

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



Wiederverwendung von Filterspülwässern

aus der Grundwasseraufbereitung

# FITWAS

---

Wiederverwendung von Filterspülwässern  
aus der Grundwasseraufbereitung zur  
Sicherung der Trinkwasserversorgung

Abschlussbericht Teil 2 Eingehende Darstellung

CERAFILTEC Germany GmbH  
BMBF Förderkennzeichen 02WV1565D  
Laufzeit: 01.02.2021 bis 30.09.2024

März 2025

## Autorinnen/Autoren

CERAFILTEC Germany GmbH  
Dr. Martin Kaschek

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 02WV1565D gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorinnen und Autoren.

Zur besseren Lesbarkeit wird nicht zwischen weiblichen und männlichen Berufsbezeichnungen unterschieden; es sind immer beide Geschlechter gleichberechtigt angesprochen.

## Danksagung

Die dargestellten Ergebnisse wurden im BMBF-geförderten Verbundvorhaben FITWAS „Wiederverwendung von Filterspülwässern aus der Grundwasseraufbereitung zur Sicherung der Trinkwasserversorgung“ erarbeitet. Für die Förderung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen der Fördermaßnahme „Wassertechnologien: Wiederverwendung“ bedanken sich die Autoren im Namen des gesamten Projektverbundes. Die gute Betreuung durch den Projektträger Karlsruhe, namentlich die konstruktive und engagierte fachliche Betreuung durch Herrn Dr. Delay und administrative Betreuung durch Frau Köhler sei besonders herausgestellt.

Die Autoren bedanken sich bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern sowie Studierenden, die zum Gelingen des Verbundprojektes FITWAS beigetragen haben. Für die Übernahme der Eigenmittel des Teilprojektes der DVGW-Forschungsstelle TUHH danken wir dem DVGW. Besonderer Dank gilt der DVGW-Expertenbegleitrunde für die fachliche Unterstützung und die wertvollen Hinweise im Verlauf der Projektarbeiten. Den Partnern des Transferprojekts TransWavE danken wir für die angenehme Zusammenarbeit und ausgezeichnete Organisation der Vernetzungs- und Transferaktivitäten.

## Inhalt

<b>I.</b>	<b>Hintergrund und Ziel des Projektes.....</b>	<b>4</b>
<b>II.</b>	<b>Eingehende Darstellung des Projektes.....</b>	<b>4</b>
<b>II.1</b>	<b>Ergebnisse AP 1: Innovative Verfahrens- und Betriebsstrategien zur Filterspülwasser-Rückgewinnung.....</b>	<b>4</b>
II.1.1	AP 1.1 Recherche .....	4
II.1.2	AP 1.2 Voruntersuchungen zu Variation der Eigenschaften der Filterspülwässer .....	4
II.1.3	AP 1.3 Laborversuche mit getauchten keramischen Membranen .....	4
II.1.4	AP 1.4 Laborversuche mit Polymermembranen (Unterdruck-/Druckfiltration) .....	10
<b>II.2</b>	<b>AP 2 Praxisversuche zur Aufbereitung von Filterspülwässern .....</b>	<b>11</b>
II.2.1	AP 2.1 Entwicklung/Inbetriebnahme einer Pilotanlage mit Keramikmembranen .....	11
II.2.2	AP 2.2 Praxisversuche zur getauchten Membranfiltration bei HWW .....	17
II.2.3	AP 2.3 Praxisversuche zur Membranfiltration bei OOWV .....	17
II.2.4	AP 2.4 Praxisversuche im UBA-Versuchswasserwerk.....	18
<b>II.3</b>	<b>Ergebnisse AP 3 Qualität des rückgewonnenen Wassers und Wiederverwendbarkeit .....</b>	<b>19</b>
II.3.1	AP 3.1 Rechtliche Situation und Rahmenbedingungen für die Wiederverwendung von Filtrat ...	19
II.3.2	AP 3.2 Mikrobiologische Qualität des rückgewonnenen Wassers .....	19
II.3.3	AP 3.3 Qualität des rückgewonnenen Wassers - Chemikalieneintrag .....	19
II.3.4	AP 3.4 Logistische/prozesstechnische Voraussetzungen für die Wiederverwendung von Filtrat	19
<b>II.4</b>	<b>Ergebnisse AP 4 Qualität des Filterschlammes und Verwertbarkeit .....</b>	<b>20</b>
II.4.1	AP 4.1 Rechtliche Situation und Wirtschaftlichkeit der Filterschlamm-Verwertung .....	20
II.4.2	AP 4.2 Qualität des Filterschlammes in Bezug auf mechanische Eigenschaften.....	20
II.4.3	AP 4.3 Qualität des Filterschlammes in Bezug auf mikrobiologische Eigenschaften .....	21
II.4.4	AP 4.4 Versuche zur weitergehenden Schlammentwässerung.....	21
II.4.5	AP 4.5 Versuche zur Schlamm Trocknung und -konditionierung.....	21
<b>II.5</b>	<b>Ergebnisverwertung.....</b>	<b>22</b>
II.5.1	AP 5.1 Ergebnisverwertung für die Fachöffentlichkeit.....	22
II.5.2	AP 5.2 Ergebnisverwertung in Form von Publikationen / Patenten.....	22
II.5.3	AP 5.3 Ergebnisverwertung für den Export.....	22
II.5.4	AP 5.4 Energetische und wirtschaftliche Gesamtbewertung für die Ergebnisverwertung .....	27
<b>II.6</b>	<b>Ergebnisse AP 6 Projektkoordination, Datenaustausch, Projekttreffen, Berichte .....</b>	<b>29</b>
II.6.1	AP 6.1 Projektkoordination, Partnerabsprachen, Projekttreffen, Berichte .....	29
II.6.2	AP 6.2 Zuarbeit/Teilnahme beim Vernetzungsvorhaben .....	29
<b>III.</b>	<b>Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises .....</b>	<b>30</b>
<b>IV.</b>	<b>Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten.....</b>	<b>31</b>

<b>V.</b>	<b>Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans .....</b>	<b>32</b>
<b>VI.</b>	<b>Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen .....</b>	<b>33</b>
<b>VII.</b>	<b>Erfolge und geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses .....</b>	<b>34</b>
<b>VII.1</b>	<b>Begutachtete Publikationen.....</b>	<b>34</b>
<b>VII.2</b>	<b>Nicht begutachtete Publikationen.....</b>	<b>34</b>
<b>VII.3</b>	<b>Vorträge auf wissenschaftlichen Tagungen .....</b>	<b>34</b>
<b>VII.4</b>	<b>Poster-Publikationen auf wissenschaftlichen Tagungen.....</b>	<b>34</b>
<b>VII.5</b>	<b>Geplante Veröffentlichungen .....</b>	<b>34</b>
<b>VIII.</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>35</b>
<b>VIII.1</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>35</b>
<b>VIII.2</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>36</b>
<b>VIII.3</b>	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>36</b>
<b>VIII.4</b>	<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>36</b>

## I. Hintergrund und Ziel des Projektes

Die CERAFILTEC Germany GmbH (im Bericht nur noch CERAFILTEC genannt) wurde im November 2016 gegründet und war zum Zeitpunkt der Antragstellung (April 2020) ein Start-up mit 7 festangestellten Mitarbeitern. Das Produkt von CERAFILTEC ist ein Filtrationsmodul, das aus keramischen Flachmembranen besteht. Es wurde im November 2017 in den Markt eingeführt. Zielanwendungen sind Trinkwasser- und Abwasseranlagen weltweit. Insbesondere klassische Sandfilteranlagen zur Trinkwasseraufbereitung konnten im Mittleren und Fernen Osten (u.a. Jordanien, Iran, Saudi-Arabien, Thailand) durch die Technologie der CERAFILTEC ersetzt werden. Ende Dezember 2024 beschäftigte CERAFILTEC am Standort Saarbrücken 50 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Weltweit sind ca. 100 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter für CERAFILTEC tätig.

In Wasserwerken in Europa und insbesondere in Deutschland sind häufig bestehende Sandfilteranlagen anzutreffen, bei denen keine Notwendigkeit besteht, auf eine kleinere Trenngrenze von 0,1 µm umzurüsten, wie sie der keramische Filter bietet, da die Wasserqualität, insbesondere hinsichtlich der mikrobiologischen Belastung, aufgrund der guten Grundwasserressourcen ausreichend ist. Wie bei jedem Sandfilter fällt jedoch auch bei diesen Wasserwerken Rückspülwasser an, das zwar mikrobiologisch gut ist, dessen Feststoffbelastung jedoch um den Faktor 20 bis 50 höher liegt als die des ursprünglichen Grundwassers. Die Menge des Rückspülwassers beträgt 1 – 5 % und wird heute in den meisten Wasserwerken in die Kanalisation eingeleitet. Im Hinblick auf eine effiziente Ressourcennutzung, Energieeinsparung und unter Kostengesichtspunkten ist die Rückgewinnung des Spülwassers ein sinnvolles Verfahren.

Vorrangiges Ziel des Projektes FITWAS war es daher, das anfallende Spülwasser so aufzubereiten, dass es als Trinkwasser in das bestehende Netz eingespeist werden kann. Die CERAFILTEC bietet als Verfahren eine getauchte Outside-In Filtration mit keramischen Flachmembranen bei einer Trenngrenze von 0,1 µm Porendurchmesser. Die treibende Filtrationskraft ist ein Unterdruck im Bereich von -50 bis maximal -600 mbar. Die Zielgröße für die Menge der Rückgewinnung des Trinkwassers (Ausbeute) liegt bei größer 90 %.

Die Inhaltsstoffe des zurückgehaltenen Schlamms variieren je nach Grundwasser. Erwartet wurden vor allem Eisen und Mangan. Es hat sich gezeigt, dass z.B. am Standort Holdorf auch Calcium und Phosphat in größeren Mengen vorhanden sind. Im abgeschlossenen Projekt sollten die Schlämme auch dahingehend untersucht werden, inwieweit eine Eindickung, Trocknung und Wiederverwendung möglich ist. Dazu ist eine möglichst hohe Eindickung mittels Membranverfahren wünschenswert, um so die Kosten und den Energieeinsatz für Transport und Trocknung zu minimieren.

## II. Eingehende Darstellung des Projektes

### II.1 Ergebnisse AP 1: Innovative Verfahrens- und Betriebsstrategien zur Filterspülwasser-Rückgewinnung

#### II.1.1 AP 1.1 Recherche

Keine Aufgaben für die CERAFILTEC.

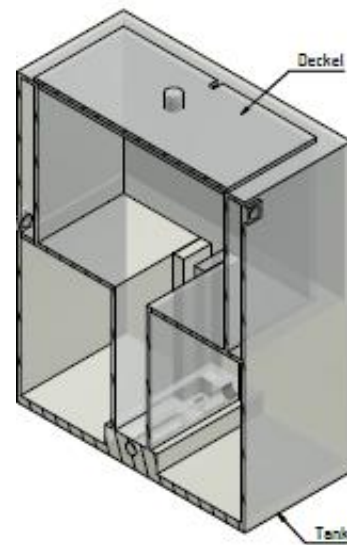
#### II.1.2 AP 1.2 Voruntersuchungen zu Variation der Eigenschaften der Filterspülwässer

Keine Aufgaben für die CERAFILTEC.

#### II.1.3 AP 1.3 Laborversuche mit getauchten keramischen Membranen

Die CERAFILTEC hat im Rahmen des AP 1.3 zunächst für die DVGW-TUHH und für sein eigenes Labor zwei Testanlagen gebaut. Die Testanlagen werden mit einer keramischen Flachmembran ausgestattet,

die aus einer Standardmembran ausgeschnitten wird und dann eine effektive Filterfläche von 0,01 m<sup>2</sup> besitzt. Die Membran kann einfach und schnell gewechselt werden.

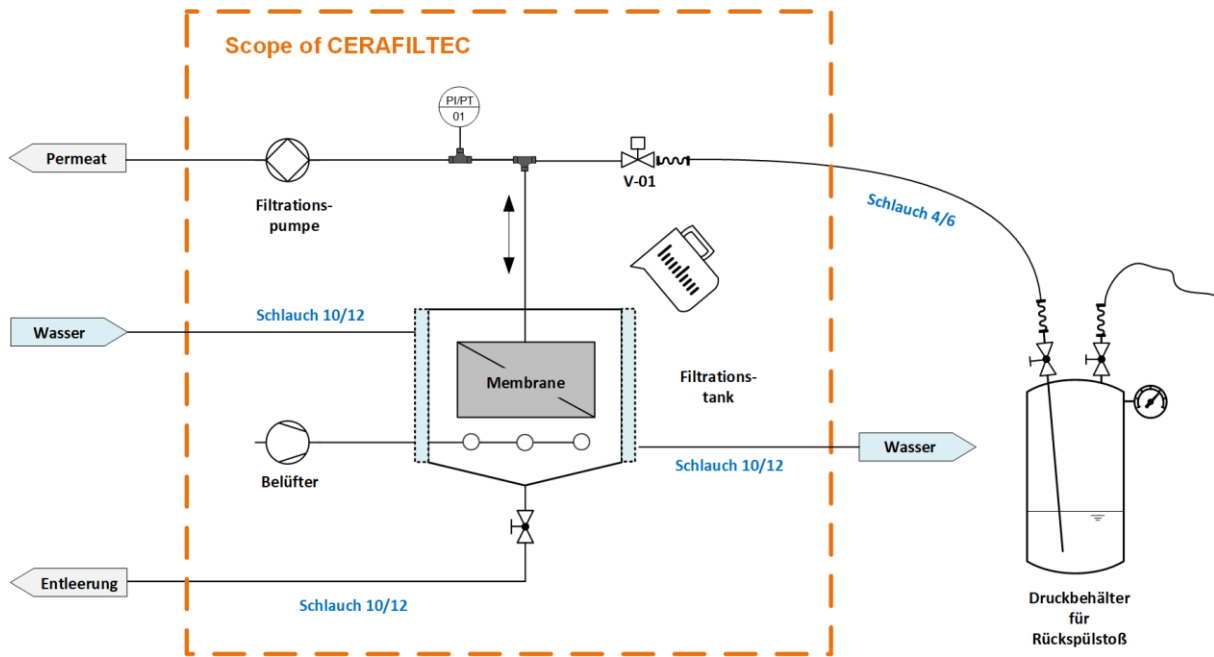


**Abbildung 1: Foto der Laboranlage vor dem Versand zur DVGW-TUHH (links) und Tankzeichnung (rechts)**

Das Tankdesign gibt die Möglichkeit der Temperierung des inneren Tanks durch einen äußeren, umlaufenden, wasserführenden Bereich, der von einem externen Heiz-/Kühlgerät auf Temperatur gehalten werden kann. Der schmale untere Bereich des Tanks nimmt die Membran auf und simuliert durch die begrenzenden Wände links und rechts das Membranmodul, indem die Platten mit einem Abstand von 5,5 mm angeordnet sind.

Herzstück der Anlage ist eine Filtrationspumpe, die durch eine Siemens-Steuerung geregelt wird. Die Pumpe ist eine Taumelkolbenpumpe, die druckunabhängig und linear zur Umdrehungsgeschwindigkeit Wasser fördert. Die Drehzahl der Pumpe, und damit der Fluss kann in der Software festgelegt werden. Abhängig vom Widerstand der Filtration stellt sich ein Filtrationsdruck ein, der mit einem Drucksensor gemessen und angezeigt wird. Mit Hilfe der Software werden die Werte für Fluss und Druck in flexiblen Zeitintervallen gespeichert und können später ausgewertet werden.

Die Abbildung 2 das P&ID (Prozessdiagramm) der Laboranlage. Die Pumpe kann sich vorwärts und rückwärts drehen und dadurch in Filtration (Saugbetrieb) oder in Rückspülung (Druckbetrieb) betrieben werden. Entsprechend zeigt der Drucksensor einen negativen Saugdruck oder einen positiven Überdruck an. Die Zeitintervalle für Filtration und Rückspülung können in der Steuerung flexibel gewählt werden. Während einer Rückspülung kann gewählt werden, ob diese mit oder ohne Belüftung der Membran erfolgen soll. Die Luft wird unterhalb der Membran eingeblasen. Die Luftblasen fließen zwischen der Behälterwand und der Membran entlang und bewirken Scherkräfte an der Membranoberfläche. Dadurch kann eine Deckschicht bei der Rückspülung der Membran effektiv entfernt werden.



**Abbildung 2: P&ID Laboranlage FITWAS**

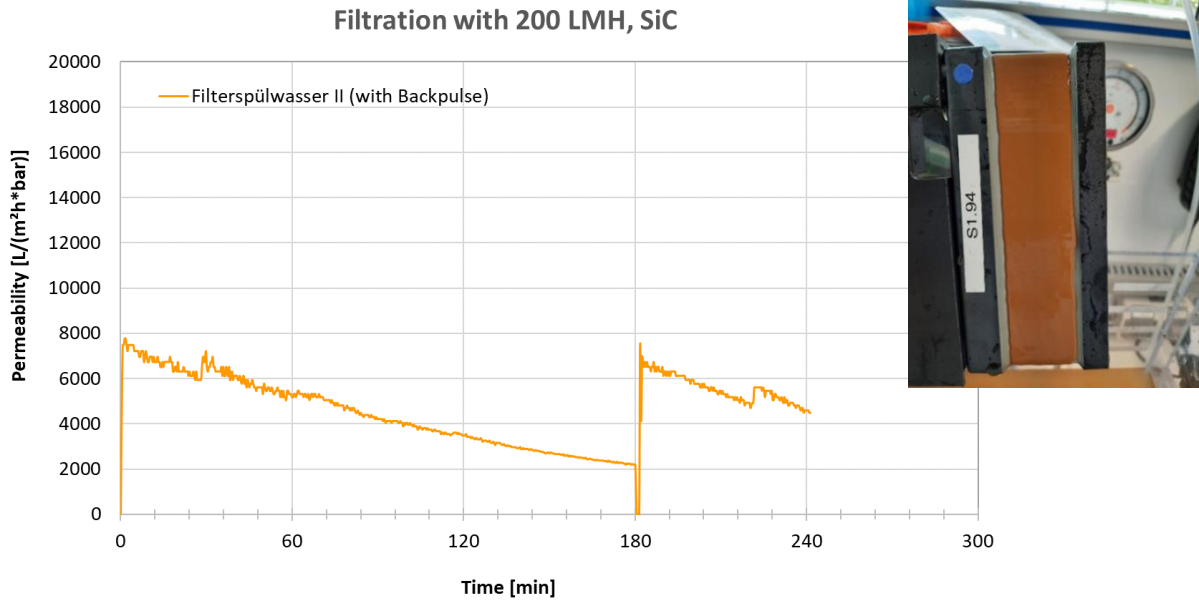
Anstelle einer Rückspülung kann auch ein Rückspülstoß erfolgen. Ein Magnetventil öffnet für kurze Zeit (0,2 bis 5 Sekunden). Aus einem Druckbehälter wird Wasser in den Permeatraum gedrückt. Da die Pumpe steht und kein Wasser durchlässt, wird das Wasser mit hoher Geschwindigkeit in die Membran gedrückt und sprengt die Filterschicht ab. Auch dieser Vorgang kann mit oder ohne Belüftung erfolgen.

Sowie Permeat abgezogen wird, entleert sich der Tank kontinuierlich. Soll die filtrierte Wassermenge mehr als nur ein Tankvolumen betragen, muss neues Rohwasser händisch hinzugefügt werden.

Die Laborversuche wurden sowohl bei der CERAFILTEC als auch beim Partner DVGW-TUHH durchgeführt. Die DVGW-TUHH wurde dabei mit Schulungen bezüglich Anlagenbetrieb als auch bezüglich der Handhabung der CERAFILTEC Membran unterstützt. Ziel war die Entwicklung geeigneter Verfahrens-/Betriebsstrategien inkl. Membranreinigung. Die Ausbeute sollten größer 85 % sein.

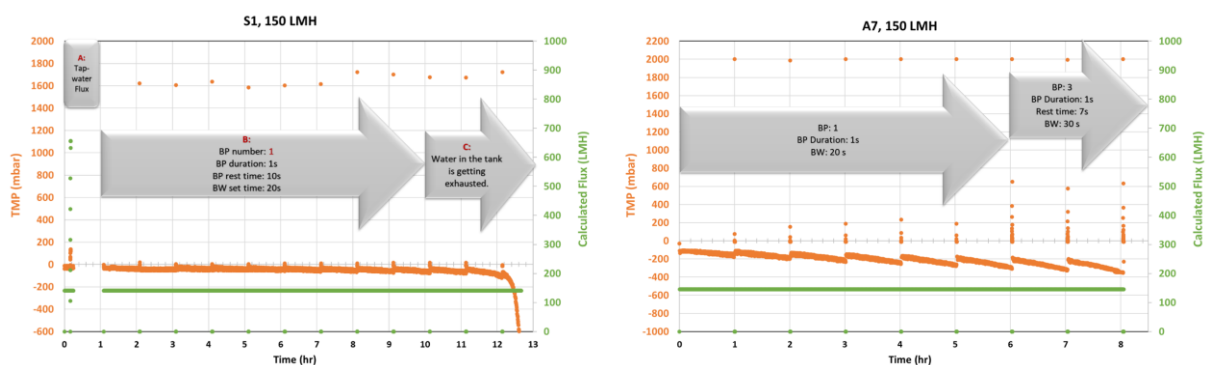
Filterspülwässer beider OOWV-Standorte wurden bei der CERAFILTEC im Labor hinsichtlich der Filtrierbarkeit untersucht (Abbildung 3). Weiterhin wurden Arbeiten zur Filterkuchenentfernung durch unterschiedliche Rückspülstrategien sowie die Membranreinigung zur Vermeidung von Membranverblockungen durch chemische Reinigung durchgeführt.

Es zeigte sich, dass eine Eindickung des Schlamms auf 30 g/l (3 %) erreicht werden kann, eine gute Rückspülung möglich (d. h. nach der Rückspülung wird die Ausgangspermeabilität wieder erreicht) und der Filterkuchen sehr gut abspülbar ist. Es wurden unterschiedliche Membranmaterialien aus SiC (im Allgemeinen weniger foulinganfällig, hohe Flussleistung) und Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (mechanisch stabil, kostengünstig) für die Untersuchungen verwendet.



**Abbildung 3: Verlauf der Permeabilität während der 3-stündigen Filtration, Labormembran mit Filterkuchen nach 3-stündiger Filtration (oben rechts)**

Im Projektverlauf wurden die Membranmaterialien Siliziumcarbid (S1) und Aluminiumoxid (A7) miteinander verglichen. Die Buchstaben stehen für das Material, die Zahlenwerte nach dem S bzw. A (1, 7) stehen hierbei für unterschiedliche Hersteller. Siliziumcarbid ist wesentlich teurer und auch energieintensiver bei der Herstellung. Hat aber aufgrund des besseren Foulingverhaltens oft einen Vorteil während der Anwendung, was Energieeinsatz (niedrigerer Filtrationsdruck) und Verbrauch an Reinigungschemikalien betrifft. Jedoch gibt es sehr viel mehr unterschiedliche Hersteller von Aluminiumoxid Membranen als Siliziumcarbid. Letztendlich bietet die Aluminiumoxid Membran noch viel Potenzial zur Optimierung der Foulingeigenschaften. Die CERAFILTEC hat in 2022 eine eigene Abteilung unter Leitung von Dr. Frank Ehlen geschaffen, die sich im Schwerpunkt mit der Entwicklung neuer Beschichtungen für die Aluminiumoxid Membran beschäftigt. Motivation hierbei ist es, ein niedriges Fouling ähnlich wie bei Siliziumcarbid bei gleichzeitig geringen Kosten einer Aluminiumoxid Membran zu erhalten.



**Abbildung 4: Vergleich einer Membran aus Siliziumcarbid (S1) und einer aus Aluminiumoxid (A7) bei identischem Flux (150 lmh). S1 zeigt eine bessere Vermeidung von Fouling als A7. Aber beide Membranen laufen sehr gut.**

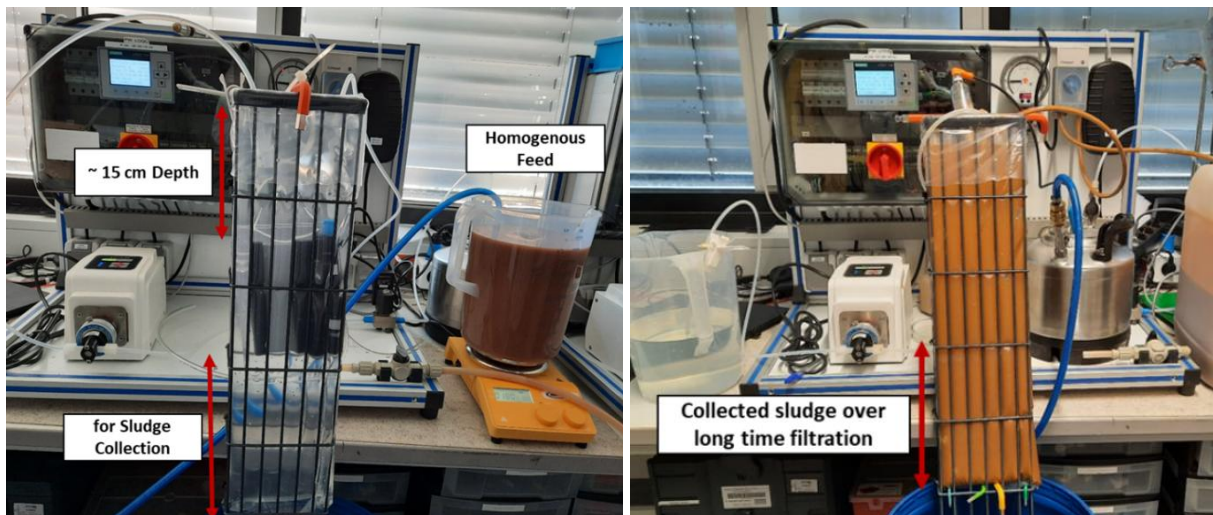
Die Abbildung 4 zeigt den Vorteil eines niedrigen Foulings. Ein Filtrationsversuch über 12,5 (S1) bzw. 8 (A7) Stunden wurde durchgeführt. Art und Dauer der Filtration (150 lmh Flux, 1 h Filtrationszeit, Rückspülung durch Puls von 1 Sekunde und Gesamtzeit der Rückspülung von 20 Sekunden) waren identisch.

Die Membran S1 startet mit einem Filtrationsdruck von ca. -20 mbar. Dieser sehr niedrige Druck bleibt konstant über 6 Stunden. Danach kann man sehen, dass der Druck während der Filtration leicht ansteigt und der Rückspül-Puls den Ausgangsdruck wieder herstellt. Der höhere Anstieg ist auf die höhere Konzentration des Schlammes zurückzuführen. Erst ab der Stunde 11 erfolgt ein starker negativer Druckanstieg und in der Stunde 12 erfolgt die Verblockung der Membran, da der Schlamm inzwischen so aufkonzentriert war, dass kein Wasser mehr abgezogen werden konnte.

Die Membran A7 startet mit einem für diese Membran typischen höheren Filtrationsdruck von ca. -100 mbar. Man erkennt in der Abbildung sehr gut den Druckanstieg während der Filtrationsphase und die Wirkung des Rückspül-Pulses. Man sieht aber auch, dass durch den Rückspül-Puls der ursprüngliche Startdruck der Filtration nicht wieder erreicht wird. Dadurch erhöht sich der Startdruck eines jeden Filtrationszykluses. Nach 8 Stunden ist er von anfänglich -100 mbar auf -200 mbar angestiegen. Auch ist die Empfindlichkeit gegen ein Belegen der Oberfläche mit den zurückgehaltenen Partikeln deutlich höher. Dies lässt sich aus dem stärkeren Anstieg des Filtrationsdrucks während der 1-stündigen Filtrationsphase erkennen. Der immer steilere negative Druckanstieg resultiert aus der immer höheren Konzentration an Schlammpartikeln.

In Summe lässt sich sagen, dass die S1 Membran derzeit eine bessere Performance in dieser Anwendung hat und dass aus diesem Grund für die Pilotanlage eine S1 als Membranmodul ausgewählt wurde. Allerdings wurden bei der CERAFILTEC im Jahr 2023 große Fortschritte bei neuen Beschichtungen für die Aluminiumoxid Membran gemacht, so dass die CERAFILTEC nach Abschluss der Pilotversuche auch noch eigene Versuche mit dieser neuen Membran aus Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> durchführen wird.

Im Weiteren wurden Langzeitversuche mit großen Schlammengen im Labor durchgeführt. Ziel war es, das Tankdesign der Pilotanlage, aber auch einer möglichen großtechnischen Anlage zu simulieren. In vorangegangenen Laborversuchen konnte gezeigt werden, dass durch gepulste Rückspülung der Belag auf der Membran in wenigen Sekunden entfernt wird.



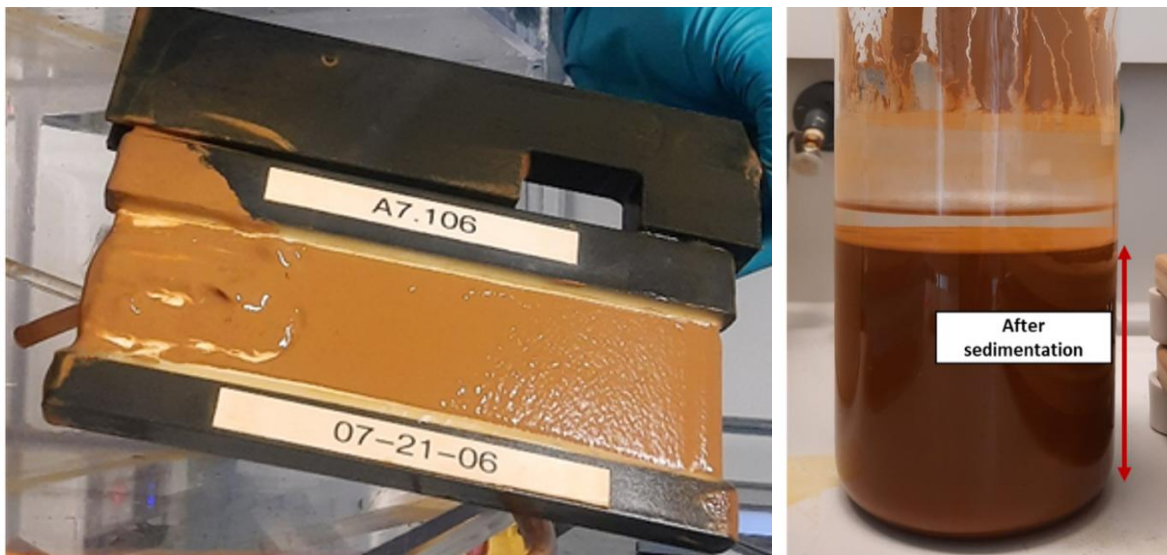
**Abbildung 5: Filtrationsaufbau im Labor für einen Langzeitversuch mit Absetzzone unterhalb der Membran zur Simulation des Tankdesigns der Pilotanlage.**

Der Filtrationstank wie er in Abbildung 2 dargestellt ist, ist sehr gut geeignet Untersuchungen im Zeitmaßstab von 1 bis maximal 12 Stunden zu simulieren (dies entspricht bei 1,5 l/h Filtrationsleistung einer Wassermenge von 1,5 bis 18 Liter). Danach ist die Konzentration des Schlammes im Filtrationsbehälter so hoch, dass eine weitere Filtration nicht mehr möglich ist.

Es wurde ein provisorischer Tank entworfen, der aus einer unten geschlossenen Schlauchfolie mit ca. 0,8 m Länge besteht. Die Membran wird im oberen Teil platziert, so dass unterhalb der Membran ein Absetzraum entsteht. Rohschlamm wird dem Behälter kontinuierlich zugeführt und das Permeat abgezogen. Der sich an der Membranoberfläche während der Filtrationszeit angesammelte Schlamm (siehe auch Abbildung 6) soll nach der gepulsten Rückspülung nach unten in der Absetzraum „fallen“. Das Abfallen und Sedimentieren des sich auf der Membran bildenden Belags in einen Raum unterhalb der Membran funktionierte im 12 h und 25 h Betrieb sehr gut. Ausbeuten von ca. 96 % wurden erzielt.

Aufgrund der Ergebnisse wurde in die Pilotanlage zunächst eine SiC Membran eingebaut. Auch wurde auf Grund der Laborergebnisse auf eine Belüftung zur Entfernung des Membranbelags in der Pilotanlage verzichtet mit dem Ziel, die Sedimentation nicht zu stören. Der Filtrationstank in der Pilotanlage besteht daher aus einem konischen unteren Teil für die Sedimentation. Die Membran befindet sich im oberen, rechteckigen Teil des Tanks.

Hohe Ausbeuten von mindestens 96 % sind möglich und machen das System der Spülwasserrückgewinnung in hohem Maße wirtschaftlich.



**Abbildung 6: Schlamm-Layer auf der Membran vor einer Rückspülung (links) Konzentrat des Schlamms nach 25 h Filtration und Absetzen. Die erzielte Ausbeute beträgt 96 % (rechts).**

### Zusammenfassung der Laboregebnisse

Die Filtration von Rückspülwasser aus Sandfiltern ist mit keramischen Membranen sehr gut möglich. Die Rückhalte in Bezug auf mineralische Feststoffe und Trübe waren bei nahezu 100 %. Dabei eignen sich keramische Membranen sowohl aus SiC als auch aus Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sehr gut. Allerdings sind die Membranen aus SiC ungefähr 50 % teurer als die aus Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Die Fortschritte bei der Entwicklung von fouling-toleranter Beschichtungen auf Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-basierten Membranen, kann die Vorteile der SiC-Membran zum jetzigen Zeitpunkt (2025) ausgleichen, so dass davon auszugehen ist, dass in dieser Anwendung sich die Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Membran durchsetzen wird. Dies war im Jahr 2022 noch nicht vollständig sicher, weswegen die Versuche im Pilotmaßstab zunächst mit einer SiC-Membran begonnen wurden und später auch eine Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Membran zum Einsatz kam.

Die erzielbare Flux-Rate ist für beide Membrantypen bis zu 200 l/mh. Allerdings werden sowohl die Filtrationsdrücke als auch die Reinigungsintervalle von einer zu hohen Flux-Leistung negativ beeinflusst.

Abhängig von der individuellen Wasserzusammensetzung wird eine Flux-Rate von 100 bis 150 l/mh empfohlen.

Die Filtrationszeiten richten sich im Wesentlichen nach der Feststoffkonzentration. Ist die Konzentration im anfallenden Rückspülwasser hoch und/oder sollen hohe Ausbeuten gefahren werden, so muss auch das Filtrationsintervall kurz sein. Bewährt haben sich Intervalle zwischen 10 und 120 Minuten.

Die in der Zielsetzung angestrebte Ausbeute von größer 85 % ist mit der keramischen Membran sicher erreichbar. Auch Ausbeuten von 90 % und größer stellen kein Problem dar. Insbesondere bei einer konstruktiven Unterteilung des Filtrationstanks in Sedimentations- und Filtrationsbereich sind auch Ausbeuten größer 95 % möglich.

Die Rückspülung der Membran ist sowohl mit einer konventionellen Druckumkehr als auch über eine gepulste Rückspülung möglich. Die Permeatmenge ist bei beiden Verfahren ähnlich groß, die gepulste Rückspülung ist jedoch in sehr viel kürzerer Zeit abgeschlossen (1 Sekunde im Vergleich zu 20 bis 30 Sekunden). Eine Belüftung während der Filtration ist möglich, wird aus energetischer Sicht aber nicht empfohlen. Die Belüftung der Membran während der Rückspülung ist sinnvoll und bei höheren Filtrationseinheiten notwendig. Bei Verwendung einer integrierten Sedimentation muss der Positionierung der Belüfterelemente besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Eine chemische Reinigung der Membran sollte im Allgemeinen möglichst selten erfolgen, um Verunreinigungen des Trinkwassers zu vermeiden. Eine großzügige Auslegung der Flux-Werte ist daher zu empfehlen. Dennoch ist eine chemische Reinigung der Membran je nach gewünschten Flux-Werten und Belastung des Wassers in festen Zeitabständen sinnvoll. Als Reinigungslösung kommen im wesentlichen Säuren zum Einsatz. Dabei können sowohl organische Säure (Zitronensäure, Oxalsäure) als auch mineralische Säuren (Salzsäure, Schwefelsäure) verwendet werden. Um Rückstände von organischen Säuren im Permeat zu vermeiden, wird der Einsatz von mineralischer Säure empfohlen. Die Reinigung kann sowohl als CEB (Chemical Enhanced Backwash) als auch als CIP (Cleaning in Place) erfolgen.

#### II.1.4 AP 1.4 Laborversuche mit Polymermembranen (Unterdruck-/Druckfiltration)

Keine Aufgaben für die CERAFILTEC.

## II.2 AP 2 Praxisversuche zur Aufbereitung von Filterspülwässern

Für die Pilotierung wurde eine bestehende Pilotanlage in einem 20 Fuß-Container umgebaut. Anschließend wurden die Pilotanlage zunächst bei Hamburg Wasser eingesetzt und ab Januar 2024 beim OOWV in Holdorf. In Hamburg wurde die Pilotanlage überwiegend durch DVGW-TUHH betrieben. Lediglich der Aufbau, die Inbetriebnahme und Anpassungen der Anlage sowie der Steuerung wurden durch CERAFILTEC vorgenommen. Der Betrieb der Pilotanlage in Holdorf erfolgte in einer Kooperation zwischen DVGW-TUHH und CERAFILTEC. Auch hier wurden weitere Anpassungen vorgenommen.

### II.2.1 AP 2.1 Entwicklung/Inbetriebnahme einer Pilotanlage mit Keramikmembranen

Das P&ID der Pilotanlage zeigt Abbildung 7. Im Zentrum ist der Filtrationstank mit Sedimentationskonus (T-011). Der Zulauf zu diesem Tank erfolgt über die Pumpe P-101 aus dem Schlamm Speicher T-010. Anfangs war dieser Speicher mit einem händischen Rührwerk ausgestattet, später mit einem kontinuierlich laufenden elektrischen Rührwerk. Der Zulauf zum Speicher erfolgt über die Tauchpumpe P-001, welche im Sammelbecken für das Filterspülwasser installiert wird.

Im Filtrationstank ist 1 Membranmodul mit 6 m<sup>2</sup> Membranfläche positioniert. Das Modul ist ein Standardmodul der CERAFILTEC mit 34 keramischen Platten und den Abmaßen von 700 x 600 x 160 mm (LxBxH). Der Plattenabstand beträgt 5,5 mm. Das Modul ist mit der Filtrationspumpe P-102 verbunden. Diese Pumpe ist eine Vorwärts-Rückwärts-Drehende Pumpe, die sowohl die Filtration als auch die Rückspülung durchführen kann. Die Filtrationspumpe fördert das Permeat in einen Permeattank T-012, von wo es durch die Pumpe P-106 füllstandgesteuert aus dem Container gepumpt wird. Die Pumpe P-106 kann mittels Handventil auch als Sprinklerpumpe eingesetzt werden. Dazu sind perforierte Rohre oberhalb des Filtermoduls angebracht. Bei einer Membranreinigung mit Entleerung wird das Modul von oben mit Permeat mit 20 m<sup>3</sup>/h abgesprüht.

Zwischen Membranmodul und Filtrationspumpe befindet sich das aktive Degassing. Der Tank T-014 ist ca. 2 Liter groß und hermetisch geschlossen. Im Unterdruck-Filtrationsbetrieb werden immer wieder Luftblasen freigesetzt, die in dieser Luftfalle einströmen.

Aus AP1 ergeben sich die folgenden Eckdaten für die Entwicklung der Pilotanlage:

- Die Rückspülstrategien „Backwash“ und „Backpulse“ sind erfolgreich, um den Filterkuchen von der Membran zu entfernen und eine gute Eindickung des Schlammes zu erreichen und sollten vorgesehen werden.
- Eine chemische Reinigung mit Zitronensäure zur Verhinderung von Scaling sowie mit Hypochlorid zur Verhinderung von Fouling war erfolgreich, wird jedoch sehr selten benötigt und kann händisch erfolgen.
- Es werden Rückspül drücke bis 1.2 bar benötigt.
- Für die Sammlung des eingedickten Schlammes wird ein Speicherplatz (Konus) im Filtrationstank benötigt.

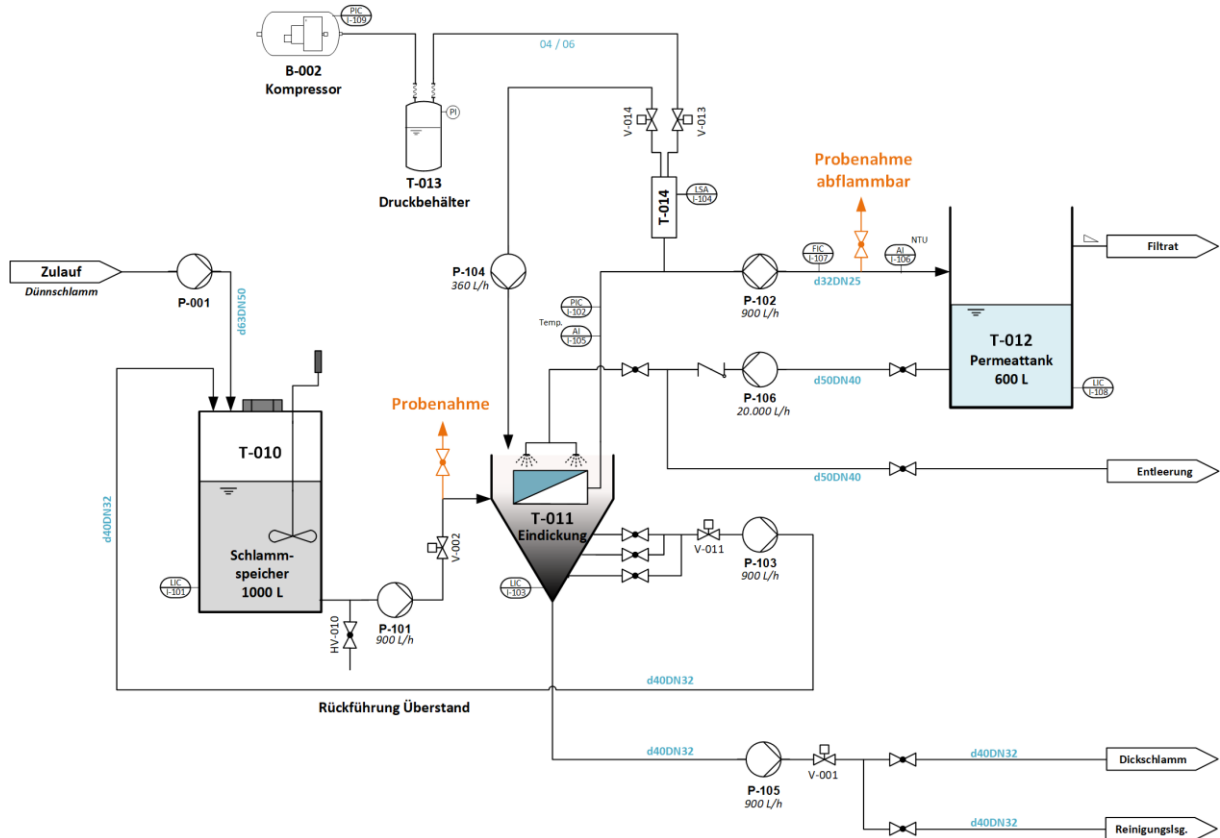


Abbildung 7: P&ID Pilotanlage

Der Umbau einer Containeranlage zur Schlammeindickung durch die CERAFILTEC ist gemäß den Erkenntnissen aus der Laborphase erfolgt. Die Fertigstellung der Anlage war Anfang 2022 weitgehend abgeschlossen, jedoch fehlten Komponenten für die Steuerung der Anlage (vor allem Frequenzumrichter für die Steuerung der Pumpen hatten Lieferzeiten von 9 Monaten).

Die Auslieferung der Containeranlage an das Wasserwerk in Hamburg verzögerte dadurch auf September 2022.

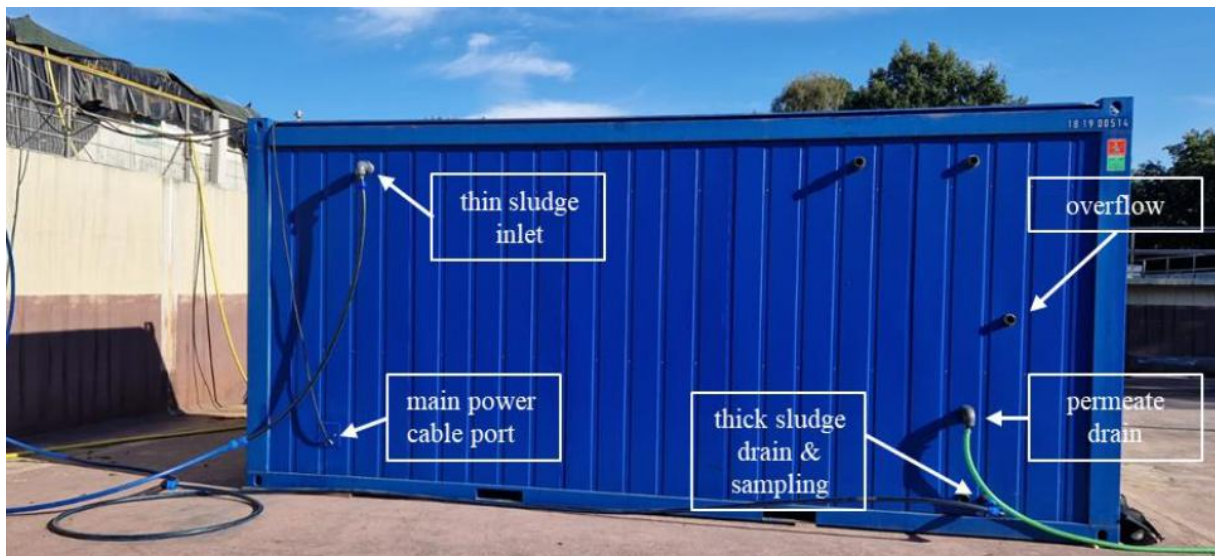


Abbildung 8: Seitenansicht der 20 Fuß Containeranlage mit allen hydraulischen und elektrischen Anschlüssen.

Die Installation der Anlage und deren Anbindung an die Prozesswasserführung des Wasserwerks in Hamburg konnte in 2 Wochen durchgeführt werden. Ein Frostschutz (Isolation und Begleitheizung) an den Rohrleitungen wurde im Herbst nachträglich angebracht. Der Betrieb wurde im Oktober 2022 gestartet.

Die Pilotanlage ist mit einer Tauchpumpe (P-001) ausgestattet, die den Dünnschlamm aus dem Speicherbecken der HamburgWasser entnimmt und in einem Zwischentank puffert. Von dort wird der Filtrationstank über die Pumpe P-101 beschickt. Das händische Rührwerk wurde im Laufe des Projekts (in 2023) von einem elektrischen, dauerhaft laufenden Rührwerk ersetzt. Die Filtration erfolgt über eine Zahnradpumpe (P-102). Druck und Fluss werden ebenso wie Temperatur und Trübe kontinuierlich im Filtrat gemessen. Die Rückspülung kann sowohl konventionell mit der Pumpe als auch über einen Druckstoß erfolgen. Der Permeatbehälter fungiert dabei als Puffertank. Der Schlamm wird diskontinuierlich über die Schlammpumpe P-105 entnommen. Über die entnommene Menge an Schlamm und der Filtratmenge lässt sich ein „Steady State“ bezüglich der Konzentration im Filtratbehälter einstellen.



**Abbildung 9: Innenleben des Pilot Containers: Permeattank mit Permeat Drainpumpe, Filtrationspumpe und gepulste Rückspülung, Schlammumpen, Schlamm Speicher (von links nach rechts)**

Nach der Inbetriebnahme der Pilotanlage zeigten sich verschiedene Probleme bezüglich Schlammabzug und Schlammakkumulierung zwischen den Membranplatten.

Trotz sehr gut funktionierender gepulster Rückspülung hat sich im oberen Bereich des Membranmoduls Schlamm massiv akkumuliert und final das gesamte Membranmodul so verschlammmt, dass mehrfach eine händische Reinigung notwendig war (siehe Abbildung 10).

Grund für diese Verschlammung des Moduls war der Ausfall der Schlammaustragspumpe wegen defekter Gummi-Impeller. Dadurch stieg die Schlammkonzentration auf sehr hohe Werte an. Dies behinderte das Absinken des Schlammes nach der gepulsten Rückspülung in den Konus. Dadurch wurde bei jeder gepulsten Rückspülung ein kleiner Anteil des Schlammes nach oben gedrückt. Durch Sedimentation oberhalb der Membran konnte sich nach und nach eine Schlammsschicht auf dem Modul bilden. Sobald diese Schicht geschlossen über dem Modul liegt, kann auch kein Absinken des Schlammes nach einer Rückspülung mehr erfolgen (Sogwirkung). Final kommt es dann zu einer sehr dichten Schlammsschicht zwischen den Filterplatten, die auch durch Ablassen des Schlammes aus dem Tank nicht mehr entfernt werden konnte. Nur durch eine aufwändige händische Reinigung konnten das Filtermodul wieder gereinigt werden.

**Positiv hervorzuheben ist, dass trotz mehrfacher massiver Verschlämmung das Modul und die Filter keinen Schaden genommen haben, was die robuste Technologie der keramischen Filter bestätigt. Aber auch die gefundenen Probleme geben wichtige Hinweise für den späteren Bau einer großtechnischen Anlage für diese spezifische Anwendung.**



**Abbildung 10: Verschlämmung des Membranmoduls durch den zurückgehaltenen Schlamm aus Eisenoxidpartikel.**

Um während der Pilotierung weiter Problem mit dem Verschlämmen zu vermeiden, wurden zusätzliche Funktionen eingebaut bzw. programmiert: Möglichkeit der Belüftung des Membranmoduls bei der Rückspülung sowie eine vollständige Entleerung in festgelegten Anständen (z. B. jede 48 Stunden). Auch eine veränderte Zulaufführung wurde installiert, die Ablagerungen im oberen Teil des Filters verhindert. Ebenso wurde die Zulaufpumpe und die Schlammpumpe getauscht.

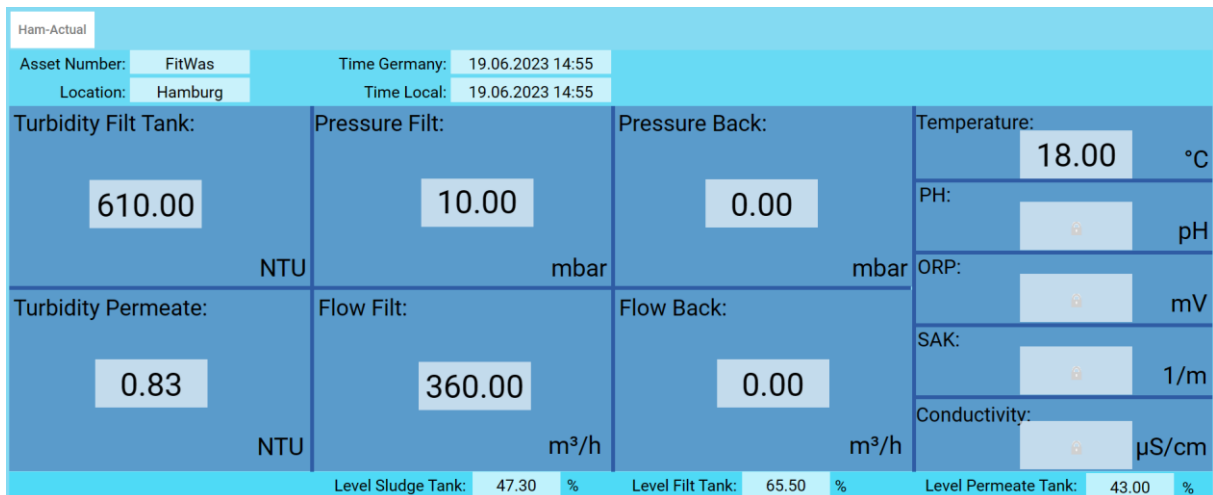
Vor allem die kurze Belüftung während des Rückspülpulses führte dazu, dass die Verschlämmung des Moduls vermieden werden konnte. Durch die funktionierende Schlammmentnahme konnte die Schlammkonzentration auf einen Wert eingestellt werden, der einen dauerhaften Betrieb gewährleistet hat.

Abbildung 11 zeigt die Konstruktion des kombinierten Sedimentations- und Filtrationstank. Auf der linken Zeichnung ist zu sehen, dass das Filtermodul oberhalb des Konus steht. Der Konus ist sehr steil, so dass ein sicheres Nachrutschen des Schlammes erfolgt. Ursprünglich war wie zu sehen ist, die Schlammmentnahme händisch über ein Ventil vorgesehen. Für das FITWAS Projekt wurde hier eine Schlammmentnahmepumpe eingebaut (mittleres Foto). Das rechte Foto zeigt das Modul von oben mit der Permeatsammelleitung oberhalb des Moduls und Sprinklerleitungen an den Seiten.

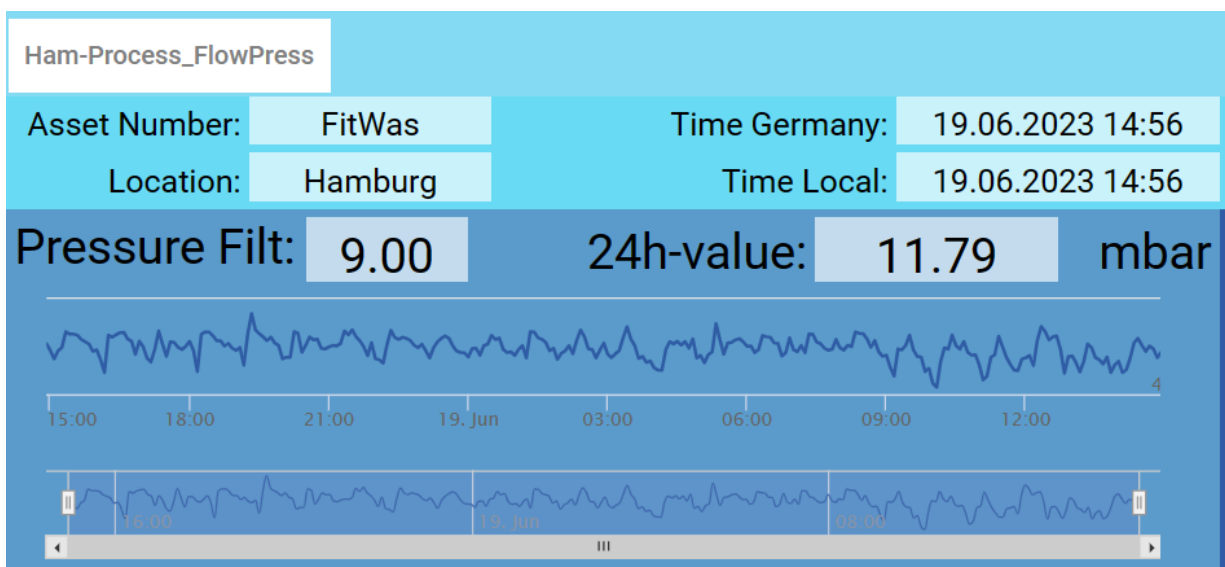


**Abbildung 11: Konstruktion des Filtrationstanks, Schlammabnahme am tiefsten Punkt des Konus, Membranmodul**

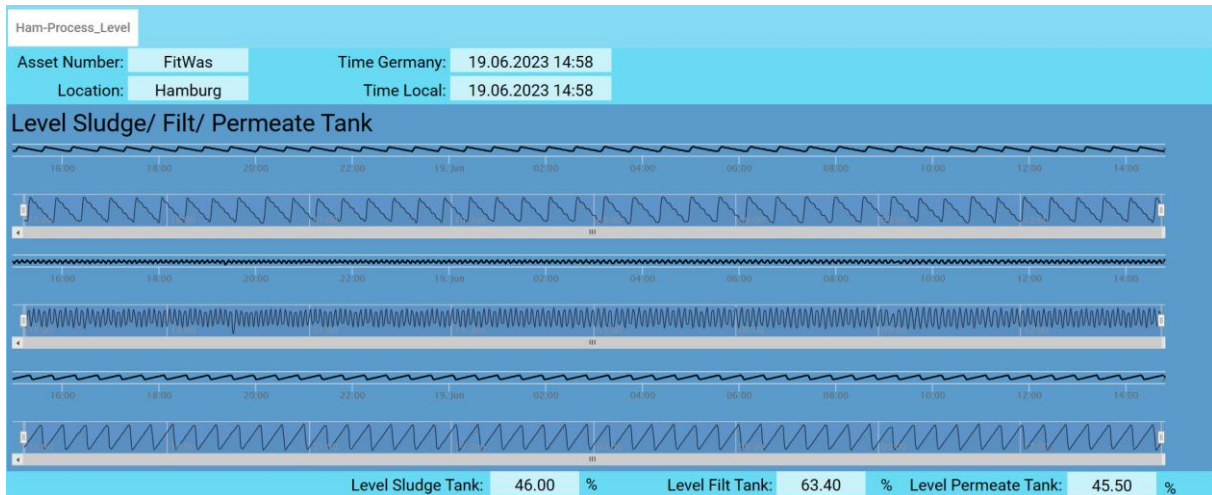
Die Datenerfassung wurde über eine Cloud vorgenommen. Über ein Dashboard konnten alle wichtigen Prozessparameter aktuell angezeigt und auch als Graphen dargestellt werden. Die gespeicherten Daten konnten dann über eine Schnittstelle per Mail verschickt werden (Abbildung 12 bis Abbildung 14).



**Abbildung 12: Live Ansicht der Pilotanlage zur Schlammbehandlung, Übersicht.**



**Abbildung 13: 24 Stunden Darstellung des Filtrationsdrucks**



**Abbildung 14: Übersicht der Pegelstände in den 3 Tanks. Schlamm tank (oben) wird abhängig vom Level befüllt und nach und nach in den Filtrationstank gepumpt. Filtrationstank mit sehr kleinen Schwankungen (mittig) und Permeattank der sich langsam befüllt und bei Erreichen eines oberen Niveaus entleert wird (unten).**

Abbildung 15 zeigt Proben von Zulauf (links) Konzentrat (mitte) und Permeat (rechts) nach der Inbetriebnahme.



**Abbildung 15: Visuelles Ergebnis der Filtration: Zulauf (links), Konzentrat und Permeat (rechts)**

Nach Abschluss der Pilotversuche in Hamburg wurde die Pilotanlage im Dezember 2024 vom Standort Hamburg für Renovierung und Optimierung zum CERAFILTEC Standort Saarbrücken verschoben und anschließend am OOWV-Standort in Holdorf installiert.



**Abbildung 16: Sammelteich für Spülwasser OOWV (linkes Foto) und Aufstellung der Pilotanlage (rechtes Foto): von rechts nach links: Vorlagecontainer, Anlagecontainer und IBC für Schlammproben und Abwasser aus Membranreinigung**

Der Sammelteich befindet sich ca. 1 km von der Pilotanlage entfernt. Von dort wurde das Spülwasser zunächst in einen 20 m<sup>3</sup> großen Container-Stahltank gepumpt. Von diesem Stahltank erfolgte die Zufuhr des Spülwassers in die Pilotanlage. Im Wesentlichen blieben die Funktionen der Pilotanlage identisch im Vergleich mit den Versuchen in Hamburg. Lediglich ein Teil der Aggregate, Rohrleitungen, Belüfter und Messtechnik wurden erneuert.

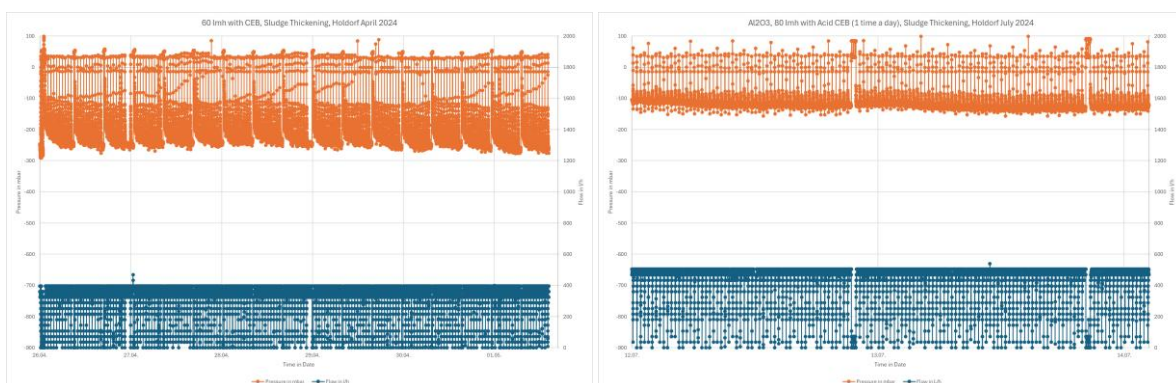
Als Problem erwies sich die ungenügende Durchmischung im Sammelteich und auch im Container-Stahltank. Zwar wurden in beiden Becken Mischpumpen installiert, aber im Sammelteich konnte die Mischung nur während des Pumpens erfolgen. Dadurch änderte sich die Zusammensetzung des Spülwassers je nachdem, ob und wann frisches Spülwasser in den Sammelteich gelangte.

## II.2.2 AP 2.2 Praxisversuche zur getauchten Membranfiltration bei HWW

Keine Aufgaben für die CERAFILTEC.

## II.2.3 AP 2.3 Praxisversuche zur Membranfiltration bei OOWV

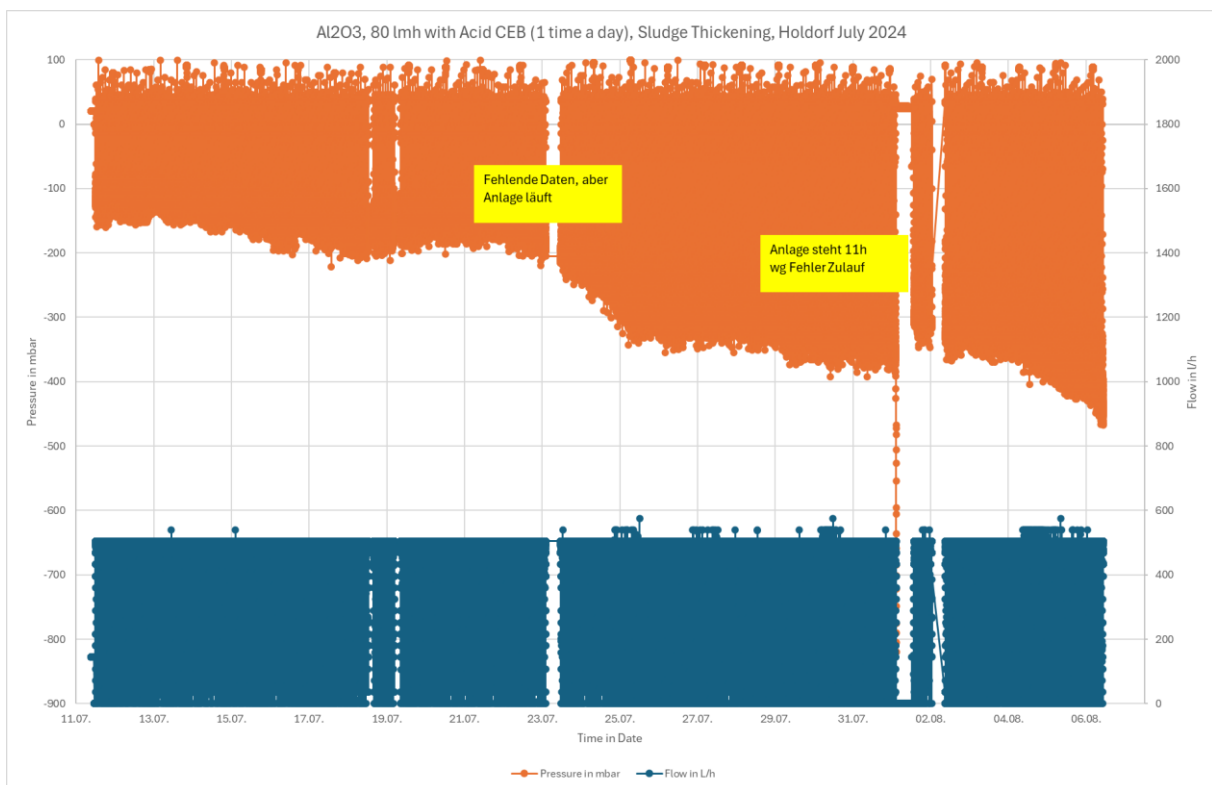
Die Pilotierung beim OOWV wurde in einer Kooperation zwischen DVGW-TUHH und CERAFILTEC durchgeführt. Für die CERAFILTEC war vor allem wichtig, wie sich die die Membranen aus SiC und Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> im Vergleich zueinander verhalten.



**Abbildung 17: Vergleich eines stabilen Betriebs mit SiC-Membran (links) und Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Membran (rechts). SiC war bei einem Flux von 60 l/h und 4 CEB pro Tag stabil (Druck -250 mbar) während die Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Membran bei 80 l/h und 1 CEB pro Tag stabil (Druck -150 mbar) betrieben werden konnte.**

Während der Pilotversuche in Holdorf zeigte es sich, dass das Spülwasser schwieriger zu behandeln war, als dies in den Laborversuchen der Fall war. Auch hatte das Spülwasser in Holdorf ein wesentlich höheres Foulingpotenzial als das Spülwasser in Hamburg. Der Grund hierfür ist nicht vollständig verstanden. Gründe könnten die fehlende Durchmischung im Sammelteich, erhöhter Eintrag von organischen Komponenten durch die Nähe zum Wald (Blätter, Insekten) oder auch erhöhtes Algenwachstum im klaren Wasser wegen Sedimentation. Auch wurde die Partikelgrößenverteilung diskutiert. Hier zeigte es sich, dass in Holdorf die Anzahl an sehr kleinen Partikeln höher.

Abbildung 17 zeigt einen Betrieb der beiden unterschiedlichen Membranmaterialien über mehrere Tage. Beide Membranen konnten bei sehr hohen Ausbeuten von 99 % stabil betrieben werden. Allerdings erreichte die Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Membran einen stabilen Bereich bei 80 l/mh, während die SiC-Membran erst bei 60 l/mh stabil war. Da die SiC-Membran eigentlich weniger foulinganfällig sein sollte, wird die niedrigere Fluxrate vermutlich auf die kleinen Partikel zurückzuführen sein, die die bei SiC vorhandenen größeren Poren zusetzen und erst durch eine CEB wieder frei werden. Auch die notwendigen häufigeren CEB-Reinigungen mit Säure sprechen für diesen Ansatz.



**Abbildung 18: Dauerbetrieb der Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Membran über 26 Tage ohne CIP bei 99 % Ausbeute mit 80 l/mh. Einzelne Chargen von Spülwasser scheinen unterschiedliches Foulingpotenzial zu haben, so dass hier eine hohe Druckzunahme in kurzer Zeit zu beobachten ist.**

Der gesamte in Holdorf gefahrenen Dauerbetrieb mit der Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Membran ist in Abbildung 18 dargestellt. Der Rückspüldruck war nie höher als 100 mbar und der Filtrationsdruck lag anfangs bei -150 mbar und stieg während der Versuche im Allgemeinen langsam an. Allerdings kam es zwischen dem 23. und 25. Juli zu einem relativ hohen Druckanstieg, ohne dass der Grund hierfür geklärt werden konnte. Ein CEB alleine war nicht ausreichend, um bei dieser Ausbeute den Betrieb vollkommen zu stabilisieren. Die Rückführung der Membran in den Ausgangszustand muss dann über ein CIP erfolgen.

#### II.2.4 AP 2.4 Praxisversuche im UBA-Versuchswasserwerk

Keine Aufgaben für die CERAFILTEC.

## II.3 Ergebnisse AP 3 Qualität des rückgewonnenen Wassers und Wiederverwendbarkeit

### II.3.1 AP 3.1 Rechtliche Situation und Rahmenbedingungen für die Wiederverwendung von Filtrat

Keine Aufgaben für die CERAFILTEC.

### II.3.2 AP 3.2 Mikrobiologische Qualität des rückgewonnenen Wassers

Die Untersuchung der mikrobiologischen Qualität des rückgewonnenen Wassers war nicht Teil der Projektaufgaben der CERAFILTEC. Im Zuge der Untersuchung der Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Membran beauftragte die CERAFILTEC die Firma EWEnetz GmbH mit der Analytik. Probenahme erfolgte durch Mitarbeiter des OOWV. Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse. Alle gemessenen Werte für das Permeat entsprechen der Trinkwasserverordnung vom 20. Juni 2023.

**Tabelle 1: Analytik von Feed und Permeat der Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Membran beim OOWV**

	Unit	Feed	Permeat	Feed	Permeat	TrinkwV
Probenahme		24.07.2024		31.07.2024		
Coliforme Bakterien	KBE/100 ml	> 100	0	11	0	0
Enterokokken	KBE/100 ml	> 100	0	11	0	0
Escherichia Coli	KBE/100 ml	65	0	11	0	0
Koloniezahl 22°C	KBE/ml	491	0	65	0	100
Koloniezahl 36°C	KBE/ml	1055	58	108	0	100

### II.3.3 AP 3.3 Qualität des rückgewonnenen Wassers - Chemikalieneintrag

Grundsätzlich sollte in der Trinkwasserfiltration bei der Reinigung der Membran möglichst geringe Mengen an Reinigungschemikalien eingesetzt werden. Hierzu wird der Flux-Wert so gewählt, dass unter die Filterzyklen bis zu einer chemischen Reinigung möglichst lang sind.

Die effizienteste Methode der Membranreinigung ist die CIP (Cleaning in Place). Dabei wird der Filtrationstank mit der getauchten Membran komplett mit Reinigungslösung gefüllt und lässt diese einwirken. Danach wird die Reinigungslösung abgelassen und die Membran von innen und außen gespült, ebenso der gesamte Filtrationstank. Die Reinigungslösung kann in einem CIP-Tank gespeichert werden, um den Verbrauch zu minimieren. Das Spülwasser ist verloren. Bei einer ausreichenden Spülung ist bei dieser Art der chemischen Reinigung eine Kontamination des Trinkwassers ausgeschlossen. Die CIP ist in der Lebensmittelbranche ein etabliertes Reinigungsverfahren.

Ein weiteres chemisches Reinigungsverfahren ist das CEB (Chemical Enhanced Backwash). Hierbei wird in die Backwash Rohrleitung während oder vor einem Backwash die gewünschte Reinigungslösung dosiert. Bei getauchten Systemen sollte hierzu der Filtrationstank bis zur Oberkante der Filter mit Wasser gefüllt sein. Die Rückspülung presst nun die Reinigungslösung vom Permeatraum her durch die Membran. Rückspülen und Einweichen können alternierend gefahren werden. Die Menge an Reinigungslösung ist beim CEB geringer als beim CIP ist aber durch die Verdünnung im Filtrationstank verloren. Abschließend wird der Filtrationstank entleert und gespült. Wichtig ist, dass mit genügend Frischwasser der Permeatraum gespült wird, um beim Wiederanfahren keine Reinigungslösung in das Filtrat zu verschleppen.

Keine weiteren Aufgaben für die CERAFILTEC.

### II.3.4 AP 3.4 Logistische/prozesstechnische Voraussetzungen für die Wiederverwendung von Filtrat

Keine Aufgaben für die CERAFILTEC.

## II.4 Ergebnisse AP 4 Qualität des Filterschlammes und Verwertbarkeit

### II.4.1 AP 4.1 Rechtliche Situation und Wirtschaftlichkeit der Filterschlamm-Verwertung

Keine Aufgaben für die CERAFILTEC.

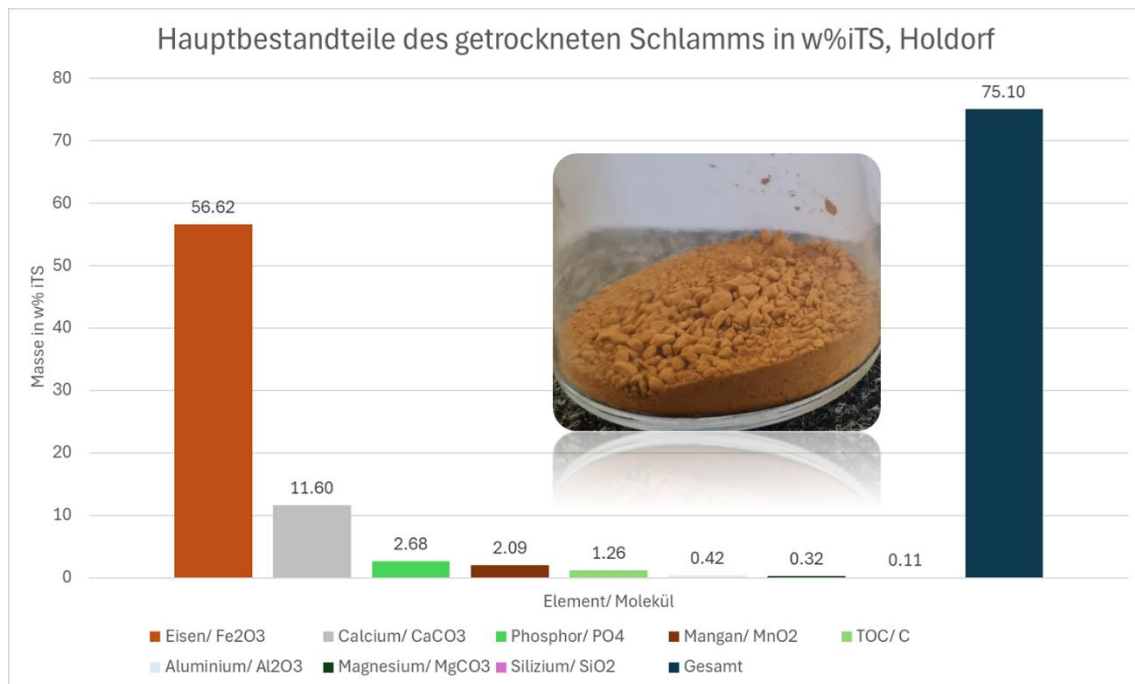
### II.4.2 AP 4.2 Qualität des Filterschlammes in Bezug auf mechanische Eigenschaften

Bedingt durch einen Stromausfall, stand die Anlage in Holdorf für einige Tage. Ein Teil des Schlammes war im Filtrationstank getrocknet. Die CERAFILTEC hat diesen getrocknete Schlammprobe entnommen und auf die Inhaltsstoffe analysieren lassen. Tabelle 2 zeigt die analysierten Elemente geordnet nach ihrer Häufigkeit in der Probe.

**Tabelle 2: Analyse des Schlammes Holdorf (OOWV)**

Element	mg/kg ITS	Element	mg/kg ITS	Element	mg/kg ITS	Element	mg/kg ITS
Eisen	396000	Wolfram	490.0	Tellur	21.3	Chloride	<BG (25)
Calcium	46400	Schwefel	432.0	Titan	21.2	Lithium	<BG (3)
Mangan	13200	Barium	384.0	Chrom	15.1	Molybdän	<BG (0.3)
Phosphor	8740	Zink	266.0	Zirkon	11.3	Selen	<BG (1.5)
Aluminium	2229	Natrium	254.0	Vanadium	11.2	Thallium	<BG (0.4)
Kalium	966	Kupfer	192.0	Antimon	6.0	Zinn	<BG (4)
Magnesium	932	Cobalt	114.0	Blei	4.1	BG: Bestimmungsgrenze	
Silizium	510	Nickel	113.0	Beryllium	3.8		
		Strontium	109.0	Bor	3.5		
		Arsen	87.5	Cadmium	3.0		

Abbildung 19 zeigt das Analyseergebnis hochgerechnet unter der Annahme, dass alle Metalle als Oxide vorliegen. Da die Schlammanalyse nicht im Aufgabengebiet der CERAFILTEC lag, wurde keine weitere Untersuchung vorgenommen.



**Abbildung 19: Inhaltsstoffe des getrockneten Schlammes aus Holdorf (OOWV)**

II.4.3 AP 4.3 Qualität des Filterschlamm in Bezug auf mikrobiologische Eigenschaften

Keine Aufgaben für die CERAFILTEC.

II.4.4 AP 4.4 Versuche zur weitergehenden Schlammentwässerung

Die CERAFILTEC hat sowohl am Standort Hamburg als bei in Holdorf das aufkonzentrierte Spülwasser für eine weitergehende Aufbereitung zur Verfügung gestellt.

II.4.5 AP 4.5 Versuche zur Schlamm-trocknung und -konditionierung

Keine Aufgaben für die CERAFILTEC.

## II.5 Ergebnisverwertung

### II.5.1 AP 5.1 Ergebnisverwertung für die Fachöffentlichkeit

Die CERAFILTEC hat in den letzten Jahren vor allem auf Messen auf sich aufmerksam gemacht. Bereits in 2023 aber vor allem in 2024 wurde auf allen Messen auch für das Projekt FITWAS geworben und die Ergebnisse vorgestellt. So wurde z. B. die Kontakte zur Firma Logisticon 2023 auf der Aquatech in Amsterdam hergestellt, die letztendlich zu einer ersten Referenz für die CERAFILTEC im Bereich Spülwasser aus einem Trinkwasserwerk führte (siehe auch nächstes Kapitel). Im Folgenden eine Auflistung der Messen, auf denen die CERAFILTEC mit einem Stand vertreten war:

#### **2023**

AMTA (USA)	22.02.2023	bis	24.02.2023
MENA Desal <b>Conference</b> (UAE)	14.03.2023	bis	15.03.2023
WATREX (Egypt)	15.05.2023	bis	17.05.2023
BlueTech <b>Conference</b> (Scotland)	16.05.2023	bis	18.05.2023
Aquatech Mexico (Mexico)	09.05.2023	bis	09.07.2023
WEFTEC (USA)	02.10.2023	bis	04.10.2023
Aquatech (Netherlands)	06.11.2023	bis	09.11.2023
WETEX (UAE)	15.11.2023	bis	17.11.2023

#### **2024**

Oman Water Week (Oman)	22.01.2024	bis	24.01.2024
AMTA (USA)	04.03.2024	bis	07.03.2024
IFAT (Germany)	13.05.2024	bis	17.05.2024
SIWW (Singapore)	19.06.2024	bis	22.06.2024
WETEX (UAE)	01.10.2024	bis	03.10.2024

### II.5.2 AP 5.2 Ergebnisverwertung in Form von Publikationen / Patenten

Derzeit sind von Seiten der CERAFILTEC keine Patentanmeldungen aus den Entwicklungen im Rahmen von FITWAS geplant.

### II.5.3 AP 5.3 Ergebnisverwertung für den Export

Die CERAFILTEC Germany GmbH ist ein stark exportorientiertes Unternehmen, da vor allem in der Vergangenheit Probleme mit Wasserknappheit überwiegend in den wärmeren und trockenen Ländern bestanden.

Zum Überprüfen des Filtrationsverhalten der CERAFILTEC keramischen Membranen bei erhöhten Wassertemperaturen wurde Filtrerrückspülwasser aus dem Auffangbecken am Standort OOWV Holdorf verwendet.

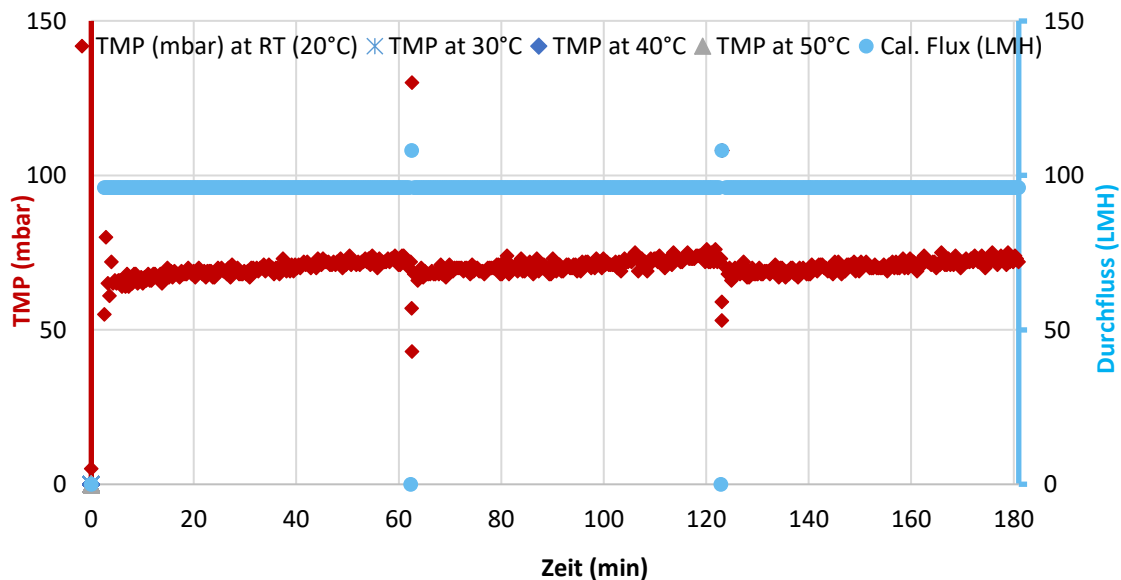
Mittels einer Laboranlage für Filtrationen bei hohen Feststoffgehalten und für Aufkonzentrierungen wurde das Filtrerrückspülwasser getestet. Ziel der Experimente war es, den transmembranen Druck bei einer Wassertemperatur von 20, 30, 40 und 50 °C zu bestimmen.

Dazu wurde eine Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Membran mit einer Filterfläche von 0,01 m<sup>2</sup> verwendet. Die grundsätzlichen Ergebnisse bezüglich Filtrationsverhalten können direkt auf eine Membran aus SiC übertragen werden.

Der wesentliche Unterschied bei den Membranen liegt in der Trenngrenze, die bei einer Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Membran etwas besser ist als bei einer SiC Membran.

Vor dem Filtrationsstart wurde das Wasser mit einem Heizelement im Filtrationstank auf die gewünschte Temperatur erwärmt und während der Filtration konstant gehalten. Die Filtration erfolgte bei einem Durchfluss von 100 LMH und wurde während 59 Minuten durchgeführt. Darauf folgte eine Rückspülung von 30 Sekunden bei 400 LMH. Dieser Zyklus wurde für jede getestete Temperatur dreimal hintereinander durchgeführt. Aufgrund der begrenzten Menge an Filtrerrückspülwasser (20 L) welches als Wasserprobe verwendet wurde, wurde das Permeat in den Filtrationstank zurückgeführt (Kreislauführung).

Der transmembrane Druck (TMP) der vier getesteten Temperaturen ist in Abbildung 20 dargestellt. Man erkennt, dass mit höheren Temperaturen der TMP kleiner wird. Der Durchfluss von 100 LMH ist als hellblaue konstante Linie dargestellt. Der Rückspülvorgang bei 400 LMH dauert nur 30 Sekunden. Zur besseren Übersicht endet die Skala für den Fluss bei 150 LMH, so dass die Rückspülung nicht mehr dargestellt ist.



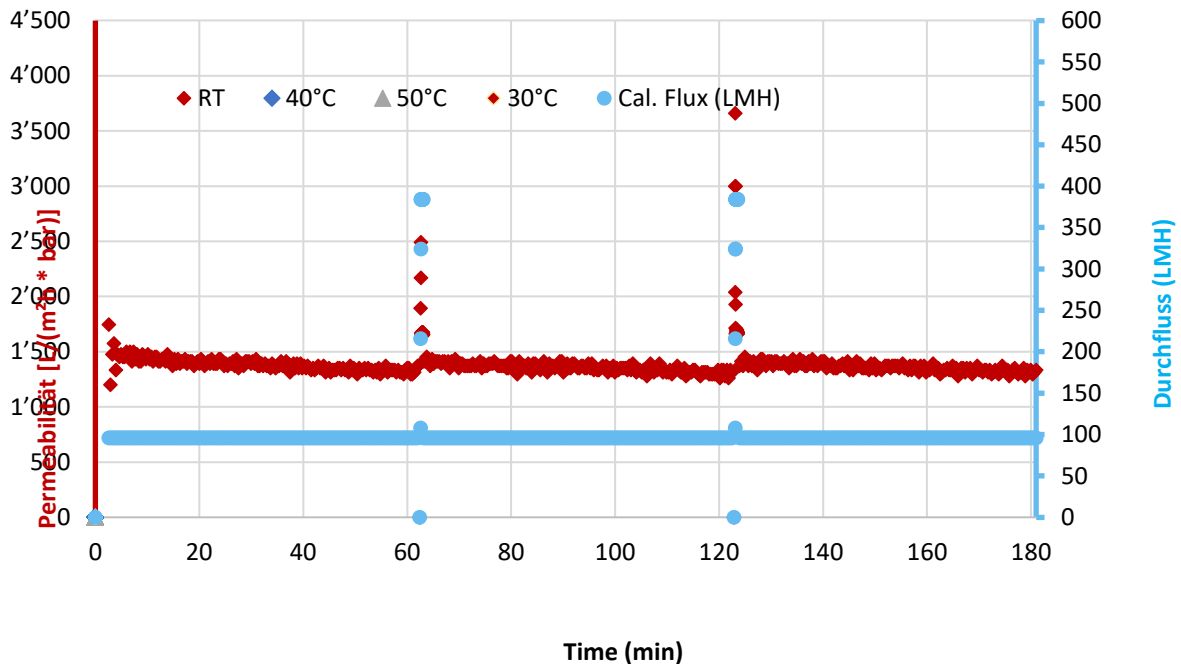
**Abbildung 20: Transmembraner Druck (TMP) während den Filtrationsexperimenten bei jeweils 20, 30, 40 und 50 °C. Mit Zunahme der Wassertemperatur wird eine Abnahme des TMP beobachtet. Der Durchfluss bleibt konstant bei allen getesteten Temperaturen 100 LMH.**

Die Druckabnahme bei höheren Temperaturen ist zu erwarten, da bei zunehmender Temperatur die Viskosität des Wassers verringert und somit der Fluss durch die Membranporen einen kleineren Widerstand erfährt. Somit nimmt der TMP ab. Aus Abbildung 20 wird ebenfalls ersichtlich, dass sich während der Filtration innerhalb eines Zyklus eine Deckschicht aufbaut (auch Fouling genannt), was zur konstanten Zunahme des TMP's führt. Diese Deckschicht wird bei der Rückspülung entfernt, wodurch der TMP wieder die Ausgangsgröße annimmt.

Für jede Temperaturreihe wurde eine neue Membran verwendet. Der erhöhte TMP zu Beginn jeder Messreihe kann darauf zurückgeführt werden, dass noch nicht alle Poren der Membran mit Wasser benetzt waren. Insbesondere sehr kleine Poren werden erst durch einen hohen Filtrationsdruck und hohe Geschwindigkeiten bei der Durchströmung benetzt. Dies erfolgt spätestens bei der ersten Rückspülung der Membran. Daher ist der erste Filtrationszyklus oft atypisch.

Der etwas höhere TMP bei 20 °C kann durch eine ungenügend gereinigte Membran erklärt werden.

In Abbildung 21 ist die Permeabilität der Membran über die Zeit aufgetragen. Analog dem TMP nimmt die Permeabilität mit erhöhter Temperatur zu. Als Basis gilt bei den Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Membranen eine Permeabilität von 1500 L/(m<sup>2</sup>h \* bar). Bei 20 °C lag die Permeabilität bei etwa 1400, bei 30 °C bei 1800, bei 40 °C bei 2200 und bei 50 °C bei 2400 L/(m<sup>2</sup>h \* bar). Bei erhöhten Temperaturen mit dem Filtrerrückspülwasser wurden Permeabilitäten erreicht, welche höher sind als bei Filtrationen mit Reinstwasser bei 20 °C.



**Abbildung 21: Permeabilitäten während den Filtrationsexperimenten bei jeweils 20, 30, 40 und 50 °C. Mit Zunahme der Wassertemperatur wird eine Zunahme der Permeabilität beobachtet. Der Durchfluss bleibt konstant bei allen getesteten Temperaturen 100 LMH**

Die Qualität des Permeats wurde mit Trübungs- und SAK-Messung bei 254 nm bestimmt und bei den verschiedenen Temperaturen gemessen. Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse. Es gibt keine signifikanten temperaturabhängigen Unterschiede der untersuchten Qualitätsparameter. Die gemessene Trübung blieb konstant unter der Nachweisgrenze und die UV 254 Messungen zeigten keine signifikanten Unterschiede sowie keine Abhängigkeiten zur Temperatur.

**Tabelle 3: Trübe und UV 254 Messungen im Permeat bei jeweils 20, 30, 40 und 50 °C. Die Qualität des Permeats verändert sich nicht signifikant und zeigt keine Abhängigkeit zur Temperatur des Wassers**

Temperatur	Filtrationszeit (min)	Trübung (NTU)	SAK 254 (UVA)
20°C	15	<0,01	0,038
	165	<0,01	0,039
30°C	15	<0,01	0,033
	165	<0,01	0,030
40°C	15	<0,01	0,045
	165	<0,01	0,038
50°C	15	<0,01	0,033
	165	<0,01	0,039

### Zusammenfassung der Laborversuche bei erhöhten Temperaturen

Es konnte nachgewiesen werden, dass eine keramische Membran in Filtrationsprozessen mit Filtrerrückspülwasser in einem Temperaturbereich von 20 bis 50 °C keine Verschlechterung der Qualität des Permeats aufweist.

Der Filtrationsdruck verringert sich bei erhöhten Temperaturen, was zu einer weiteren Sicherheit des Prozesses beiträgt. Dies deckt sich mit den Erfahrungen von CERAFILTEC bei der Filtration von Grundwässern mit Temperaturen bis 60 °C.

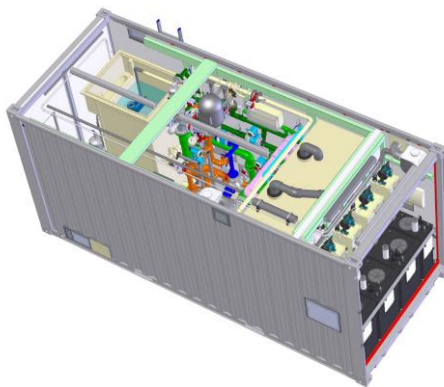
Bei Filtrationsprozessen in Bereichen von 20 °C bis 40 °C können bei einem erhöhten Gehalt an organischen Komponenten oft ein starkes Bakterienwachstum beobachtet werden. Erfahrungsgemäß wird jedoch bei Sandfiltern in warmen Regionen (z.B. Jordanien, Saudi-Arabien) bereits das Zulaufwasser zum Sandfilter chloriert, um so das Wachstum von Bakterien zu verhindern. Entsprechend enthält auch das Filtrerrückspülwasser freies Chlor zur Desinfektion. Hier hat die keramische Membran wegen seiner chemischen Beständigkeit deutliche Vorteile im Vergleich mit Polymermembranen.

Die CERAFILTEC sieht aber auch im europäischen Ausland einen großen Markt für das Verfahren der Spülwasseraufbereitung. So besuchte im März 2024 auf Anraten der Fa. Logisticon die Firma Vitens (beide Holland) die Pilotanlage beim OOWV. Vitens ist ein holländisches Unternehmen, das Trinkwasserwerke in Holland betreibt und für 6 Millionen Kunden pro Jahr 340 Mio m<sup>3</sup> Trinkwasser bereitstellt. Bedingt durch die Grundwasserqualitäten sind dort die Rückspülmengen bei 4 – 5 % des Trinkwassers. Die Technologie war für den Kunden so beeindruckend, dass er bereits Ende 2024 Membranmodule bestellte und im Januar 2025 eine entsprechende Anlage in Betrieb nahm. Abbildung 22 zeigt die beiden Filtrationstanks als Foto und eine Zeichnung der Modulanordnung im Filtrationstank mit 6 mal 11-Module-Türmen. Die Anlage kann bis zu 80 m<sup>3</sup> pro Stunde Spülwasser aufbereiten (100 l/mh) wird in der Regel aber im low-flow-Betrieb gefahren (50 l/mh), um möglichst wenige chemische Reinigungen zu haben. Die finale Sedimentation ist in diesem Fall in einem Becken im Freien realisiert. Bei einem Besuch des Kunden im März 2025 wurde seitens Vitens besonders betont, dass die gepulste Rückspülung im Zusammenspiel mit einem kurzen Belüfterstoß sehr gut funktioniert und energetisch sehr effizient arbeitet. Auch sei die mikrobiologische Qualität sehr gut, so dass derzeit auf den Betrieb der installierten UV-Desinfektion verzichtet werden kann, was wiederum Energie einspart und die Lebensdauer der UV-Lampe verlängert.



**Abbildung 22: Spülwasseraufbereitungsanlage der Fa. Vitens mit keramischen Flachmembranen (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) der Fa. CERAFILTEC in 2 Filtrationstanks mit 2 mal 66 Modulen, in Summe 792 m<sup>2</sup> Membranfläche.**

Die Firma Vitens wurde von dem holländischen Anlagenbauer Logisticon beraten. Logisticon ist ebenfalls von der Technologie der CERAFILTEC überzeugt und hat seit Ende 2024 bereits 2 Pilotanlagen gebaut und in Betrieb genommen.



**Abbildung 23: Pilotanlage der Fa. Logisticon mit Membranen der CERAFILTEC im 20 Fuß Container**

Die Abbildung 23 zeigt die 3-D Zeichnung der Pilotanlage und ein Foto von oben in den Filtrationstank. Die Anlage ist mit Membranen aus Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in einem Turm mit 8 Modulen bestückt. Die Anlage ist voll automatisiert mit gepulster Rückspülung und chemischer Reinigung. Derzeit wird mit der Anlage eine Pilotierung in einem weiteren Wasserwerk von Vitens durchgeführt.

Abbildung 24 zeigt die zweite Pilotanlage von Logisticon in einem Wasserwerk. Wieder ist die Membran aus Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> und besteht aus einem 8-er Modulturm. Tank und Maschinenhaus wurden hier getrennt ausgeführt.

Beide Anlagen laufen nach Aussage des Betreibers Logisticon sehr zuverlässig und das aufbereitete Wasser entspricht den entsprechenden Vorgaben für Trinkwasser.



**Abbildung 24: Pilotanlage von Logisticon mit separatem Filtrationstank und 10 Fuß Maschinenhaus.**

Die Erfolge der Technologie im großtechnischen Maßstab werden derzeit aufmerksam verfolgt und die CERAFILTEC wird seine Anstrengungen verstärken, diese Technologie auch in anderen Ländern zu etablieren. Vor allem in Ländern, die heute schon unter Wasserstress leiden, wird sich diese Technologie erfolgreich durchsetzen, durch Ergänzung des Sandfilters die Gesamtausbeute der Wasserressource auf nahezu 100 % zu steigern.

Aus heutiger Sicht kann die Technologie so wie sie im Projekt FITWAS entwickelt wurde für alle Länder eingesetzt werden. Eine Anpassung der Prozessparameter an Schlammbelastung, Wassertemperatur, Keimlast und örtliche Vorschriften werden notwendig sein, lassen sich aber im Wesentlichen über den Fluxwert, die Art der Vorsorge bezüglich einer Nachverkeimung sowie der Intervalle einer chemischen Reinigung erreichen.

#### II.5.4 AP 5.4 Energetische und wirtschaftliche Gesamtbewertung für die Ergebnisverwertung

Aus Sicht der CERAFILTEC ist für Rückgewinnung der Spülwässer von Sandfiltern aus der Grundwasseraufbereitung die keramischer Flachmembran das optimale Verfahren. Dies liegt vor allem an der Zusammensetzung des Schlammes (hohes spezifisches Gewicht, da die Inhaltsstoffe überwiegend Eisen-, Mangan- und Calciumoxid/-Hydroxyd sind), der Anforderung einer möglichst hohen Aufkonzentration (möglichst viel Wasser soll zurückgewonnen werden und die Schlammmenge soll möglichst klein sein, um den Abtransport mit LKW zu minimieren) und der Trinkwasseranforderung. Ausbeuten bei der Spülwasserbehandlung von 99 % sind so möglich. Die Ausbeute der Wasserressource kann dadurch von z. B. 97 % auf 99,97 % gesteigert werden.

Robustheit der Membran: Bei Polymermembranen kann es durch das hohe spezifische Gewicht des Schlammes und den notwendigen hohen Schlammkonzentrationen zum Bruch der feinen Hohlfasern kommen. Die Bruchstellen sind dann für die Trinkwasseranforderung ein Problem, da der Rückhalt von Feststoff und Keimen nicht mehr erfolgen kann. Die keramische Flachmembran kann in dieser Anwendung mit Schlammkonzentrationen von bis zu 80 g/L problemlos arbeiten. Auch bei einer starken Verschlammung kann die Membran wieder regeneriert werden ohne Schaden zu nehmen.

Hohe Ausbeuten: Durch die hohe Toleranz bezüglich der Schlammkonzentration kann auch die Ausbeute sehr hoch angesetzt werden. Bis 99 % können hier als Zielmarke angesetzt werden.

Niedriger Filtrationsdruck: Bedingt durch den Unterdruckbetrieb ist der Filtrationsdruck auf einen Wert kleiner -0,6 bar begrenzt. Insbesondere wenn das Verfahren in einem Low-Flux-Modus betrieben wird, sind die Drücke in der Regel kleiner als -0,3 bar. Unter einem Low-Flux-Modus versteht man den Betrieb des Verfahrens mit einem deutlich kleineren Flux als es möglich wäre, in diesem Fall mit ca. 50 l/h anstelle von 100 – 150 l/h. Dadurch lassen sich lange Filtrationszeiten realisieren, ohne dass die Membran chemisch gereinigt werden muss.

Kurze Rückspülpulse: In diesem Projekt wurde erstmals langfristig der Rückspülpuls als Verfahren für ein ganzen Modul eingesetzt. Damit ist es möglich innerhalb von ca. 2 Sekunden die Rückspülung durchzuführen. Der Wassereinsatz ist dabei mit ca. 1 l pro Modul, bzw. 0,17 l/m<sup>2</sup> Membranfläche sehr gering. Trotzdem können Rückspülfluxleistungen von 250 bis 300 l/h erreicht werden. Der Energieeinsatz dafür ist wegen der geringen Wassermengen extrem klein.

Einsatz Belüftung: Eine dauerhafte oder intermittierende Belüftung der Membran ist während der Filtration nicht notwendig. Es hat sich gezeigt, dass eine Belüftungsstoß während des Rückspülpulses notwendig ist. Die Laufzeit eines Kompressors verkürzt sich dadurch auf etwa 10 Sekunden je 30 Minuten und damit auf lediglich 8 Minuten pro Tag. Durch Einsatz eines Druckluftspeichers kann der Energieeinsatz weiter minimiert werden (Stichwort Anlaufstrom).

Niedriger Energieeinsatz: Die niedrigen Filtrationsdrücke führen zu einem niedrigen Energieeinsatz der Filtrationspumpe. In der Regel liegt er bei ca. 10 W/m<sup>3</sup>. Da die Belüftung nur sehr kurz während der Rückspülung erfolgt, kann der Energieeinsatz für Rückspülung und Belüftung vernachlässigt werden.

Permeatqualität: Bereits bei der Beprobung in Holdorf hat sich gezeigt, dass der Rückhalt in Bezug auf Keime sehr gut ist. Auch eine Nachverkeimung des Permeats findet in der Regel nicht statt. Dies hat sich auch in der ersten Referenzanlage bei Vitens in Holland bestätigt. Auch die Werte für die Trübe liegen bei der Referenzanlage dauerhaft bei ca. 0.1 NTU.

Membranmaterial: Im Projekt wurden sowohl SiC- (Siliciumcarbid) als auch Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- (Aluminiumoxid) Membranen eingesetzt und getestet. Von der Filtrationseigenschaften sind beide Membranen ähnlich. Jedoch sind Membranen aus Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> deutlich günstiger und haben eine etwas bessere Bruchfestigkeit. Die CERAFILTEC empfiehlt aus diesen Gründen für die Anwendung Spülwasseraufbereitung die Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Membran. Die sehr guten Ergebnisse in den beiden Pilotanlagen von Logisticon und der Referenzanlage von Vitens bestätigen diese Empfehlung.

Filtrationstank mit integrierter Sedimentation: Hat ein Filtrationstank eine integrierte Sedimentation, kann der Prozess kontinuierlich gefahren werden. Dies spart Kosten und Energie. Das Konzept empfiehlt sich vor allem bei kleineren Anlagen bis 50 m<sup>3</sup>/h. Bei größeren Anlagen wird man die Filtrationstürme mit bis zu 12 Modulen hoch wählen. Hier empfiehlt es sich, den Prozess als Batch zu fahren und den Filtrationstank nach erreichter Aufkonzentration komplett zu leeren und die Sedimentation ggf. in einem separaten Tank durchzuführen. Das überstehende Wasser kann dann wieder dem Filtrationsprozess zugeführt werden, um die Ausbeuten zu maximieren.

Übertragbarkeit der Ergebnisse: Aus den Erfahrungen im Projekt, der Übertragung auf die drei Grundwasseranlagen in Holland und den Erfahrungen mit Grundwasserprojekten in Saudi-Arabien, Jordanien und Thailand kann man davon ausgehen, dass das Verfahren sich sehr gut eignen wird, um diese Spülwässer aufzubereiten. Die CERAFILTEC wird das Verfahren aber auch auf andere Sandfilter aus dem Bereich der Oberflächenwässer und industriellen Wässern ausweiten. Zielmärkte sind hier vor allem Ägypten, Indien, USA, China.

## II.6 Ergebnisse AP 6 Projektkoordination, Datenaustausch, Projekttreffen, Berichte

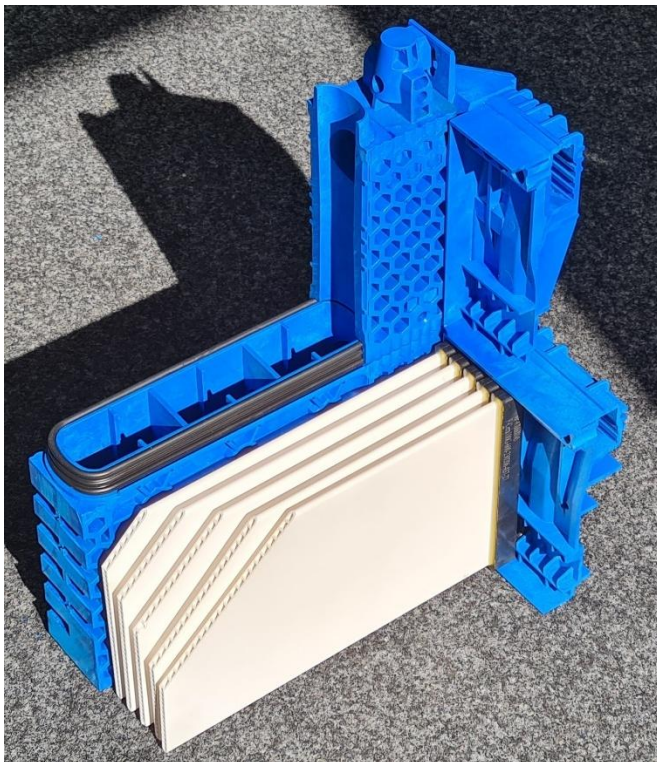
### II.6.1 AP 6.1 Projektkoordination, Partnerabsprachen, Projekttreffen, Berichte

DVGW-TUHH übernimmt die Koordination des Verbundprojektes, mit Organisation von Projektmeetings (im Wechsel bei den Partnern), Datenaustausch, Berichten etc.

Die CERAFILTEC hat an allen durch den Projektkoordinator angesetzten Projekttreffen, Online oder in Präsenz) teilgenommen. Die CERAFILTEC bedankt sich ausdrücklich beim Koordinator DVGW-TUHH und den anderen Partnern für die sehr kooperative, freundschaftliche und vor allem professionelle Projektdurchführung.

### II.6.2 AP 6.2 Zuarbeit/Teilnahme beim Vernetzungsvorhaben

Im Rahmen des WavE II Programms hat auch die CERAFILTEC an der Abschlussveranstaltung am 8. und 9. Oktober 2024 im DECHEMA-Haus in Frankfurt teilgenommen. Die CERAFILTEC war neben der Erwähnung auf den ausgestellten Postern und den Vorträgen auch mit einigen Exponaten der Membran und einer Labor-Filteranlage vor Ort anwesend.



**Abbildung 25: Das Exponat auf der WavE II Abschlussveranstaltung ist ein Ausschnitt aus einem CERAFILTEC Filtermodul. Es besteht aus Teilen des Gehäuses (Abschnitte des Seitenteils mit Dichtung und Kanal, sowie Abschnitte des Stirnteils, in dem die Membranen eingesteckt sind). Das Exponat zeigt weiterhin wie 2 Module übereinandergestapelt sind und wie dadurch der interne Filtratkanal gebildet wird. Außerdem sind 5 Membranteilstücke zu sehen wie sie mit dem Gehäuse verbunden sind und wie der innere Aufbau der keramischen Flachmembran aussieht.**

Am 7. November 2024 wurde das Projekt FITWAS im Rahmen eines Online-Seminars des DVGW vorgestellt. Die Zielgruppe waren Wasserversorgungsunternehmen mit Grundwasseraufbereitung sowie Planende im Anlagenbau. Auch die CERAFILTEC hatte hierzu einen Vortrag gehalten und stand für die spätere Diskussion zur Verfügung.

### III. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Alle finanzielle Planungen in Bezug auf Projektmittel konnten eingehalten werden.

#### IV. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Die CERAFILTEC hat unter der Priorisierung von Sorgfalt und Richtigkeit alle Arbeiten möglichst effizient und kostengünstig durchgeführt. Alle Ausgaben waren notwendig, um die erreichten und präsentierten Ergebnisse zu erzielen. Die CERAFILTEC bedankt sich hiermit beim Projektträger und dem BMBF für die Zuwendungen und die gute Projektbetreuung.

## V. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Wie unter Kapitel II. 5.3 bereits beschrieben, ist die Referenzanlage bei Fa. Vitens (Holland) in Noardbergum im Januar 2025 in Betrieb gegangen. Zwei Pilotierungen mit der Fa. Logisticon (Holland) bei Oasen De Steeg und Vitens Sint Jansklooster werden derzeit durchgeführt. Hochgerechnet allein auf den Kunden Vitens in Holland mit seinen 6 Mio. Kunden ist das Potenzial für die Spülwasseraufbereitung bei ca. 17 Mio m<sup>3</sup> Wasser pro Jahr. Dies entspricht einer notwendigen Membranfläche von ca. 24.000 m<sup>2</sup> bzw. 4000 Modulen und damit einem Umsatz von ca. 4 Mio €.

Überträgt man diese Zahlen auf die gesamte EU-27 mit 450 Mio. Einwohnern, kann man das riesige Einsparpotenzial in Bezug auf Wasser und Umsatzmärkte ableiten. Auch wenn der Anteil an Rückspülwasser in Holland deutlich höher ist als bei den beiden im Projekt pilotierten Wasserwerken Hamburg und Holdorf.

In ariden Ländern wie Z. B. Ägypten ist der Anfall an Spülwasser und der Bedarf an Aufbereitungstechnologie um ein Vielfaches höher. Hier handelt es sich jedoch in der Regel um Oberflächenwasser aus Flüssen und Stauseen. Das im FITWAS Projekt entwickelte Verfahren wird sich mit Anpassungen an die gegebenen Verhältnisse jedoch sicher übertragen lassen.

## VI. Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Die CERAFILTEC sieht seine Technologie in diesem Feld der Spülwasseraufbereitung aus der Grundwasserfiltration mit Sandfiltern als optimale Technik. Das Produkt der CERAFILTEC ist weitestgehend optimiert. Der Konkurrent Meiden aus Japan hat ebenfalls eine keramische Flachmembran, allerdings eignet sich deren Modulgeometrie nicht sehr gut, um hochkonzentrierte Schlämme zu filtrieren. Aktivitäten von Meiden für die Spülwasseraufbereitung sind nicht bekannt. Der dänische Konkurrent Cembrane mit seinem US-amerikanischen Partner Ovivo hat das Modul der CERAFILTEC kopiert und vertreibt dieses mit SiC Membranen. Cembrane versucht auch den Prozess der CERAFILTEC zu kopieren. Allerdings sind die Kosten der SiC-Membran signifikant zu hoch.

## VII. Erfolgte und geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses

### VII.1 Begutachtete Publikationen

Keine

### VII.2 Nicht begutachtete Publikationen

Keine

### VII.3 Vorträge auf wissenschaftlichen Tagungen

Keine

### VII.4 Poster-Publikationen auf wissenschaftlichen Tagungen

keine

### VII.5 Geplante Veröffentlichungen

Im Rahmen der Teilnahme an Messe wird dieses Verfahren durch die CERAFILTEC offensiv versucht zu vermarkten. Die betriebseigene Vertriebsstruktur wurde entsprechend informiert und geschult. Dieser Bericht wird des Weiteren Grundlage für eine entsprechende Vermarktung.

## VIII. Anhang

### VIII.1 Abkürzungsverzeichnis

DVGW:	Deutscher Verein für das Gas- und Wasserfach
HW:	Hamburg Wasser
HWW:	Hamburger Wasserwerke GmbH
CEB:	Chemical Enhanced Backwash: chemisch unterstütztes Rückspülen.
CIP:	Cleaning In Place, Reinigen der Membran in der Anlage mit Chemikalien.
CEB:	Chemical Enhanced Backwash
DOC:	Dissolved Organic Carbon (dt.: gelöster organischer Kohlenstoff)
DVGW:	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.
Lmh/LMH:	Flux, Liter pro Quadratmeter Membranfläche und Stunde
MWCO:	Molecular Weight Cut-Off
POC:	Particulate Organic Carbon (dt.: partikulärer organischer Kohlenstoff)
SDI:	Silt Density Index (dt.: Schwemmstoffdichte-Index)
SFBW:	Spent Filter Backwash Water
TR:	Trockenrückstand, Anteil der Trockenmasse an der gesamten Masse eines Schlamms.
TS:	Trockensubstanzgehalt, Anteil der Trockensubstanz (auch Trockenmasse) nach Trocknung z.B. von Schlamm, volumenbezogen.
TSS:	Total Suspended Solids, abfiltrierbare Stoffe
UF:	Ultrafiltration
WVU:	Wasserversorgungsunternehmen
WW:	Wasserwerk

## VIII.2 Literaturverzeichnis

### VIII.3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Foto der Laboranlage vor dem Versand zur DVGW-TUHH (links) und Tankzeichnung (rechts).....	5
Abbildung 2: P&ID Laboranlage FITWAS.....	6
Abbildung 3: Verlauf der Permeabilität während der 3-stündigen Filtration, Labormembran mit Filterkuchen nach 3-stündiger Filtration (oben rechts).....	7
Abbildung 4: Vergleich einer Membran aus Siliziumcarbid (S1) und einer aus Aluminiumoxid (A7) bei identischem Flux (150 l/mh). S1 zeigt eine bessere Vermeidung von Fouling als A7. Aber beide Membranen laufen sehr gut.....	7
Abbildung 5: Filtrationsaufbau im Labor für einen Langzeitversuch mit Absetzzone unterhalb der Membran zur Simulation des Tankdesigns der Pilotanlage.....	8
Abbildung 6: Schlamm-Layer auf der Membran vor einer Rückspülung (links) Konzentrat des Schlammes nach 25 h Filtration und Absetzen. Die erzielte Ausbeute beträgt 96 % (rechts). .....	9
Abbildung 7: P&ID Pilotanlage .....	12
Abbildung 8: Seitenansicht der 20 Fuß Containeranlage mit allen hydraulischen und elektrischen Anschlüssen.....	12
Abbildung 9: Innenleben des Pilot Containers: Permeattank mit Permeat Drain pumpe, Filtrationspumpe und gepulste Rückspülung, Schlammumpfen, Schlamm-speicher (von links nach rechts) .....	13
Abbildung 10: Verschammung des Membranmoduls durch den zurückgehaltenen Schlamm aus Eisenoxidpartikel. ....	14
Abbildung 11: Konstruktion des Filtrationstanks, Schlamm-entnahme am tiefsten Punkt des Konus, Membranmodul .....	15
Abbildung 12: Live Ansicht der Pilotanlage zur Schlammbehandlung, Übersicht. ....	15
Abbildung 13: 24 Stunden Darstellung des Filtrationsdrucks.....	15
Abbildung 14: Übersicht der Pegelstände in den 3 Tanks. Schlamm-tank (oben) wird abhängig vom Level befüllt und nach und nach in den Filtrationstank gepumpt. Filtrationstank mit sehr kleinen Schwankungen (mittig) und Permeattank der sich langsam befüllt und bei Erreichen eines oberen Niveaus entleert wird (unten). .....	16
Abbildung 15: Visuelles Ergebnis der Filtration: Zulauf (links), Konzentrat und Permeat (rechts) .....	16
Abbildung 16: <i>Sammelteil für Spülwasser OOWV (linkes Foto) und Aufstellung der Pilotanlage (rechtes Foto): von rechts nach links: Vorlagecontainer, Anlagecontainer und IBC für Schlammproben und Abwasser aus Membranreinigung.....</i>	17
Abbildung 17: Vergleich eines stabilen Betriebs mit SiC-Membran (links) und Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Membran (rechts). SiC war bei einem Flux von 60 l/mh und 4 CEB pro Tag stabil (Druck -250 mbar) während die Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Membran bei 80 l/mh und 1 CEB pro Tag stabil (Druck -150 mbar) betrieben werden konnte.....	17
Abbildung 18: Dauerbetrieb der Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Membran über 26 Tage ohne CIP bei 99 % Ausbeute mit 80 l/mh. Einzelne Chargen von Spülwasser scheinen unterschiedliches Foulingpotenzial zu haben, so dass hier eine hohe Druckzunahme in kurzer Zeit zu beobachten ist. ....	18
Abbildung 19: Inhaltsstoffe des getrockneten Schlammes aus Holdorf (OOWV).....	20
Abbildung 20: Transmembraner Druck (TMP) während den Filtrationsexperimenten bei jeweils 20, 30, 40 und 50 °C. Mit Zunahme der Wassertemperatur wird eine Abnahme des TMP beobachtet. Der Durchfluss bleibt konstant bei allen getesteten Temperaturen 100 LMH. ....	23
Abbildung 21: Permeabilitäten während den Filtrationsexperimenten bei jeweils 20, 30, 40 und 50 °C. Mit Zunahme der Wassertemperatur wird eine Zunahme der Permeabilität beobachtet. Der Durchfluss bleibt konstant bei allen getesteten Temperaturen 100 LMH .....	24
Abbildung 22: Spülwasseraufbereitungsanlage der Fa. Vitens mit keramischen Flachmembranen (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) der Fa. CERAFILTEC in 2 Filtrationstanks mit 2 mal 66 Modulen, in Summe 792 m <sup>2</sup> Membranfläche. ....	26
Abbildung 23: Pilotanlage der Fa. Logisticon mit Membranen der CERAFILTEC im 20 Fuß Container .....	26
Abbildung 24: Pilotanlage von Logisticon mit separatem Filtrationstank und 10 Fuß Maschinenhaus.....	27
Abbildung 25: Das Exponat auf der WavE II Abschlussveranstaltung ist ein Ausschnitt aus einem CERAFILTEC Filtermodul. Es besteht aus Teilen des Gehäuses (Abschnitte des Seitenteils mit Dichtung und Kanal, sowie Abschnitte des Stirnteils, in dem die Membranen eingesteckt sind). Das Exponat zeigt weiterhin wie 2 Module übereinandergestapelt sind und wie dadurch der interne Filtratkanal gebildet wird. Außerdem sind 5 Membranteilstücke zu sehen wie sie mit dem Gehäuse verbunden sind und wie der innere Aufbau der keramischen Flachmembran aussieht. ....	29

### VIII.4 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Analytik von Feed und Permeat der Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Membran beim OOWV .....	19
Tabelle 2: Analyse des Schlammes Holdorf (OOWV) .....	20
Tabelle 3: Trübe und UV 254 Messungen im Permeat bei jeweils 20, 30, 40 und 50 °C. Die Qualität des Permeats verändert sich nicht signifikant und zeigt keine Abhängigkeit zur Temperatur des Wassers .....	24