultrafiltrationsanlage wieder reduziert. Diese Strecke soll dazu führen, dass das Oxidationsmittel die organischen Verbindungen und Trübungen bindet, um sie für die Ultrafiltrationsanlage filtrierbar zu machen. Die darauf folgende Ultrafiltrationsanlage ist in Versorgungen mit Flockungs- und Fällungsmitteln heute Stand der Technik, da die filtrierten Stoffe über die Rückspülung wieder entfernt werden können, ohne dass Filterelemente getauscht werden müssen. Die Rückspülungen werden durch einen Reinwassertank und eine Rückspülpumpe (Zeitintervall 45min.) realisiert. Eine nachgeschaltete zertifizierte UVC-Desinfektionsanlage sorgt für die rechtlich zulässige mikrobiologische Aufbereitung (Desinfektion) lt. §11UBA und TrinkwV.

Klassische Aktivkohlefilter sind sehr platzintensiv und verkeimen leicht. Außerdem sind die Entsorgung der massiven Schüttungen, die Lagerung und der Transport nicht zeitgemäß.

2.4.2. Problemstellung

Auffällig bei der bestehenden Anlage ist, dass bei starken Wetterereignissen die Quellwasserversorgung auf Brunnen umgeschaltet wird, da die Anlage zu stark belastet werden könnte und daraus erhöhte chemische Spülungen anfallen, die zeit- und kostenintensiv sind. Die Umweltbelastung mit chemischen Mitteln würde weiter ansteigen. Beim Bau der neuen Trinkwasseraufbereitungs-Anlage war kein Kanalanschluss realisierbar. Aus diesem Grund musste ein Sickerwassertank mit Überlauf tank eingerichtet werden, um die Aluminiumverbindungen nicht einfach in den naheliegenden Bach einzuleiten. Der Klärschlamm muss in regelmäßigen Abständen abgesaugt und gegen Kosten in der entfernten Kläranlage aufbereitet werden.

Die Gegebenheiten führten bei diesem Konzept zu einem erhöhten Aufwand und enormen Kosten. Der Abtransport bei Schneelagen ist außerdem aufgrund der exponierten Lage schwierig.

2.5. Zielsetzung des Vorhabens

Ziel des beantragten Vorhabens ist es, zu zeigen, dass ohne Verbrauch von Chemikalien aus Quellwasser mit schwankendem Gehalt an Schwebstoffen Trinkwasser erzeugt werden kann. In einem von der DBU geförderten Forschungsvorhaben (Az. 27540-23) hat die audita Unternehmensberatung GmbH die Aufgabe der Koordination und deren Geschäftsführer Prof. Dr.-Ing. habil. Horst Chmiel die Betreuung von zwei an der Universität des Saarlandes durch geführte Studienarbeiten und einer Diplomarbeit übernommen. Ziel dieser Forschungsaktivitäten war es, organische und anorganische Schwebstoffe, wie sie beispielsweise in einem Seehundbecken im Zoo Saarbrücken auftreten (hier vor allem Algen), durch eine Kombination von in das Wasser eingetragener aufbereiteter Luft mit nachgeschalteter Filtration über eine keramische Flachmembran (mittlerer Porendurchmesser 100 nm) zu entfernen. Die Versuche führten u.a. zu folgenden Erkenntnissen.

- Aufbereitete Luft, in Rohwasser eingeblasen, führt als Folge der Aggregation von Schwebstoffen zu deren Fällung.
- Um die Sedimentation der Schwebstoffe zu erzielen, muss eine Beruhigungszone vorhanden sein.
- Verbleibende Schwebstoffe können durch Filtration an einer keramischen Flachmembran entfernt werden. Allerdings war die keramische Membran sehr kostenintensiv und mit einer mittleren Porenweite von 100 nm für sehr kleine Schwebstoffe noch zu grobporös.
- Das bei jeder Membranfiltration auftretende Membranfouling kann nachhaltig und mit überraschend geringem Energieaufwand unterdrückt werden.

2.6. Innovatives Verfahren zur Behandlung von Quellwasser mit dem Ziel der Trinkwassergewinnung

In einer Studie vor Ort (in alpinem Gebiet) soll geprüft werden, ob die Kombination von aufbereiteter Luft und Ultrafiltration (mit einer mittleren Porenweite von 50 nm) - unter Berücksichtigung der bisher gewonnenen Erkenntnisse – für die Wasserversorgungen mit Trinkwasser aus Quellwasser genutzt werden kann. Nach starken Regenfällen ist dies mit den bisherigen Verfahren nur eingeschränkt und unter Einsatz von erheblichen Mengen von Fällungsmitteln möglich. Letztere sind nicht nur wegen eventuell verbleibender Metallionen im Trinkwasser sondern auch wegen der damit verbunden Entsorgungsproblematik der gefällten Stoffe in die Diskussion geraten.



Abb. 0: Forschungsanlage mit Verfahrenstechnik und Analytik

3. Hauptteil:

3.1. Problemstellung:

Bei jedem stärkeren Niederschlag, der mit Trübung (NTU z.B. Partikel durch Oberflächenbelastung) durch organische und anorganische Verbindungen wie Eisen und Mangan einhergeht, steigt der transmembrane Druck. Durch zyklische Rückspülungen versucht man die transmembranen Drücke zu reduzieren. Wenn im Folgenden nichts anderes vermerkt ist wurde jeweils 1 h filtriert und 1 min. 40 sec. rückgespült. Diese Rückspülungen haben jedoch nur Einfluss auf Partikel und Makromoleküle, die sich auf der Membran ablagern. Die Verbindungen, die die Membran durchlaufen oder gar adsorbiert werden, können durch die Rückspülungen nicht entfernt werden. Auf die Quellwasserversorgung der Winklmoosalmen wirken hauptsächlich organischen Verbindungen, die zum Anstieg des transmembranen Drucks (TMP) führen. Durch Einsatz von Ozon soll dieser TMP-Anstieg weitestgehend unterdrückt werden. Dabei werden die organischen Verbindungen auf oxidiert und können die Barriere durchlaufen.

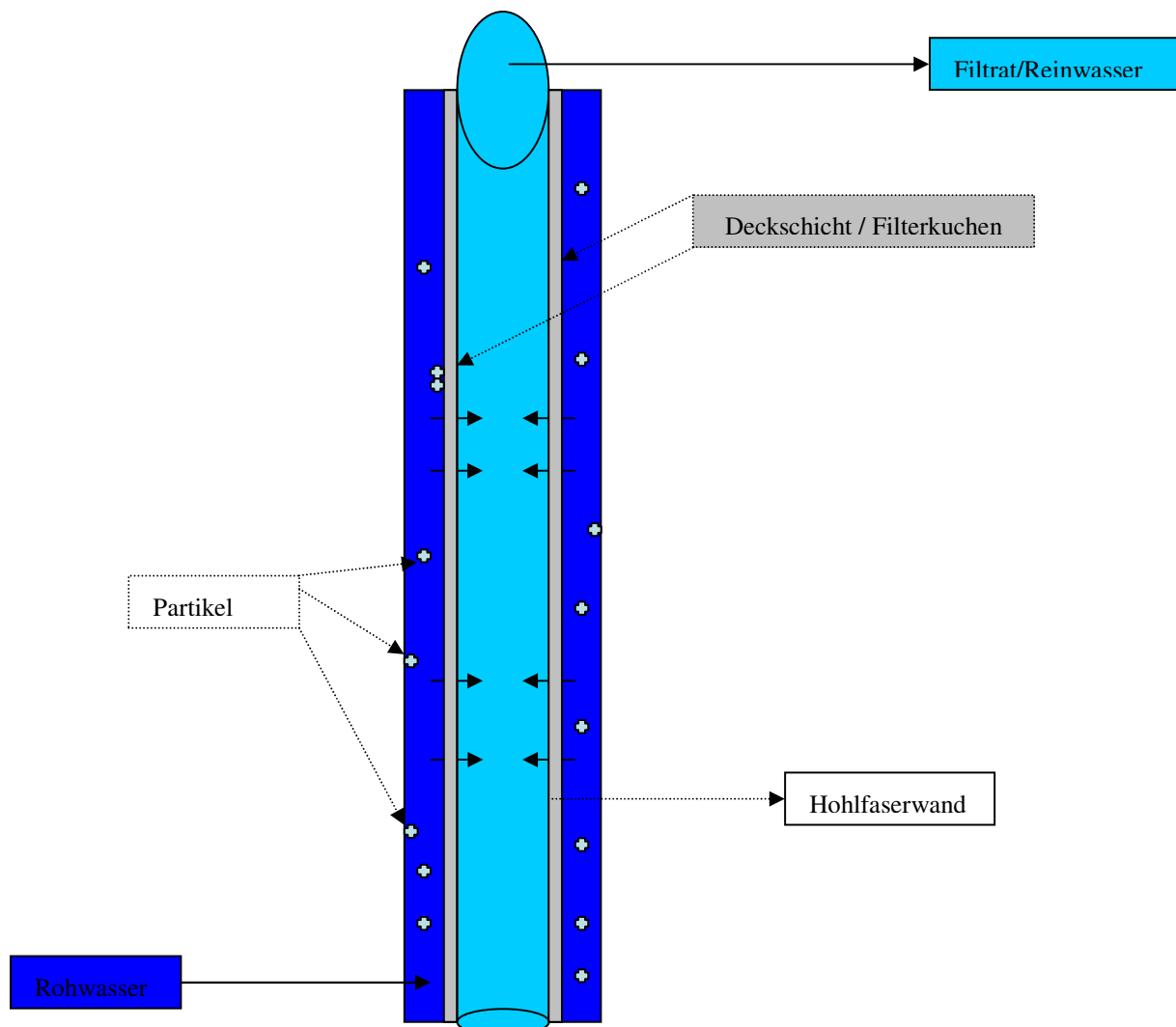


Abb. 1: Ablagerungen auf einer von außen nach innen mit Rohwasser durchströmten Hohlfasermembran

In Abb. 1 wird schematisch der Vorgang einer von außen nach innen durchströmten Hohl-faser (Out/In Membran) und deren Funktion erläutert. Dabei wird Rohwasser von außen an die Membran gefahren und nach innen in die Hohl-faser fil-triert. Es kommt zum Aufbau eines Filterkuchens, der durch die Rückspül-prozesse anfangs entfernt wird. Je nach Druck und Strömungsbedingung kann dieser Filterkuchen stark komprimiert werden (s. Abb. 2).

In Abb. 2 ist die verwendete PVDF-Membran mit einem mittleren Porendurch-messer von 50 nm, einem maximalen Porendurchmesser von 75 nm und einem kleinsten Porendurchmesser von 25 nm schematisch dargestellt.

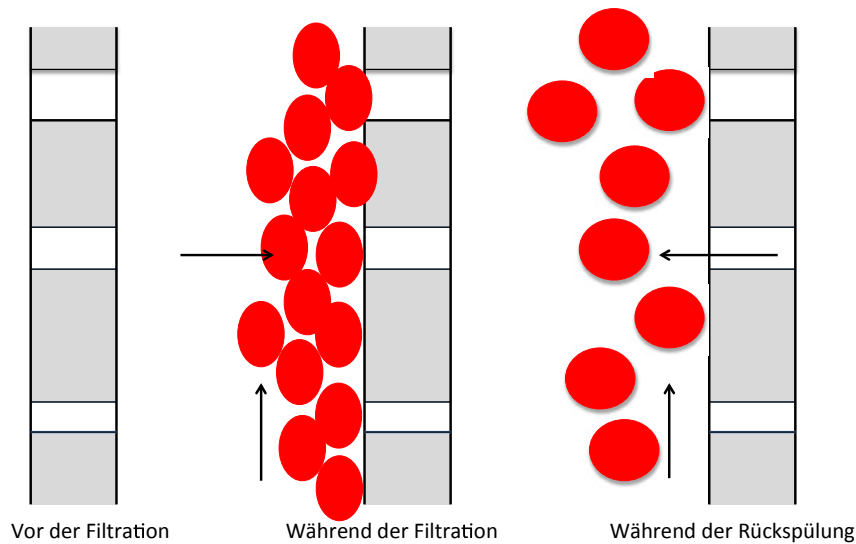


Abb. 2: Filtrations- und Rückspülvorgang

Mit zunehmender Filtrationsdauer adsorbieren aber auf der Membran und in den Poren zunehmend organische und anorganische Verunreinigungen. Dies ist in Abb. 3 schematisch dargestellt.

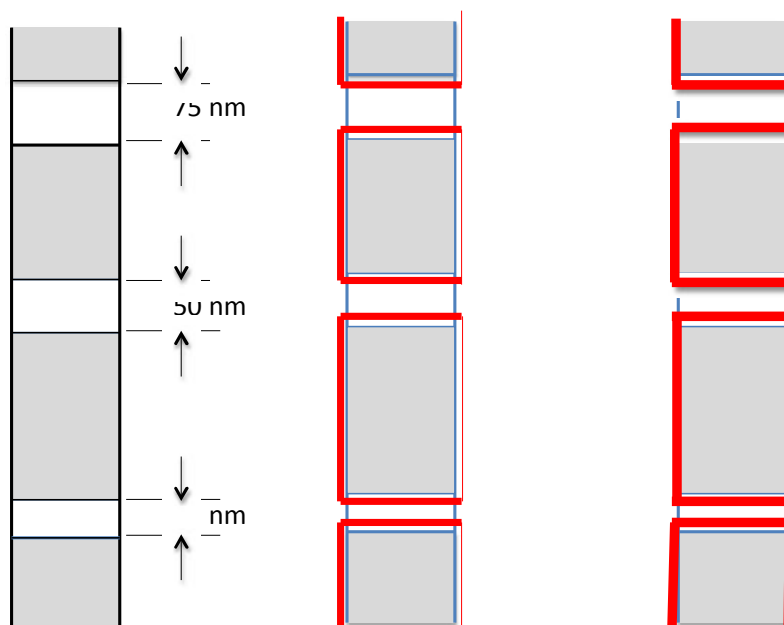


Abb. 3: Adsorptionsvorgänge als Funktion der Betriebsdauer

Geht man bei der verwendeten Membran davon aus, dass zu Beginn ein transmembraner Druck von 1 bar angelegt wird und zum Zeitpunkt t eine auch in den Poren adsorbierte gelartige Schicht von 2,5 nm angewachsen ist, so hat sich der mittlere Durchmesser der Pore um 10 % vermindert. Nach Hagen-Poiseuille bedeutet dies bei gleichem Fluss einen Druckanstieg um ca. 50 % auf 1,52 bar; d. h. auch die Permeabilität vermindert sich um rund 50 %.

Die Adsorption schreitet fort, denn sie kann durch Rückspülen mit reinem Wasser praktisch nicht entfernt werden. Ist zum Zeitpunkt $2t$ die adsorbierte Schicht auf 5 nm angewachsen, so hat sich der mittlere Porendurchmesser um 20 % vermindert. Bei gleichem Fluss ist der transmembrane Druck auf 2,44 bar, also um fast 150 % angestiegen. Gleichzeitig versagt auch der Mechanismus der Rückspülung weitgehend, weil nur durch die großen Poren ein nennenswerter Rückfluss stattfindet. Der Druckanstieg kann durch die zyklische Rückspülung nicht mehr verhindert werden, da diese keine Wirkung auf die in den Poren adsorbierten - vor allem organischen - Verbindungen hat. Die groben Verunreinigungen in Form von Partikeln werden durch die standardisierte Druckluft-Reinigung (Airs scrub) weitestgehend ausgespült.

Die organischen Verunreinigungen jedoch - legen sich wie ein Gel in den Membranporen ab und verengen deren Durchmesser (Abb. 3).

Wenn der transmembrane Druck den zulässigen Maximalwert erreicht hat, muss die Membran gereinigt werden.

Hierfür muss eine chemische Reinigung des Moduls durchgeführt werden.

Die Häufigkeit der chemischen Reinigung hängt von der zuvor genannten Menge der Verunreinigung, der Flächenbelastung, der benötigten Wassermenge und der Witterungsereignisse ab.

Die chemischen Reinigungen werden in drei bis vier Schritten durchgeführt.

Diese können je nach Art der Verunreinigung (organisch oder anorganisch) unterschiedlich ausfallen.

Bei organischen Verunreinigungen werden Schritt für Schritt Natron, Chlor, Natron und zur Enddesinfektion H_2O_2 (Wasserstoffperoxid) oder Chlor angewendet. Diese Chemikalien werden im Kreislauf über das Modul so lange rezirkuliert bis das Modul den vorgegebenen TMP (transmembranen Druck) hat.

Damit die Reinigungen schnell von statten geht, müssen diese Lösungen erwärmt werden (van-'t-Hoff'sche Regel oder RGT-Regel). Dabei werden nicht nur die Chemikalien verbraucht und nach der Anwendung neutralisiert, sondern es wird auch noch Energie benötigt um diese Lösungen zu erwärmen.

Je nach Verlegegrad der Membranen kann eine solche Reinigung bis zu 24 Std. und länger dauern.

In den Abb. 4 und 5 ist die Abhängigkeit der Trübung (NTU) auf den transmembranen Druck dargestellt. Dabei erkennt man, dass die Niederschläge mit einer Zeitverzögerung von ca. einem Tag auf die Quelle einwirken.

Bei jedem stärkeren Niederschlag, der mit Trübung (z. B. Partikel durch Oberflächenbelastung), sowie organischen und anorganischen Verbindungen wie Eisen und Mangan einhergeht, steigt der transmembrane Druck.

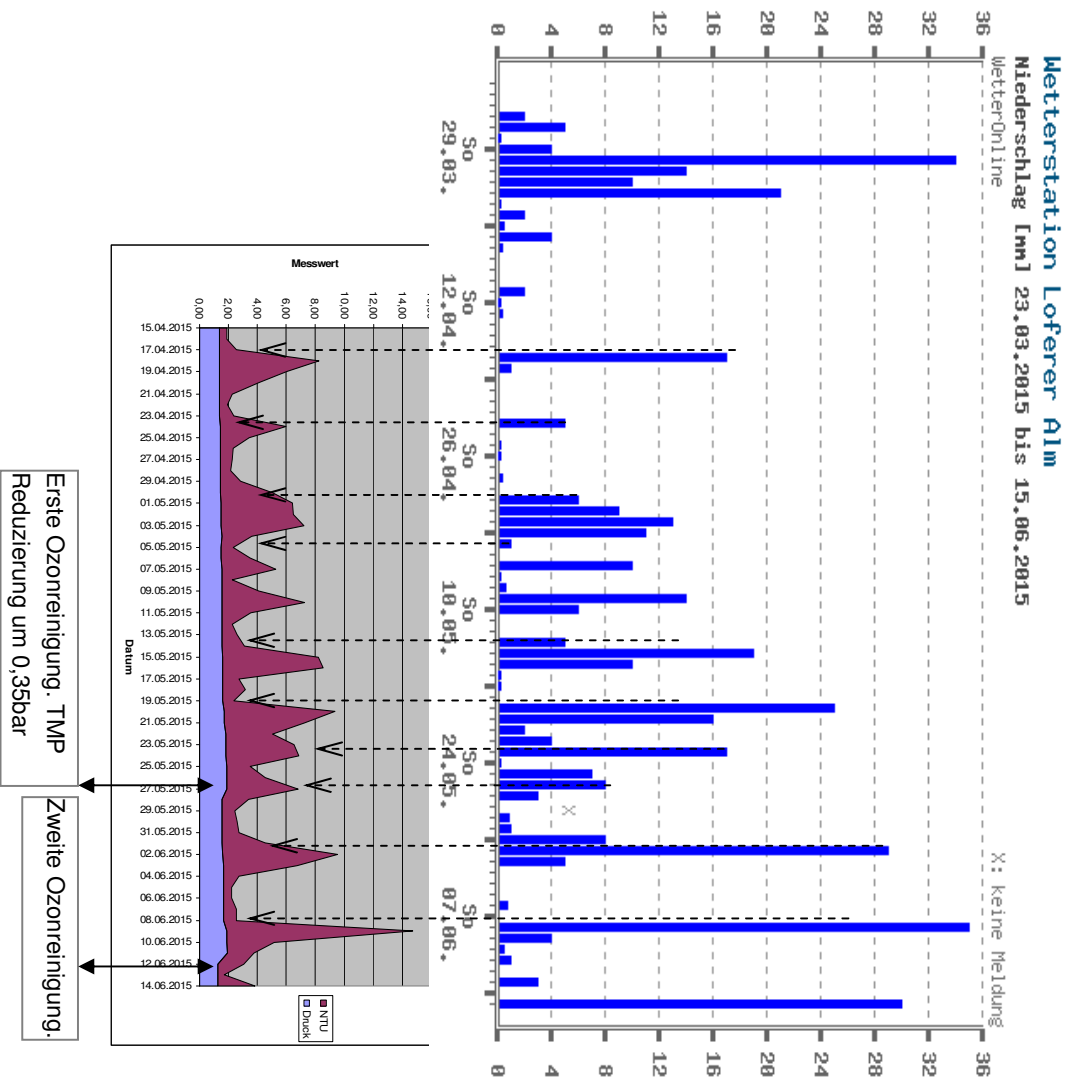


Abb. 4: Tribungswerte in Abhängigkeit der Niederschläge

Wetterstation Loferer Alm

Niederschlag [mm] 23.03.2015 bis 15.06.2015

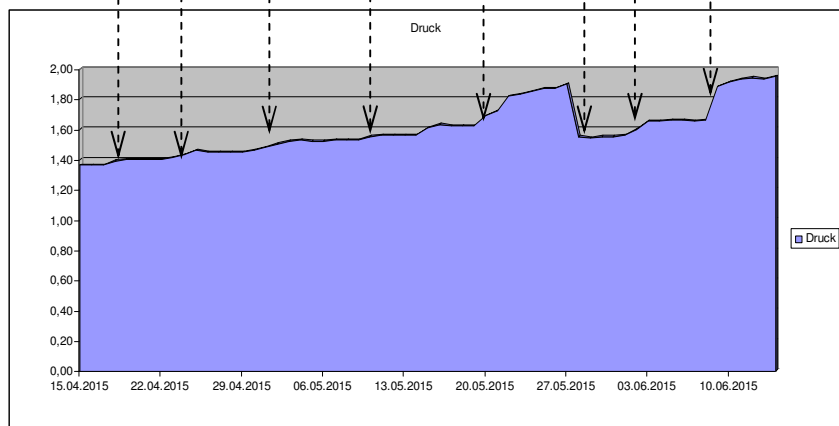
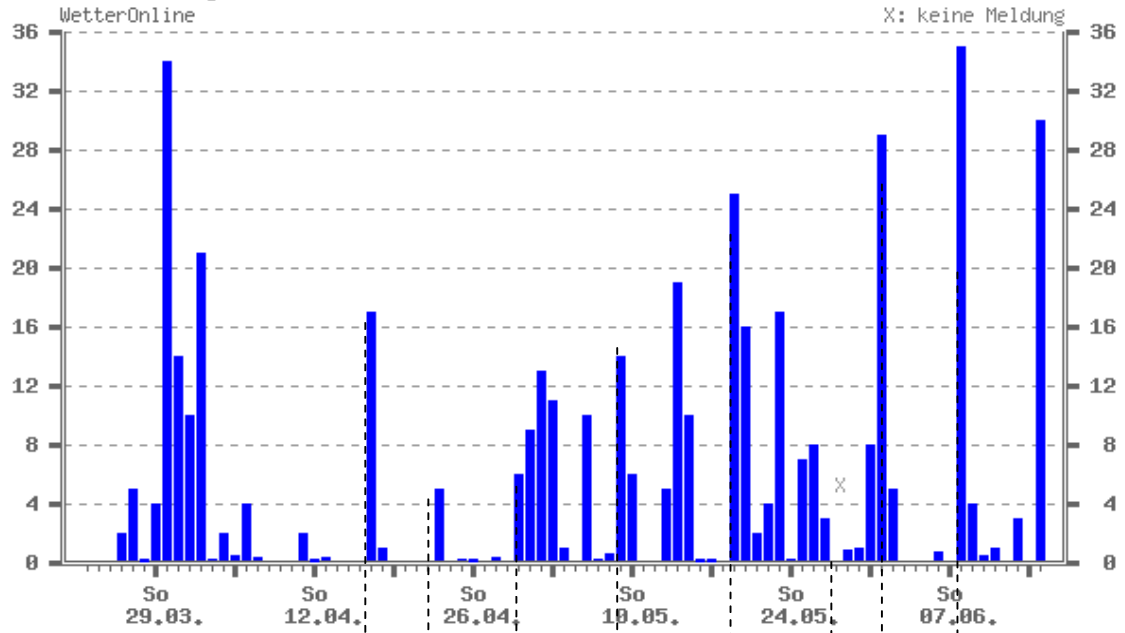


Abb. 5: Transmembraner Druck in Abhängigkeit zu Niederschlägen

Datum	Druck	NTU	Permeabilität	Datum	Druck	NTU	Permeabilität
15.04.2015	1,36	0,523	72,289	16.05.2015	1,63	6,881	54,545
16.04.2015	1,36	0,533	72,289	17.05.2015	1,62	1,096	55,046
17.04.2015	1,36	1,206	72,289	18.05.2015	1,62	1,546	55,046
18.04.2015	1,39	6,854	69,767	19.05.2015	1,62	0,746	55,046
19.04.2015	1,40	4,608	68,966	20.05.2015	1,69	7,653	51,724
20.04.2015	1,40	2,673	68,966	21.05.2015	1,72	5,507	50,420
21.04.2015	1,40	0,879	68,966	22.05.2015	1,82	3,225	46,512
22.04.2015	1,40	0,551	68,966	23.05.2015	1,83	4,681	46,154
23.04.2015	1,41	0,987	68,182	24.05.2015	1,85	4,992	45,455
24.04.2015	1,43	4,563	66,667	25.05.2015	1,87	1,601	44,776
25.04.2015	1,46	1,968	64,516	26.05.2015	1,87	2,689	44,776
26.04.2015	1,45	0,865	65,217	27.05.2015	1,90	4,928	43,796
27.04.2015	1,45	0,798	65,217	28.05.2015	1,55	1,809	58,824
28.04.2015	1,45	0,723	65,217	29.05.2015	1,54	0,882	59,406
29.04.2015	1,45	1,381	65,217	30.05.2015	1,55	1,025	58,824
30.04.2015	1,46	3,591	64,516	31.05.2015	1,55	1,182	58,824
01.05.2015	1,48	4,956	63,158	01.06.2015	1,56	2,980	58,252
02.05.2015	1,50	4,998	61,856	02.06.2015	1,60	7,905	56,075
03.05.2015	1,52	5,673	60,606	03.06.2015	1,65	5,081	53,571
04.05.2015	1,53	2,089	60,000	04.06.2015	1,65	1,053	53,571
05.05.2015	1,52	0,819	60,606	05.06.2015	1,66	0,576	53,097
06.05.2015	1,52	1,960	60,606	06.06.2015	1,66	0,556	53,097
07.05.2015	1,53	3,708	60,000	07.06.2015	1,65	0,876	53,571
08.05.2015	1,53	0,759	60,000	08.06.2015	1,66	0,886	53,097
09.05.2015	1,53	2,577	60,000	09.06.2015	1,88	12,852	44,444
10.05.2015	1,55	5,693	58,824	10.06.2015	1,91	3,256	43,478
11.05.2015	1,56	1,967	58,252	11.06.2015	1,93	1,856	42,857
12.05.2015	1,56	0,698	58,252	12.06.2015	1,94	1,811	42,553
13.05.2015	1,56	1,028	58,252	13.06.2015	1,93	0,469	42,857
14.05.2015	1,56	1,563	58,252	14.06.2015	1,95	2,550	42,254
15.05.2015	1,61	6,558	55,556				

Tab. 1: Gemessene Werte während der dargestellten Niederschlagszeit:

3.2. Rohwasserozonierung

3.2.1 Rohwasserozonierung unter Betrieb einer verlegten Membran Teil 1 vom 11.03.2015

Bei der Versuchsanordnung ging es um den Eintrag von Ozon in das Rohwasser mittels Venturidüsen und deren Verhalten zur Lösung des eingetragenen Luftgemisches über den Ozonator. Dabei wurde untersucht, unter welchen Bedingungen das Lösungsverhältnis besser zum Eintrag ist.

Die Versuchsanordnung war wie folgt aufgebaut:

Ozongenerator: 2g/h bei Luft (20,9% Vol. Sauerstoff)

Venturidüsen 0,6nm³/h, 1,2nm³/h, 2,6nm³/h

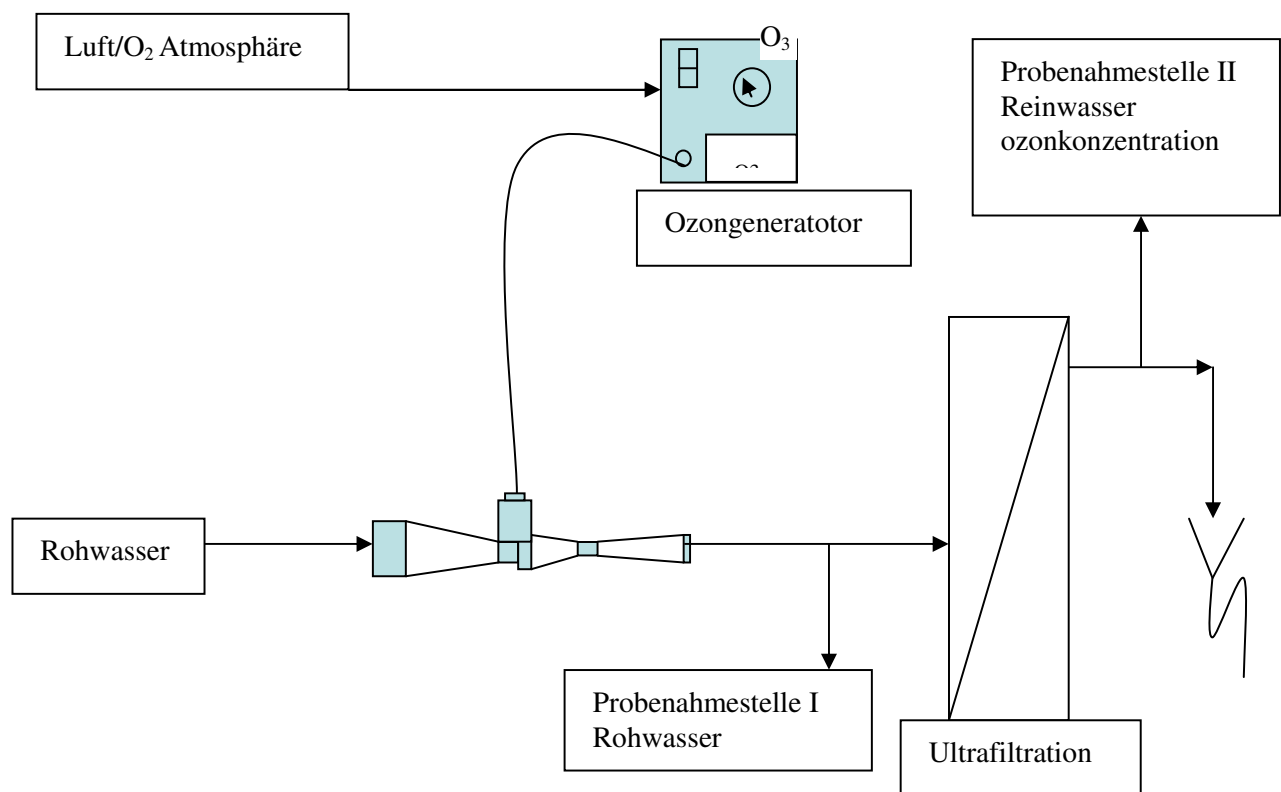


Abb. 6. Fließbild der Versuchsanordnung zum Eintrag von Ozon/Luftgemisch in das Rohwasser

Es sollte geprüft werden, ob mittels Eintrag von Ozon in das Rohwasser, die transmembranen Drücke reduziert werden können und, ob die Permeabilität dadurch gesteigert werden kann.

Es wurde davon ausgegangen, dass die Durchlässigkeit der Membran dadurch gesteigert werden kann. Dabei sollten gleichzeitig die in den kleinen Poren sitzenden organischen Verbindungen aufoxidiert werden, was den transmembranen Druck reduzieren sollte.

Die Umwandlung des in der atmosphärischen Luft vorhandenen Sauerstoffs einerseits und technischen Sauerstoffs andererseits zu O_3 wurde über das Ozonierungssystem realisiert. Dabei wurde ein Laborozonator mit einer Ozonleistung von 2g/h atmosphärisch und 10g/h bei technischem Sauerstoff verwendet.

Bei der ersten Versuchsanordnung war der durchschnittliche Sauerstoffanteil bei der O_3 Produktion typische 20,9 Vol% atmosphärisch.

Das Gasmischung wurde über diverse Venturidüsen eingebracht. Der Volumenstrom lag bei $6m^3/h$, was die typische Pumpenleistung der Wasserversorgung Winklmoosalmen entspricht.

Während einer Einlaufphase von 60 Minuten wurde schon der transmembrane Druck um 0,13bar erhöht.

Die Versuchsanordnung zeigte auch im weiteren Betrieb eine Zunahme des transmembranen Drucks. Dieser stieg kontinuierlich in der Versuchsanordnung an.

Der maximale Vordruck von 2,48bar wurde in 3 Stunden erreicht und der Test wurde aufgrund der Membransicherheit abgebrochen. Dabei wurde berücksichtigt, dass die Deckschichten so stark komprimiert werden, dass ein Freispülen unmöglich wird. Der zeitliche Verlauf von NTU, TMP und Ozonkonzentration ist in Abb. 7 dargestellt.

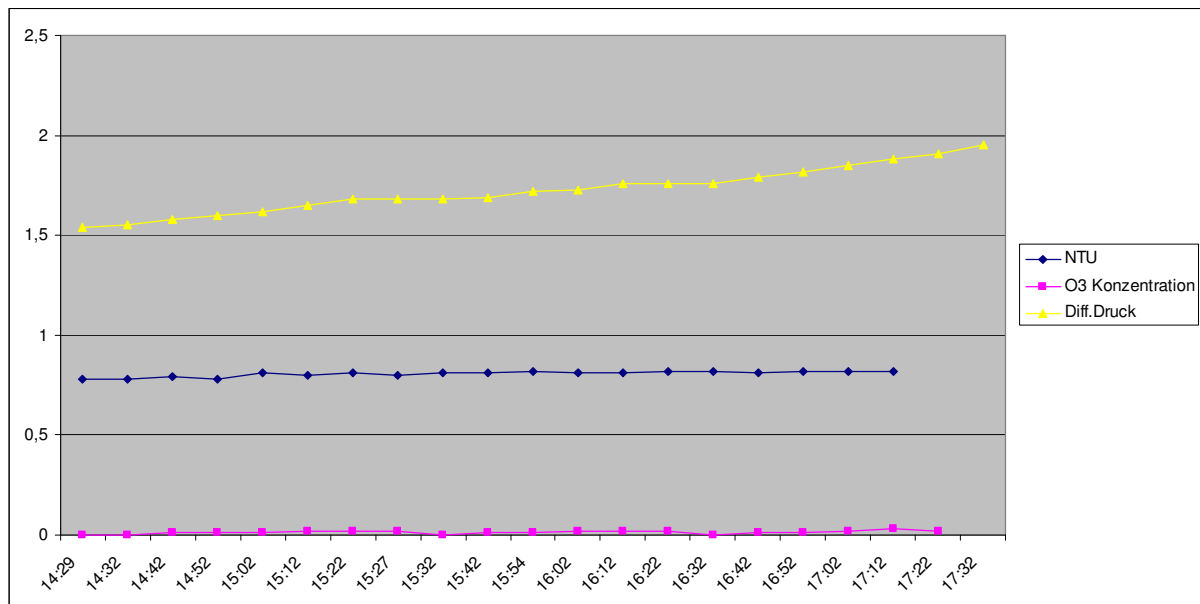


Abb. 7 Zeitlicher Verlauf von NTU, TMP und Ozonkonzentration auf der Feedseite

3.2.1.1. Ergebnis

Die Eintragung des Ozons in das Rohwasser hat zum Anstieg des TMP in der Membran geführt. Dabei stieg der transmembrane Druck bei Erhöhung der Ozonkonzentration im letzten Drittel der Versuchsanordnung. Diese war jedoch so minimal, dass eine Aussage über dessen Wirkung nicht zu treffen ist.

Die gemessenen Ozonkonzentrationen im Filtrat (Reinwasser) waren unterhalb der Nachweisgrenze. Zu den einzelnen Venturidüsen gab es bzgl. der Lösungseigenschaften daher keine Rückschlüsse. Die maximal gemessenen Ozonkonzentrationen im Rohwasser lagen während der Versuchsanordnung bei 0,03g/l, bei der Venturidüse mit 0,6Nm³/h. Die größeren Venturidüsen zeigten schlechtere Eigenschaften als die, mit kleinen Saugmengen. Es ist davon auszugehen, dass die Ozonkonzentration zu gering war. Es wurde eine Sauerstoffflasche benötigt um mehr Ozon in das Rohwasser einzutragen. Dadurch konnte die Ozonproduktion von 2g/h auf 10g/h erhöht werden.

3.2.2. Ozonoptimierung und Anpassung des Lösungsverhaltens vom 14.03.2015

Bei der Versuchsanordnung ging es um die Eintragung in das Rohwasser mittels Venturidüsen und deren Verhalten zur Lösung des eingetragenen Gasgemisches über den Ozonator.

Es wurde der Anschluss von technischem Sauerstoff vorgenommen, um gegenüber der Versuchsanordnung vom 11.03.2015 mehr Ozon lösen zu können.

Die Versuchsanordnung war wie folgt aufgebaut und in Abb. 8 schematisch dargestellt:

Ozongenerator: 10g/h bei technischem Sauerstoff 99,6%

Venturidüsen 0,6Nm³/h, 1,2Nm³/h

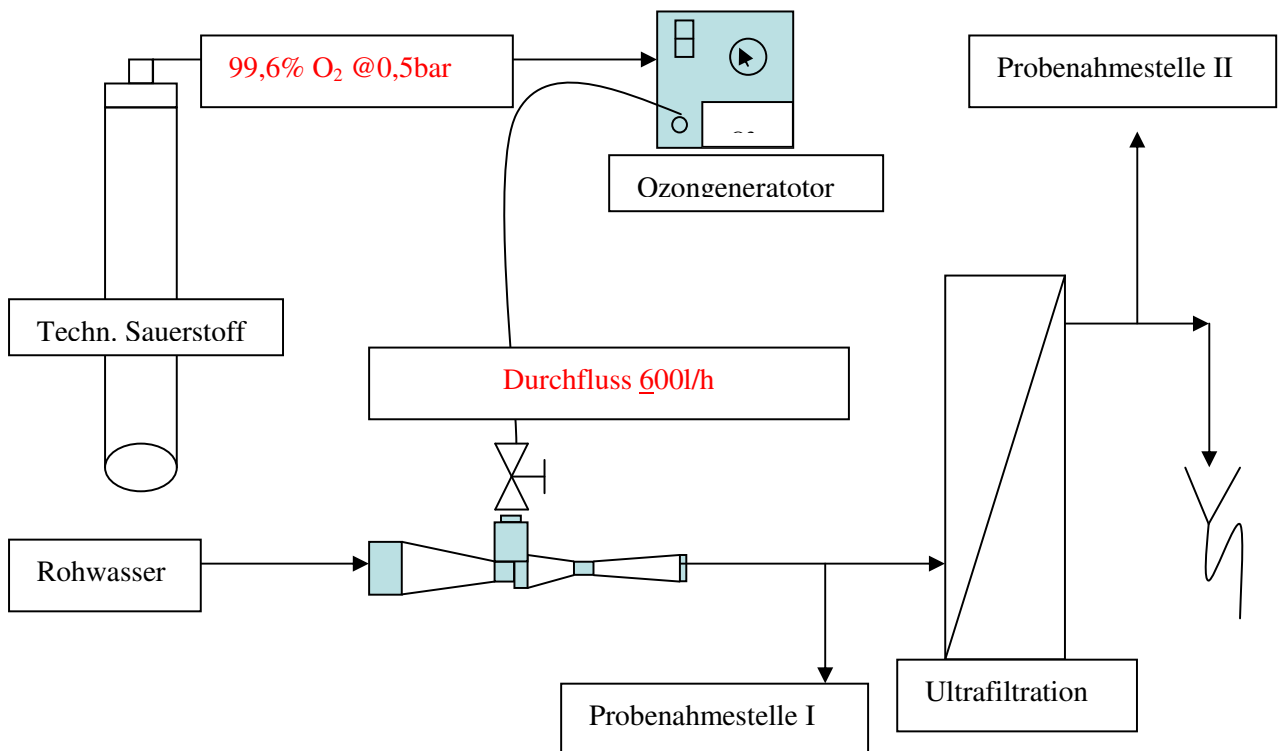


Abb. 8 Fließbild der Versuchsanordnung zur Ozonierung des Rohwassers unter Verwendung technischen Sauerstoffs

Es sollte untersucht werden, ob mittels Eintrag von Ozon in das Rohwasser, die transmembranen Drücke reduziert werden können und die Permeabilität dadurch gesteigert werden kann.

Es wurde davon ausgegangen, dass die Durchlässigkeit der Membran dadurch gesteigert werden kann. Dabei sollten gleichzeitig die in den kleinen Poren sitzenden organischen Verbindungen auf oxidiert werden, was den transmembranen Druck reduziert.

Die Umwandlung des technischen Sauerstoffs von O₂ zu O₃ wurde über das Ozonierungssystem realisiert.

Dabei war der durchschnittliche Sauerstoffanteil bei der O₃ Produktion 99,6%, der von typische technischen Sauerstoff. Die Produktionsleistung sollte 10g/h betragen.

Das Gasgemisch wurde über zwei unterschiedliche Venturidüsen eingebracht 0,6Nm³/h und 1,2Nm³/h.

Der Volumenstrom lag bei 6m³/h, was die nominale Dauerproduktion der Wasserversorgung Winklmoosalmen entspricht.

Während einer Einlaufphase von 60 Minuten wurde noch zu wenig Ozon produziert. Der Versuchsaufbau ist in Abb. 9 dargestellt.

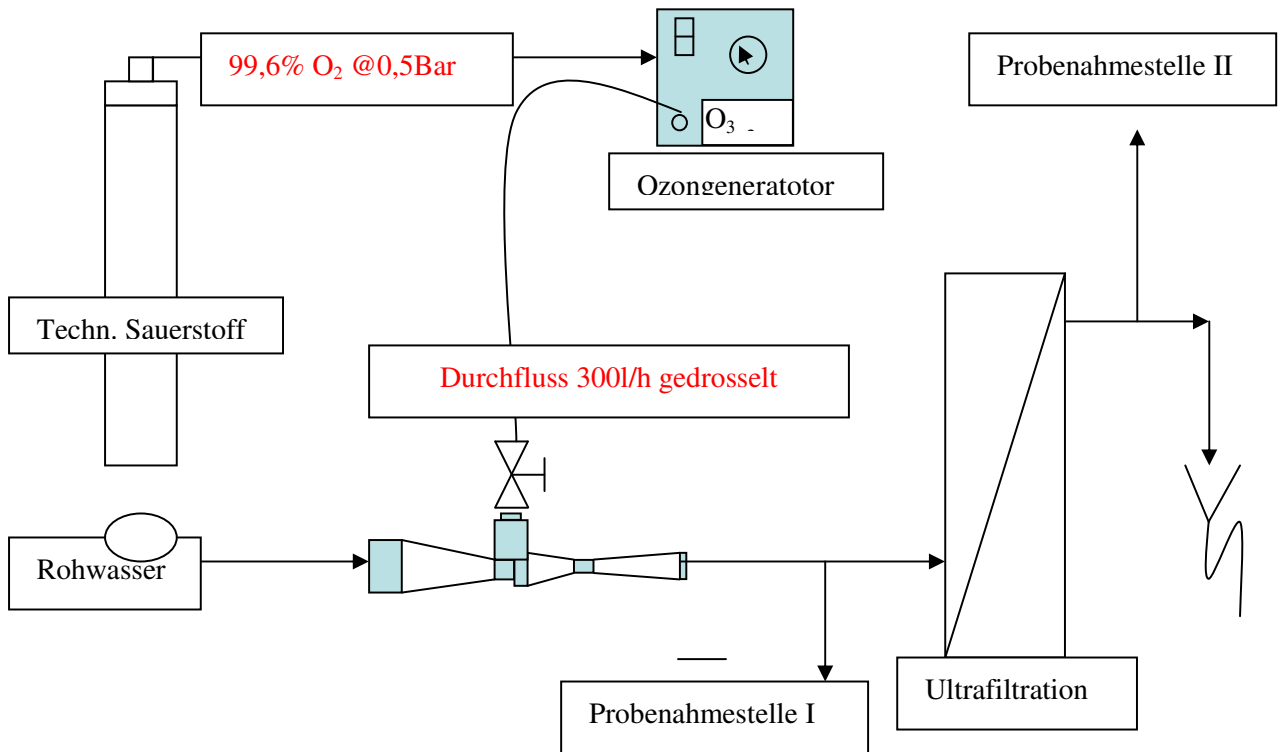


Abb. 9 Fließbild der Versuchsanlage zur Ozonierung des Rohwassers unter Verwendung technischen Sauerstoffs. Durchfluss auf 300l/h gedrosselt

Der Eintrag in das Rohwasser gestaltete sich schwierig, da die gemessenen Ozonkonzentrationen von $0,5\text{g/m}^3$ nicht erreicht wurden. Dies ist auf Lösungs- und Produktionsprobleme zurück zu führen. Die Versuchsanordnung wurde aufgrund der Lösungsprobleme abgebrochen.

Im weiteren Verlauf wurde die Sauerstoffmenge erhöht. Da auch dies keinen Effekt brachte, wurde nach Rücksprache mit dem Hersteller die Saugseite der Venturidüsen eingedrosselt, was den Druck auf den Ozon produzierenden Zylinder reduzierte. Dabei wurde die Saugmenge auf ca. $0,3\text{Nm}^3/\text{h}$ eingestellt, was die Ozonproduktion steigen lies.

Nach den Eindrosselarbeiten wurde eine Konzentration von $0,65\text{g/m}^3$ erreicht, was eine Weiterführung des Versuchs ermöglicht hat.

3.2.3. Rohwasserozonierung unter Betrieb einer verlegten Membran Teil II vom 18.03.2015

Wiederholung des Versuchs vom 14.03.2015

Eintrag von 0,5g Ozon/m³ Wasser in das Rohwasser vor der Membrantrennanlage. Die Membran hatte vor der Versuchsanordnung einen TMP von 2,48bar Differenzdruck.

Es wurde der Anschluss von technischem Sauerstoff vorgenommen, um gegenüber der Versuchsanordnung vom 11.03.2015 mehr Ozon lösen zu können.

Die Versuchsanordnung war wie folgt aufgebaut und in Abb. 8 schematisch dargestellt:

Ozongenerator: 10g/h bei technischem Sauerstoff = 99,6% Vol. O₂

Venturidüsen von 600l/h auf 300l/h reduziert.

Es wurde untersucht, ob mittels Eintrag von Ozon in das Rohwasser die transmembranen Drücke reduziert werden können. Dabei wurde davon ausgegangen, dass die Durchlässigkeit der Membran dadurch gesteigert werden kann, dass die in den kleinen Poren sitzenden organischen Verbindungen aufoxidiert worden sind, was den transmembranen Druck reduzieren sollte. Die Ozonproduktion wurde in die Hauptleitung eingetragen. Hierzu wurde technischer Sauerstoff verwendet. Dabei war der durchschnittliche Sauerstoffanteil bei der O₃ Produktion 99,6% - die Menge von typisch technischem Sauerstoff. Die Ozonproduktionsleistung sollte 10g/h betragen.

Das Gasgemisch wurde über eine 0,6Nm³/h Venturidüse eingebracht. Weiter wurde die Ansaugmenge auf 0,3Nm³/h gedrosselt, um den Druck von der Ozon produzierenden Röhre zu nehmen.

Der Volumenstrom lag bei 6m³/h, was die nominale Dauerproduktion der Wasserversorgung Winklmoosalmen entspricht.

Während einer Einlaufphase von 20 Minuten wurden bereits 0,56g/m³ Ozon Rohwasserseitig produziert. Das Wasser während der Einlaufphase wurde verworfen und nicht auf die Membran gefahren. Der zeitliche Verlauf von NTU, TMP und Ozonkonzentration ist in Abb. 10 dargestellt.

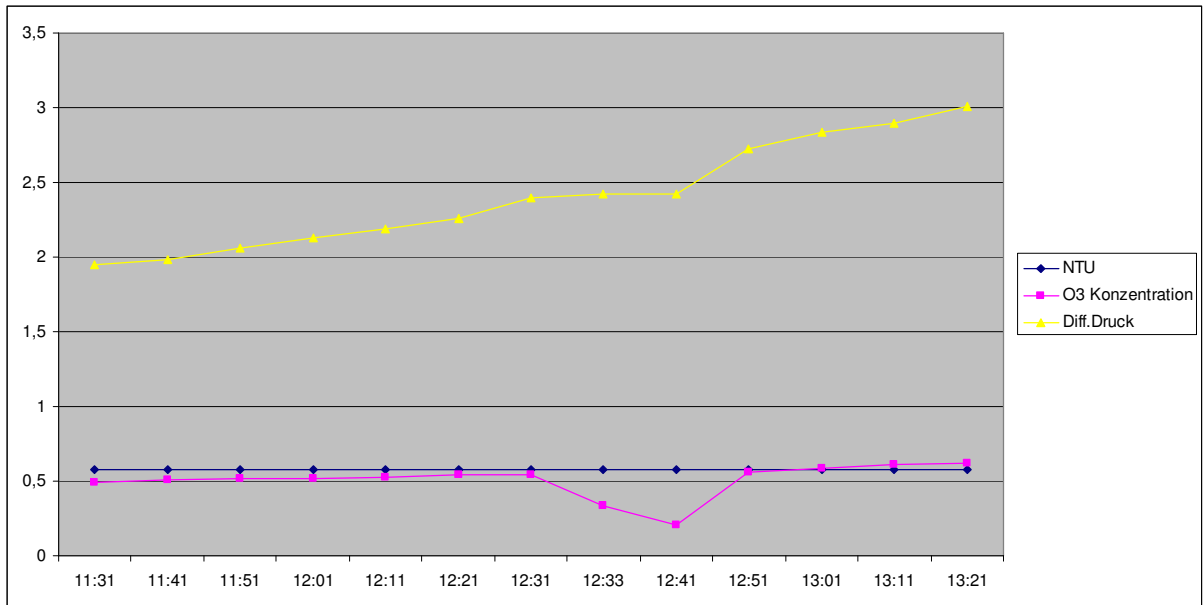


Abb. 10 Zeitlicher Verlauf von NTU, TMP und Ozonkonzentration im Rohwasser bei Eintrag von ca. 10 g O₃/h

3.2.3.1. Ergebnis

Nach 10 Minuten Rohwasserbeschickung stieg der TMP um 0,02bar an. Im weiteren Verlauf stieg der transmembrane Druck kontinuierlich, bis der max. zulässige TMP (lt. Herstellervorgaben 3bar) erreicht wurde. Der maximal Differenz-Druck wurde nach 160 Minuten erreicht. Der Versuch wurde aus Membransicherheitsgründen abgebrochen. Die gemessenen Ozonkonzentrationen im Reinwasser/Filtrat lagen während der Versuchsanordnung immer unter 0,2g/m³.

3.2.4. Rohwasserozonierung unter Betrieb einer sauberen Membran vom 30.03.2015

Die saubere Membran zeigt zu Versuchsbeginn einen Differenzdruck von 0,6bar, was bei $6 \text{ m}^3/\text{h}$ einer Permeabilität von $90,0 \text{ l/m}^2\text{hbar}$ entspricht.

Die Versuchsanordnung ist identisch mit derjenigen von Abb. 9.

Ozongenerator: 10g/h bei technischem Sauerstoff = 99,6% Vol. O₂

Venturidüsen 600l/h, gedrosselt auf 300l/h

Ziel war, die transmembranen Drücke durch den Eintrag von Ozon in das Rohwasser zu reduzieren. Dabei sollten 0,5g Ozon pro Kubikmeter Wasser gelöst werden, die die in den kleinen Poren sitzenden organischen Verbindungen aufoxidieren und den transmembranen Druck reduzieren sollten.

Das Ozon wurde in die Hauptleitung eingetragen. Es wurde zur Ozonproduktion technischer Sauerstoff verwendet.

Dabei war der durchschnittliche Sauerstoffanteil bei der O₃-Produktion 99,6% - die Menge von technischem Sauerstoff. Die Ozonproduktionsleistung sollte 10g/h betragen.

Das Gasgemisch wurde über eine Venturidüse eingebracht. Die Ansaugmenge wurde auf $0,3 \text{ Nm}^3/\text{h}$ gedrosselt, um den Druck von der Ozon produzierenden Röhre zu nehmen (s. Versuchsanordnung vom 14.03.2015). Der Volumenstrom lag bei $6 \text{ m}^3/\text{h}$, was die nominale Dauerproduktion der Wasserversorgung Winklmoosalmen entspricht.

Während einer Einlaufphase von 60 Minuten wurden schon $0,56 \text{ g/m}^3$ Ozon Rohwasserseitig produziert. Das Wasser während der Einlaufphase wurde verworfen und nicht auf die Membran gefahren. In Abb. 11 sind der zeitliche Verlauf von NTU, TMP und Ozonkonzentration in Rohwasser aufgetragen.

O₃ Konzentration im Rohwasser vor der Membran = $0,46 \text{ g/m}^3$ Wasser bei einem TMP von 0,66bar

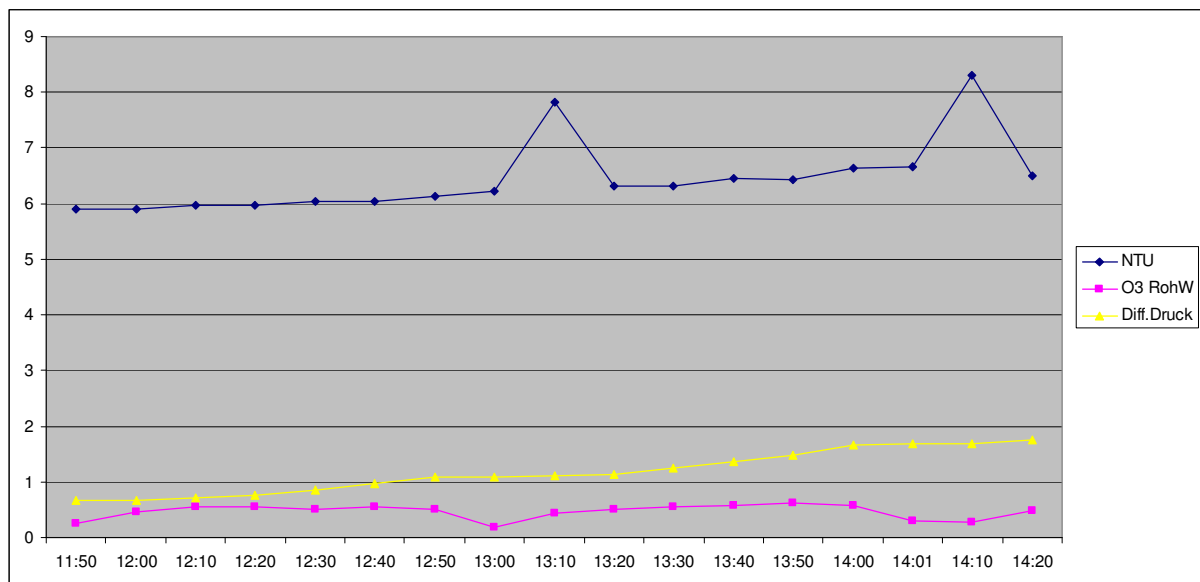


Abb. 11: Zeitlicher Verlauf von NTU, TMP und Ozonkonzentration für eine vor Versuchsbeginn gereinigte Membran

Im weiteren Verlauf stieg der transmembrane Druck kontinuierlich. Aufgrund der zuvor durchgeführten Versuchsanordnung vom 18.03. und der darauf folgenden Reinigungsprobleme wurde während der Versuchsdurchführung entschieden, dass der max. zulässige Differenzdruck von 3bar absolut unter Ozonbeschickung für die Membran schädlich sein könnte. Der Versuch wurde daher bei Erreichen von einem TMP von 2,25bar absolut abgebrochen. Die gemessenen Ozonkonzentrationen im Reinwasser/Filtrat lagen während der Versuchsanordnung immer unter $0,4\text{g/m}^3$, bei einem Rohwassereintrag von bis zu $0,62\text{g Ozon/m}^3$ Wasser. Der Versuch wurde daher zur Membransicherung abgebrochen.

3.2.4.1. Ergebnis

Das Ozon findet im Rohwasser sehr viele Reaktanden wie Trübung, Mikroorganismen, Kolloide und andere organische Frachten. Diese zehren das Ozon weitestgehend auf. Die Mikroorganismen werden z.T. lysiert und ihre Inhaltsstoffe (insbesondere Makromoleküle), die ein hohes Foulingpotential haben, werden freigesetzt. Dabei werden die zuvor genannten Verbindungen zusätzlich anoxidiert und die Molekülgröße reduziert. Die nun kleineren Verbindungen können jetzt leichter in die Poren gelangen und dort adsorbieren, was den zu erwarteten Effekt umkehrt. Bei gleichem Fluss steigt der transmembrane Druck drastisch an. Man spricht auch von einem Verblocken der Membran (s. Abb. 12).

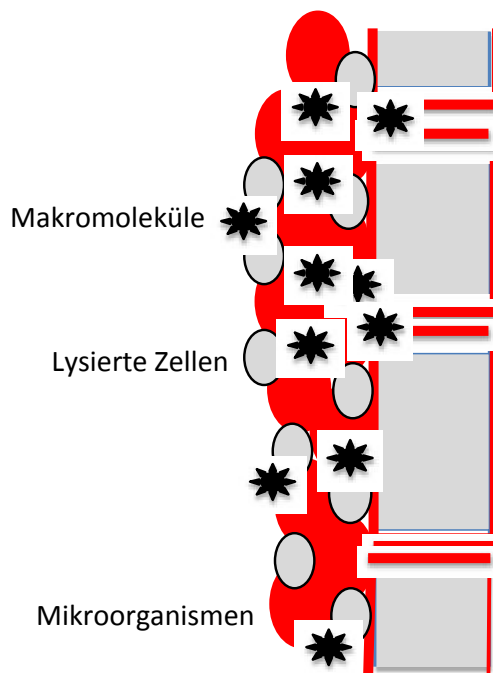


Abb. 12 Verblockung einer Membran durch Mikroorganismen, lysierten Zellen und Makromolekülen nach Eintrag von Ozon auf der Rohwasserseite

Man muss also feststellen, dass der Eintrag von Ozon auf der Rohwasserseite zu vermeiden ist. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass bei eben genannter Versuchsanordnung ein extrem hoher Trübungswert und somit höhere Frachten die Membran schneller verblockt haben. Auch wurde dadurch schneller ein Filterkuchen aufgebaut, der zusätzlich das vorhandene Ozon reduziert und eine Reinigung der Membran unmöglich macht, da dafür zu wenig Ozon zur Verfügung steht. Der Rückspülprozess mittels Luft-Wasser-Gemisch blieb auch in dieser Versuchsanordnung erfolglos, d.h. der aufgebaute TMP konnte mittels Rückspülung nicht mehr reduziert werden.

3.2.5. Fazit:

Eine Ozonierung mit $0,5 \text{ g/m}^3$ im Rohwasser kann keine Membran während des Betriebs freihalten. Die Versuchsergebnisse zeigen das Gegenteil an. Das eingetragene Ozon findet im Rohwasser sehr viele reaktive Produkte, die es reduzieren. Dabei werden Partikel, Bakterien und organische Frachten so weit anoxidiert, dass diese die Membran eher verblocken als durchlaufen; es wird die Deckschicht massiv gegen die Poren gedrückt und somit komprimiert. Es zeigt sich, dass die mit größeren Frachten belasteten Membranen besser mittels Luft-Wasser-Gemisch gereinigt werden können als durch Eintrag von Ozon im Rohwasser.

Zum Freihalten der Membran werden wesentlich höhere Ozonkonzentrationen benötigt, die auch die anoxidierten Verbindungen so weit reduzieren, dass diese die Membran durchlaufen können. Dabei müsste der Fracht entsprechend das Ozon angeglichen werden, was einen hohen technischen Aufwand darstellt. Es wird davon ausgegangen, dass hierfür Ozonkonzentrationen von bis zu 1 g/l notwendig sind. Auch muss man fragen, welche Funktion die Membran dann noch hat, da sie zum Rückhalt eingesetzt wird und nicht zum Passieren aller Verunreinigungen.

Weiter ist die Wirtschaftlichkeit in Frage gestellt. Das Ozon müsste aufwendig via PSA (Sauerstoffanreicherung mittels Adsorption von Stickstoff) und Ozongeneratoren produziert, mittels Venturidüsen eingebracht und später aufwendig wieder zerstört werden. Dieser Umstand macht eine Weiterführung der Rohwasserozonierung nicht sinnvoll. Auch schafft die verwendete Anlage keine höheren Konzentrationen als 10 g/h .

Aufgrund der hohen Ozonmenge, die dazu benötigt würde um die Membran frei zu spülen - wird dieses Verfahren für die Trinkwassergewinnung nicht in Frage kommen. Der zulässige Grenzwertbereich im Trinkwasser von $10 \text{ mg O}_3/\text{l}$ Wasser würde sehr schnell erreicht werden. Auch würde die Restozonzerstörung zu viel Aufwand und Energie verschwenden.

Bei extrem hohen Frachten mit größeren, partikular vorliegenden Kolloiden und extrem hohen organischen Anteilen, die die Membran zusetzen könnten, dürfte eine Erhöhung der Rohwasser-Ozon-Konzentrationen den gewünschten Effekt bringen. Dies müsste jedoch in einem zweiten Verfahren untersucht werden.

Das Forschungsobjekt Winklmoos eignet sich nicht für diese Aufgabenstellung, da solch hohe Frachten dort eher selten auftreten.

3.3. Reinigung einer verblockten Membran am 30.03.2015

Es wurde versucht eine verblockte Membran durch Kreislaufspülung auf der Rohwasserseite unter Einsatz von Ozon und Chemikalien und anschließender Rückspülung zu reinigen.

Die Rezirkulation wurde mit ca. 12-14 Stunden angesetzt. Es wurde in einem Chemikalien Tank Wasser mittels Venturidüsen mit Ozon aufkonzentriert. Im weiteren Verlauf wurde die Temperatur erhöht, um den Reinigungseffekt zu verstärken. Bei der Reinigung sollte die RGT-Regel (van-'t-Hoff'sche Regel) unterstützend einwirken. Die Membran hatte vor der Reinigung einen TMP von 2,25bar, was einer Permeabilität von 21,33 l/m²hbar bei 4,8 m³/h und einem Vordruck von 2,78bar entspricht. Zur Ozonproduktion wurde technischer Sauerstoff verwendet, um bis zu 10g/h Ozon lösen zu können.

Die Versuchsanordnung ist als Fließbild in Abb. 13 dargestellt:

Ozongenerator: 10g/h bei technischen Sauerstoff = 99,6% Vol. O₂

Venturidüsen 0,6Nm³/h gedrosselt auf 300l/h

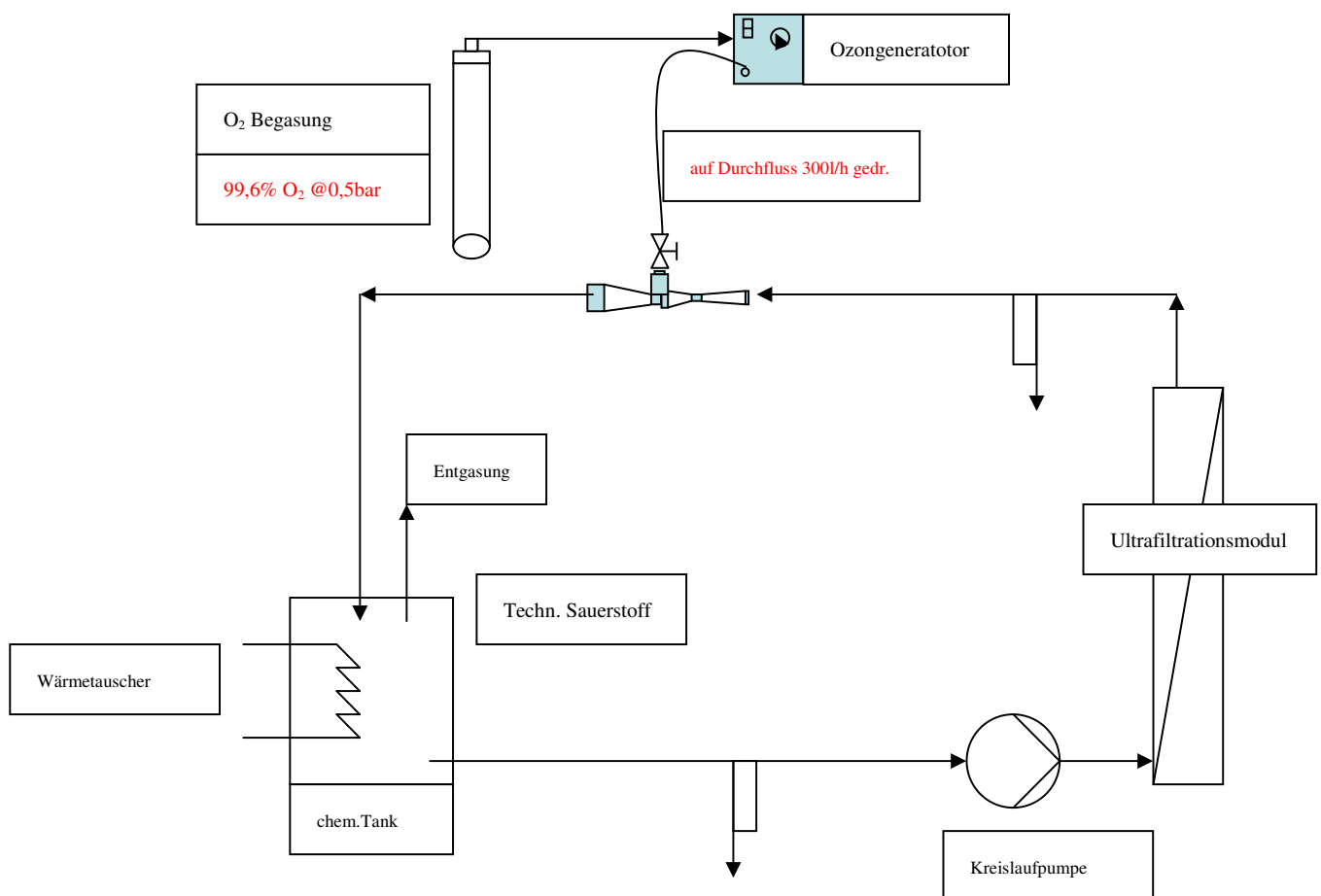


Abb. 13 Fließbild des Verfahrens zur chemischen Reinigung einer verblockten Membran

Ziel war es die transmembranen Drücke durch den Eintrag von Ozon in das Rohwasser zu reduzieren. Dabei sollte Ozon im Kreislauf geführt werden. Es sollte mit $2,5\text{gO}_3/\text{l}$ Wasser im Kreislauf rohwasserseitig auf die Membran gefahren werden. Die Deckschichten auf den Membranen sollten dadurch aufoxidiert werden und nach erreichter Deckschichtenreduktion sollte die eigentliche Membranpore frei werden.

Die Ozonproduktion wurde in die Rücklaufleitung (Filtrat) eingetragen, um im Tank ein Entgasen der gasförmig vorliegenden Ozongemische zu ermöglichen. Es wurde zur Ozonproduktion technischer Sauerstoff verwendet. Dabei war der durchschnittliche Sauerstoffanteil bei der O_3 Produktion $99,6\%$ - die Menge von technischem Sauerstoff. Die Ozonproduktionsleistung sollte 10g/h betragen.

Das Gasgemisch wurde über eine $0,6\text{Nm}^3/\text{h}$ Venturidüse eingebracht. Weiter wurde die Ansaugmenge auf $0,3\text{Nm}^3/\text{h}$ gedrosselt, um den Druck von der Ozon produzierenden Röhre zu nehmen. Der Volumenstrom lag bei $2,6\text{ m}^3/\text{h}$ in der Kreislaufführung.

Während der Kreislaufführung wurden regelmäßig die Ozonkonzentrationen gemessen. Dabei wurde ein max. Wert von $1,21\text{g}$ Ozon pro Liter gemessen. Dieser Wert blieb während der Versuchsanordnung annähernd stabil. Er schwankte um $0,2\text{ g/l}$ während der Kreislaufführung.

Die Membran zeigte nach Beendigung der Kreislaufspülung einen TMP von $1,98\text{bar}$. Dies entspricht einer Reduzierung des TMP um $0,27\text{bar}$. Der Zeitspanne, sowie der eingewirkten Ozonkonzentration entsprechend, ist dies eine sehr geringe Reduktion.

Gegen Ende der Versuchsdurchführung wurde die gesamte Anlage entleert. Der Tank wurde gereinigt und für einen ozonierten Rückspülversuch aufbereitet. Dabei sollte eine möglichst hohe Ozonkonzentration entgegen der Filtrat-Flussrichtung gefahren werden. In der Vorbereitungsphase wurde die Ozonkonzentration über die Kreislaufführung ohne das Modul auf $1,24\text{g/l}$ Ozon erhöht. Danach wurde das Ozon-Wasser-Gemisch via Rückspülprozess eingetragen. Es wurden 125 l Gemisch entgegen der Reinwasser-/Filtratrichtung geschickt. Dabei wurde der TMP um weitere $0,21\text{bar}$ reduziert. Dies ist in 40 Sekunden geschehen und zeigt im Vergleich zur Rohwasserkreislaufspülung, eine ausgeprägte Reduktion.

3.3.1. Ergebnis

Die Kreislaufführung mittels Ozon erbrachte nur eine geringe Reduzierung der transmembranen Drücke. Zwar wurde beim Freispülen nach der Kreislaufführung die Permeabilität kurzfristig um ein Drittel erhöht, dieser Effekt hielt jedoch nur kurzzeitig an.

Die hohen Ozonkonzentrationen während der Kreislaufführung wurden messtechnisch erfasst. Die Reduktion mittelte sich bei $0,2\text{g/l}$ ein. Es wird davon ausgegangen, dass die max. lösbare Ozonkonzentration bei $1,21\text{g/l}$ in Abhängigkeit der Temperatur erreicht wurde.

Die Membran zeigte nach Beendigung der Kreislaufspülung einen TMP von $1,98\text{bar}$. Das entspricht einer Reduzierung des TMP um $0,27\text{bar}$.

Dies ist der Zeitspanne sowie der eingewirkten Ozonkonzentration entsprechend, eine sehr geringe Reduktion. Eine Erhöhung der Temperatur (RGT-Regel) ging mit einer Reduzierung der Ozonkonzentration im Ozonvorlagebehälter einher. Daher ist das Erwärmen der Ozonlösung nachteilig zu sehen.

Die ozonierete Rückspülung zeigte im Gegensatz zur Kreislaufführung eine ausgeprägtere Reduktion des TMP. Dies ist im zeitlichen Verlauf sehr gut zu sehen und soll weiterverfolgt werden.

Hierfür wird die Ozonierung in die Rückspülleitung eingebaut.

Das Ozon könnte bei Erreichen des Differenzdrucks zum Freispülen verwendet werden. Eine weitere Möglichkeit, ist die Dauerzugabe zu jedem Rückspülprozess. Dabei kann über die Rückspülleitung Ozon in das Wasser eingetragen werden, was die Membran dauerhaft vor zu hohen Differenz-Drücken schützen würde.

Es wird eine weitere Versuchsanordnung benötigt um den Effekt der ozonunterstützten Rückspülung zu bestätigen.

3.4. Ozon unterstützte Rückspülung

Bei der ozonunterstützten Rückspülung wurde Filtrat entgegen der Reinwasser-Flussrichtung gedrückt. Dabei wurde die Venturidüse in die Rückspüleleitung integriert. Es wird ozoniertes Wasser über die Holfasern in den Spülwasserablauf transportiert. Dabei sollte untersucht werden, ob die transmembranen Drücke durch die ozonunterstützte Rückspülung reduziert werden können. Rohwasserseitige Verschmutzungen und organische Verbindungen sollen während der Reinigung leichter von der Membran entfernt werden können. Es wurden zur Reinigungsunterstützung regelmäßige Druckluft - Abreinigungen durchgeführt. Während der Rückspülungen im Anfangsstadium wurden verschiedenste Venturidüsen verwendet, die einen Rückschluss auf das Lösungsverhalten geben sollten.

3.4.1. Ozonunterstützte Rückspülung Teil I vom 27.05.2015

Es sollte geprüft werden, ob die Reinigung einer verblockten Membran durch Rückspülen mit ozonhaltigem Reinwasser bzw. Filtrat möglich ist. Der Versuchsaufbau ist in Abb. 14 dargestellt.

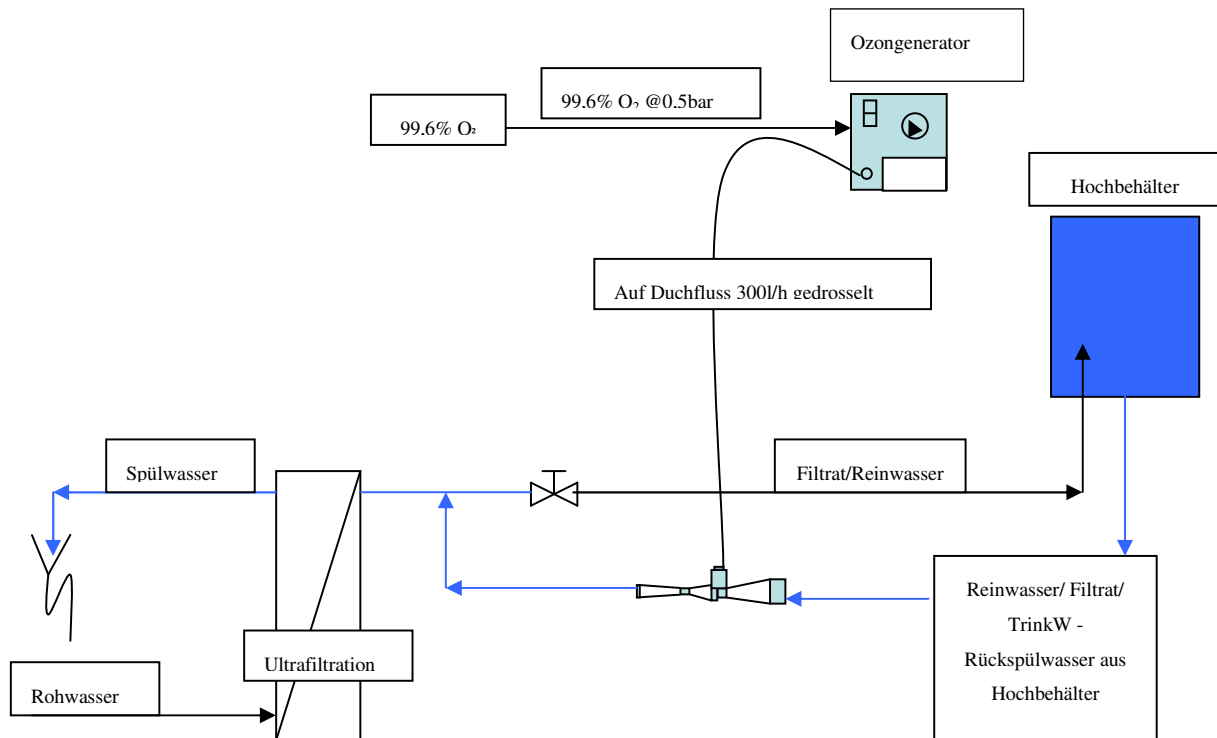


Abb. 14 Rückspülung einer verblockten Membran mit Ozon-angereichertem Filtrat bzw. Reinwasser

Die Membran hatte vor Ozonierung eine Permeabilität von $18,35 \text{ l/m}^2\text{hbar}$ und einen Differenzdruck von $2,67\text{bar}$. Nach fünf Stunden hatte die Membran einen Differenzdruck von $1,05\text{bar}$ und eine Permeabilität von $57,14 \text{ l/m}^2\text{hbar}$. Dabei wurde die Permeabilität mehr als verdreifacht. Die Reinigungswirkung war jedoch mit Problemen behaftet.

Es wurde festgestellt, dass das Wasser-Gasblasen-Gemisch, welches bei der Rückspülung auf die Membran eingewirkt hat, eine Reduzierung des Flusses zur Folge hatte. Dies ist auf die Gasblasen im Wassergemisch zurückzuführen, wobei gleichzeitig der Druck auf die Membran erhöht wurde, weil das eingesaugte Gas zusätzlich den Druck erhöhte. Dadurch wurde nur ein Teil der Membran frei gespült.

3.4.2. Ozon unterstützte Rückspülung Teil II. vom 11.06.2015

Als Gegenmaßnahme zum Gasblaseneintrag wurden in die Modulköpfe Be- und Entlüfter eingebaut, die die Gasblasen aus dem Rückspülwasser entfernen sollten. Dabei wurde das Abgas in den Sickerschacht geleitet.

Die Versuchsanordnung ist in Abb. 15 dargestellt:

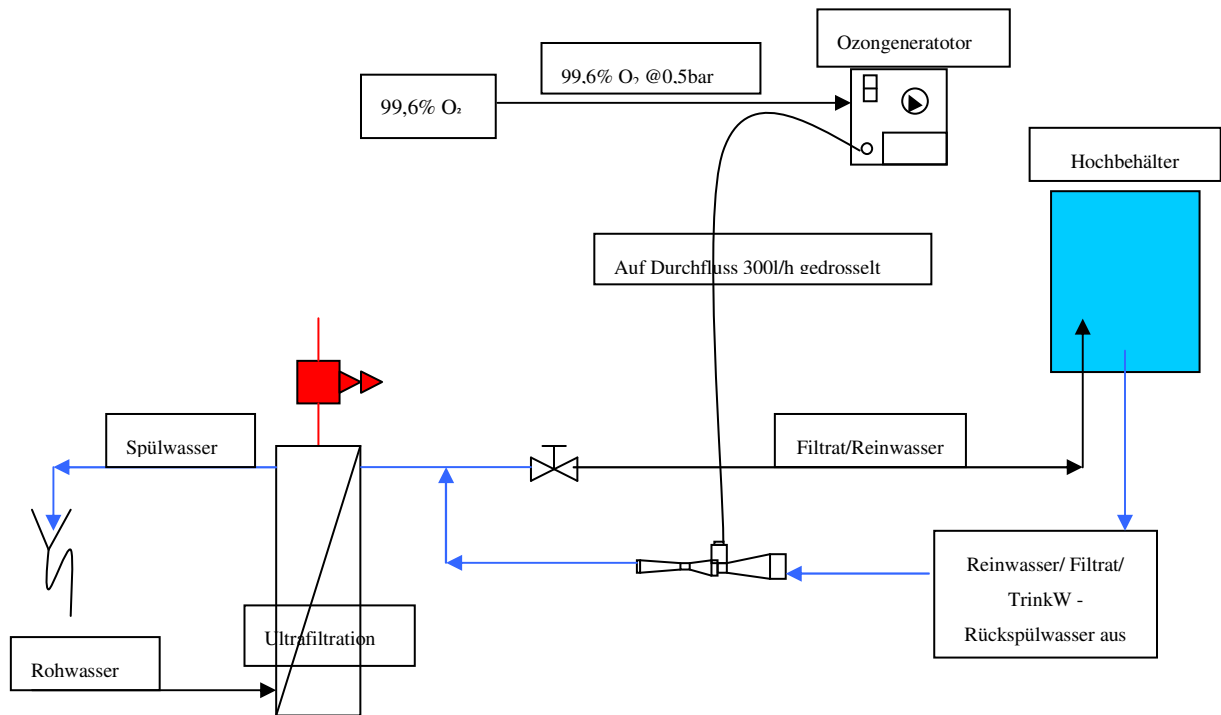


Abb. 15 Fließbild zur Rückspülung einer verblockten Membran mittels Ozon-haltigem Reinwasser bzw. Filtrat bei gleichzeitiger Entfernung von Gasblasen über dem Kopf des Membranmoduls

In den ersten Schritten wurden so genannte Airscrubs durchgeführt, die für die erste Freispülung der Membran zuständig waren.

Im weiteren Verfahren wurde über die Rückspüleleitung ein Ozon-Wassergemisch erzeugt, das rückwärts (Backwash), entgegen der Filtratfließrichtung, auf die Membran gefahren wurde. Dabei wurden die meisten adsorbierten Stoffe, die für den Druckanstieg verantwortlich waren, offensichtlich eliminiert. Hierzu zählen vor allem die organischen Verbindungen und komprimierte Deckschichten.

Innerhalb der ersten Stunde wurde mit dem Ozon-Wassergemisch der Vordruck um 0,46bar reduziert, wobei der gemessene Trübungswert nur 0,23NTU betrug. D.h., dass hier die gemessene Trübung (NTU) nicht ausschließlich für das Ansteigen des TMP verantwortlich ist.

Abb. 16 zeigt Rückspülwässer aus der UF Anlage einer verblockten Membran. Die Membran hatte vor der Reinigung einen Differenzdruck von 1,46bar. Bei dieser Versuchsanordnung wurde versucht, den Vordruck so weit zu reduzieren, dass die Membran weitestgehend frei von Partikeln und organischen Belastungen ist. Bei den ersten Spülschritten (Bild) sind die Rückspülwässer die Trübstoff-haltigsten (s. Abb. 16)

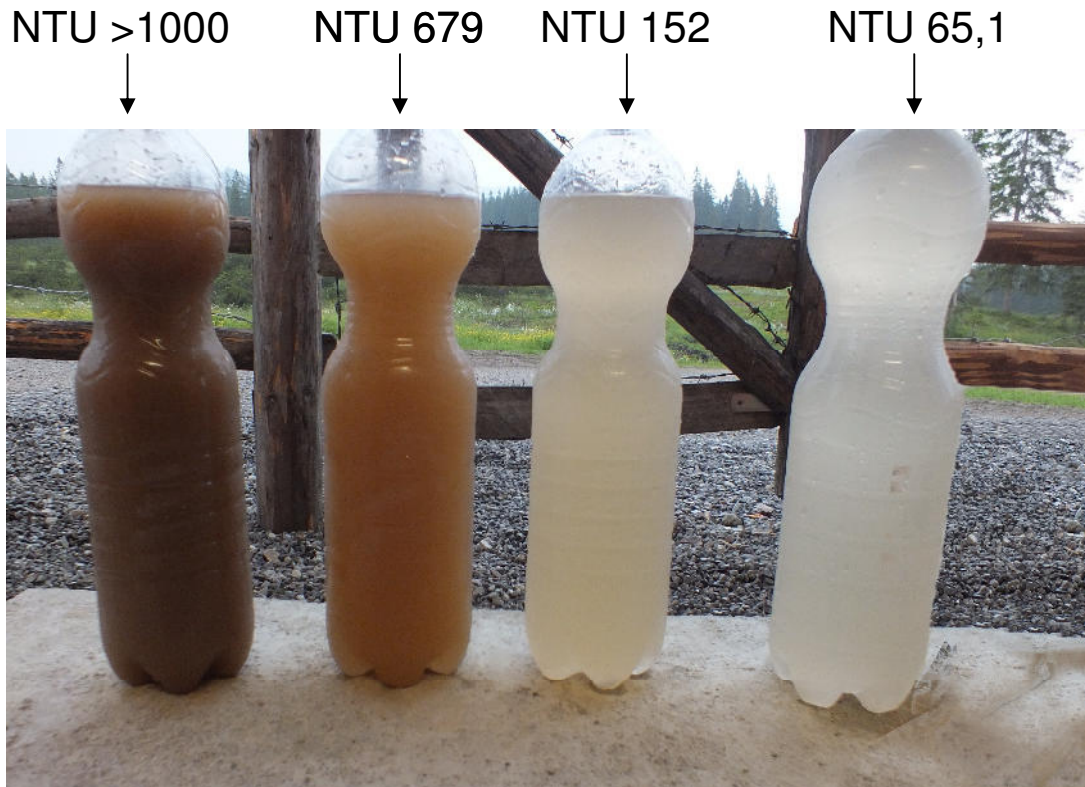


Abb. 16. Rückspülwässer einer verblockten Membran zu verschiedenen Zeiten der Rückspülung

In der weiteren Versuchsanordnung wurde nach zuvor gezeigter Aufnahme die Membran mittels ozoniertem Rückspülwasser frei gespült.

Dabei fielen Rückspülwässer an, deren Trübung optisch nicht mehr zu erkennen waren. Jedoch zeigten die messtechnischen Ergebnisse eine weitere Reduktion der Trübungswerte. (s. Abb. 17)

NTU 23,6



NTU 14,7



NTU 15,4



NTU 14,1



Abb. 17 Optische und gemessene Trübung (NTU) bei fortgesetzter Rückspülung mit ozonhaltigem Reinwasser

Nachfolgend Tabelle 2: Tabelle zwei zeigt die gemessenen Versuchsergebnisse. Diese war die Aussagekräftigste aller Versuchsanordnungen.

Reinigung einer verlegten Membran
Versuchsanordnung v. 27.07.2015
Zeitraum 14:20 - 17:50 Uhr = 3,5 Stunden

MembranZustand vor Reinigung		
Durchfluss	6000,00	ltr
Vordruck	2,00	bar
Nachdruck	0,53	bar
TMP	1,47	
Permeabilität=Durchfluss/(Membranfläche*TMP)		
Permeabilität=6000/(100*1,47) =	40,82	perm.

Zeit	Durchgef. Arbeiten	Färbung sensorisch	Vor- druck	Mess- wert	Ein- heit	Zu- satz	SAK 254nm	NTU	Abf. Stoffe
14:21	AirScrub	dunkelbraun, extrem stark getrübt	1,99		bar	Vordruck			
14:21		dunkelbraun, stark getrübt	1,99		bar	Vordruck			
14:21		braun, mittel getrübt	1,99		bar	Vordruck			
	Wasserprobe						679		0
14:23	AirScrub	bräunlich getrübt	1,98		bar	Vordruck			
14:23		getrübt	1,98		bar	Vordruck			
14:24		gelblich getrübt	1,98		bar	Vordruck			
	Wasserprobe						152		0
14:26	AirScrub	hellgelb, getrübt	1,98		bar	Vordruck			
14:26		hellgelb, leicht klar	1,98		bar	Vordruck			
14:27		hellgelb, leicht klar	1,98		bar	Vordruck			
	Wasserprobe						65,1		1
14:56	Start der O3 Rückspülung		1,98						
14:56	AirScrub	hellgelb, leicht getrübt							
14:57	AirScrub	hellgelb, leicht getrübt							
14:59	AirScrub	hellgelb, leicht getrübt							
15:11	Betrieb O3 Reinigung			0,04		g/L Ozon			
15:21	Betrieb O3 Reinigung			0,19		g/L Ozon			
15:25	Betrieb O3 Reinigung			0,26		g/L Ozon			
15:31	Betrieb O3 Reinigung			0,25		g/L Ozon			

Zeit	Durchgef. Arbeiten	Färbung sensorisch	Vor- druck	Mess- wert	Ein- heit	Zu- satz	NTU	SAK 254nm	Abf. Stoffe
------	--------------------	--------------------	---------------	---------------	--------------	-------------	-----	--------------	----------------

15:42	3x AirScrub	grau-dunkel grau-dunkel grau-dunkel							
	Wasserprobe		1,52				23,6	10,1	

15:45	Betrieb O3 Reinigung			0,2	g/l	Ozon			
15:56	Betrieb O3 Reinigung			0,19	g/l	Ozon			

16:10	3x AirScrub	gelb-dunkel gelb-mittel gelb-mittel							
	Wasserprobe		1,49				14,7	9,5	

16:18	3x AirScrub	gelb-dunkel gelb-hell gelb-hell		0,15	g/l	Ozon			
	Wasserprobe		1,37				15,4	24,2	

16:52	3x AirScrub	gelb gelb hellgelb		0,08	g/l	Ozon			
	Wasserprobe		1,31				14,1	17,8	

Sauerstoff-optimiert auf knapp unter 0,5Bar

17:04	3x AirScrub	gelb hellgelb hellgelb		0,50	g/l	Ozon			
	Wasserprobe		1,24				3,67	38,6	

17:28	Betrieb O3 Reinigung			0,5	g/l	Ozon			
-------	----------------------	--	--	-----	-----	------	--	--	--

17:50	Nach Stabilisierungsphase		1,25	BAR		.			
-------	---------------------------	--	------	-----	--	---	--	--	--

Membran Zustand nach der Reinigung		
Durchfluss	6000,00	l
Vordruck	1,25	bar
Nachdruck	0,53	bar
TMP	0,72	bar
Permeabilität=Durchfluss/(Membranfläche*TMP)		
Permeabilität=6000/(100*0,72)	83,33	l/m2hbar

Tabelle 3 Zusammenstellung der wichtigsten Versuchsergebnisse

Zeit	NTU	SAK	Permeabilität	Vor-druck	Nach-druck	Differenz-druck
14:21	679,0	0,00	41,10	1,99	0,53	1,46
14:23	152,0	0,00	41,38	1,98	0,53	1,45
14:26	65,1	1,00	41,38	1,98	0,53	1,45
15:42	23,6	10,10	60,61	1,52	0,53	0,99
16:10	14,7	9,50	62,50	1,49	0,53	0,96
16:18	15,4	24,20	71,43	1,37	0,53	0,84
16:52	14,1	17,80	76,92	1,31	0,53	0,78
17:04	3,67	38,60	84,51	1,24	0,53	0,71
17:50			83,33	1,25	0,53	0,72

In Abb. 18 sind die Trübung (NTU), der spektrale Absorptionskoeffizient und die Permeabilität als Funktion der Rückspülzeit dargestellt.

Die Trübungsbelastung nimmt ab, da der Filter durch die alternative Ozonreinigung bei jeder Rückspülung immer freier wird.

Parallel zur NTU-Reduktion steigt der SAK. (Spektrale Absorptionskoeffizient). D.h., die Lichtdurchlässigkeit des Wassers nimmt aufgrund der Reinigung des Filters immer weiter zu.

Die Permeabilität gibt den Verlegegrad des Filters an. Dieser wird in Abhängigkeit von Durchfluss, Differenzdruck und Membranfläche berechnet. Je höher der Wert umso besser das Reinigungsergebnis.

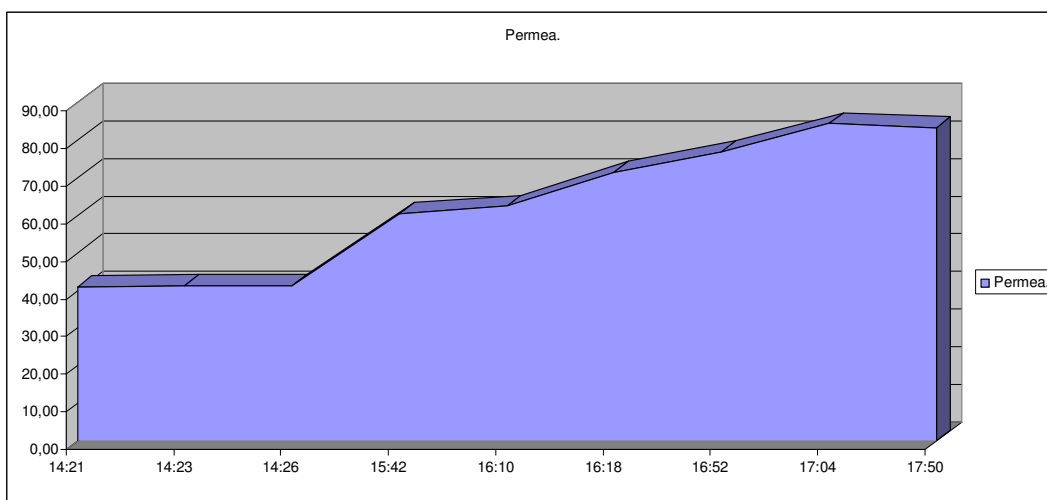
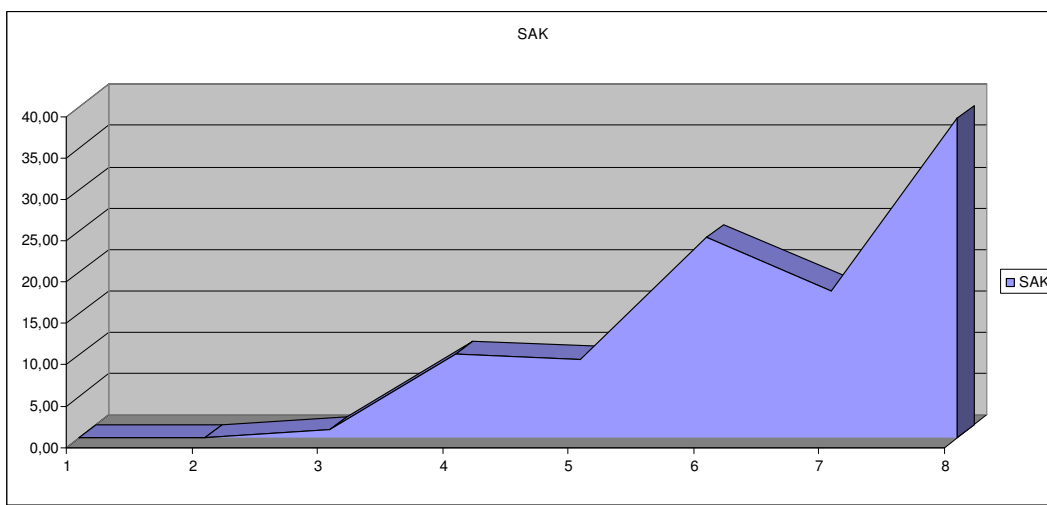
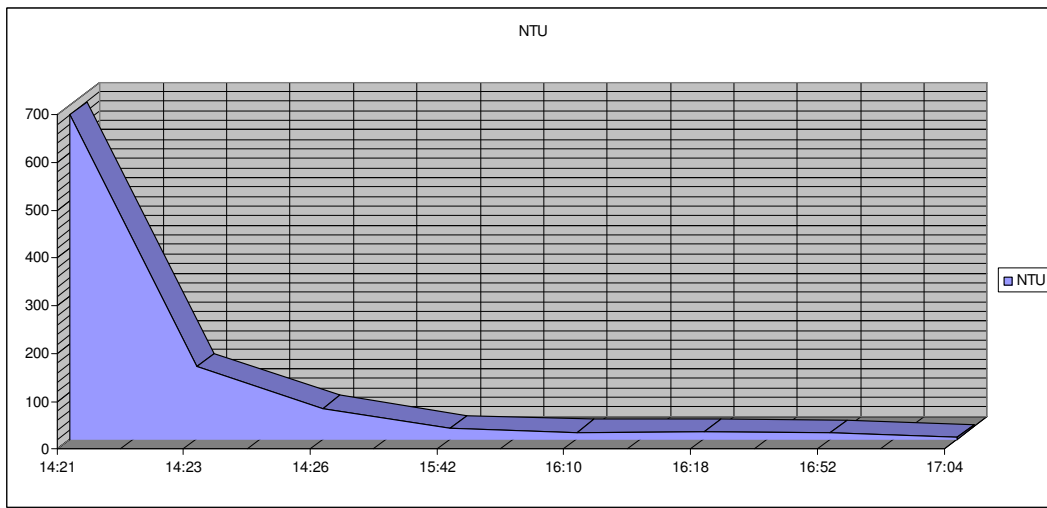


Abb. 18 NTU (oben), SAK (Mitte) und Permeabilität (unten) mit fortschreitender Rückspüldauer

3.4.3. Ergebnis

Mittels Ozon-unterstützter Rückspülung (bis 0,5g Ozon/l) kann ein verblockter PVDF-Modul frei gespült werden. In diesem Verfahren wurde eine Membran mit einer Permeabilität von 40,82 l/m² hbar innerhalb von 210 Minuten auf eine Permeabilität von 83,33 l/m² hbar frei gespült. Die Permeabilität wurde mehr als verdoppelt.

Die Ozonkonzentrationen schwankten aufgrund der Druckluftabreinigungen und des Freispülens mittels Rohwasser stark. Daher muss nach jedem Airscrub das Rohwasser verdrängt werden, um die abgegeben Konzentrationen zuverlässig messen zu können. Jedoch konnte lt. zuvor genannter Versuchsanordnung eine dauerhafte Reduktion des TMP erreicht werden.

4. Fazit

Im vorliegenden Vorhaben wurde zwar der Eintrag des Ozons in das Rohwasser beantragt. Es stellte sich jedoch schnell heraus, dass es zu viele Reaktionsmittel im Rohwasser gibt. Trübung, organische Verbindungen, Bakterien und weitere Stoffe können das Ozon aufzehren und reduzieren. Nur durch Erhöhung der Ozonkonzentration könnte ein Überschuss für die Reinigung der Membran erzielt werden. Dabei wird der Grenzwert für Ozon in der TrinkwV. von 10mg/l. schnell erreicht. Daher ist es aus technischer Sicht von Vorteil, die Ozonierung in die Rückspüleleitung einzubauen, da dieses nach „Freispülen“ (ohne Ozon) keinen direkten Kontakt (Ozon-Trinkwasserkontakt) mit dem Trinkwasser hat.

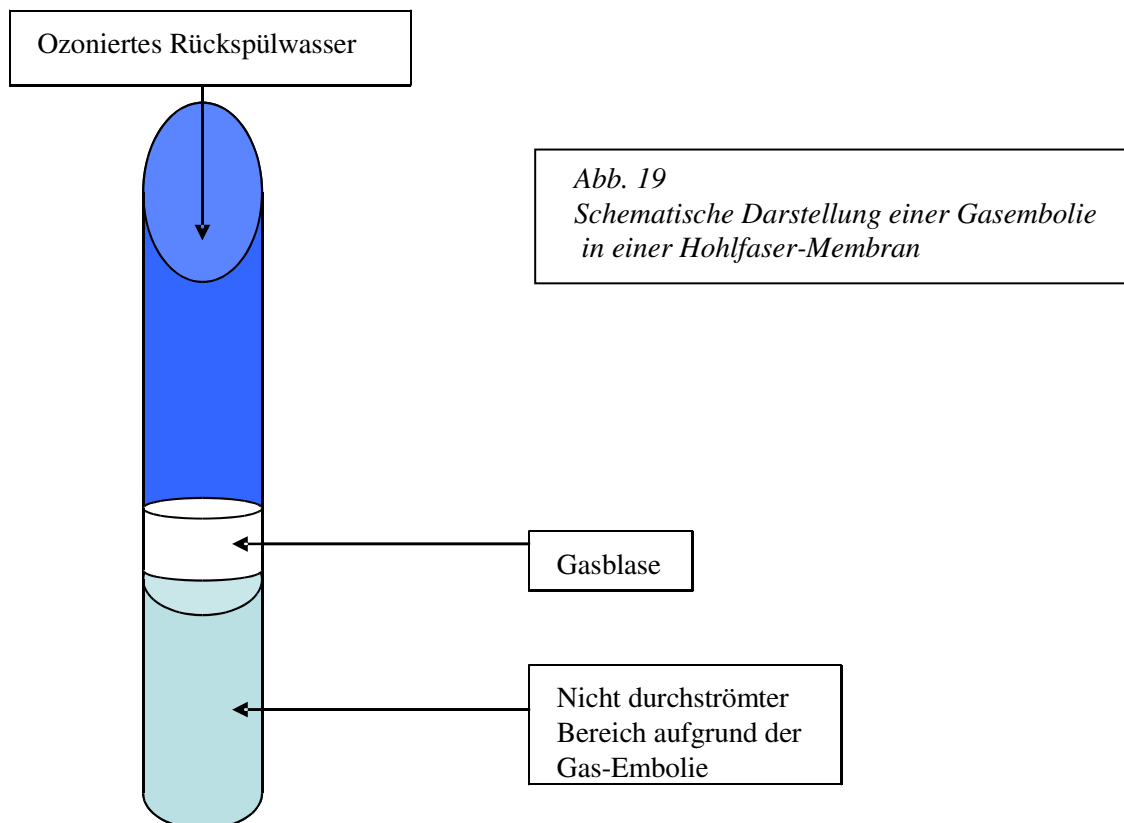
Das Rückspülwasser besteht in der Regel aus ultrafiltriertem und somit partikel- und bakterienfreiem Trinkwasser. Daher können auf der Permeatseite keine Mikroorganismen lysiert und deren Inhaltsstoffe freigesetzt werden. Dies reduziert die Ozonkonzentrationen nicht annähernd so stark, wie bei Zugabe ins Rohwasser.

Weiter wird dadurch der energetische Aufwand um mehr als die Hälfte zum beantragten Vorhaben reduziert, da zur Rückspülung weitaus weniger Wasser benötigt wird, als die aufzubereitende Menge und das benötigte Ozon.

Aus technischer Sicht ist das „Freispülen mittels Ozon“ noch zu optimieren, da bei der verwendeten Membran das Rückspülwasser möglichst Blasen-frei sein sollte.

Der Grund hierfür liegt in der Geometrie einer Hohlfasermembran, die von Innen nach Außen freigespült wird.

Wenn während des ozonierten Freispülvorgangs Luft in die Hohlfasern gelangt, kann es zu Embolien kommen, die ein gleichmäßiges Freispülen der einzelnen Hohlfasern behindern kann. (s. Abb. 19)



Um diesen Umstand zu vermeiden, muss ein Entgasungszylinder gebaut werden, der das Abscheiden des Gases vor dem Eintrag in die Hohlfasermembranen ermöglicht.

Ist das Rückspülwasser Blasen-frei, könnten erhöhte Flussgeschwindigkeiten sowie gleichmäßige Hohlfaserrückspülungen durchgeführt werden. Dabei ist mit einer erweiterten Reduzierung des TMP zu rechnen. Tests hierfür sind nach der Umrüstung erneut geplant.