

INVESTITIONEN ZUR VERMINDERUNG VON UMWELTBELASTUNGEN

**Förderprogramm von Investitionen mit Demonstrationscharakter
zur Verminderung von Umweltbelastungen**

des

**Bundesministeriums für Umwelt-, Naturschutz und
Reaktorsicherheit**

ABSCHLUSSBERICHT

KfW-Aktenzeichen NKa3-003256

**Installation und Betrieb einer Anlage zur Gewinnung von
Prozesswasser aus Abwasser mittels
Ultrafiltration (UF) und Umkehrosmose (UO)**

Juli 2019

Nordland Papier GmbH

Nordlandallee 1

26892 Dörpen

Ansprechpartner: Heinz-Hermann Hoppe

E-Mail: heinz-hermann.hoppe@upm.com

Telefon: +49-4963 401 1980

INHALT

1	Beschreibung der Nordland Papier GmbH (Antragsteller)	3
2	Projektkurzbeschreibung	4
2.1	Deutsche Zusammenfassung	4
2.2	Englische Zusammenfassung	5
3	Technische Beschreibung der Prozess-Wasser-Aufbereitungsanlage	7
3.1	Beschreibung der bestehenden Situation vor Installation der Anlage	7
3.1.1	Frischwassersituation	7
3.1.2	Abwassersituation	8
3.1.3	Vereinfachtes Fließschema vor Installation der Neuanlage	9
4	Durchgeführte Erweiterung	10
4.1	Zusammenfassung	10
4.2	Verfahrenstechnische Änderung durch Neuanlage	10
4.2.1	Beschreibung der Verfahrenstechnik	10
4.2.2	Blockschema	12
5	Auswirkungen der PWA auf das Frischwasser, Abwasser	13
5.1	Zusammenfassung	13
5.1.1	Erreichte Wasserqualität durch die PWA	14
5.1.2	Entwicklung Frischwasser	14
5.1.3	Entwicklung Klarwasser	16
6	Wirtschaftlichkeit	20
6.1.1	Investitionskosten Gesamtanlage	20
6.1.2	Betriebskosten	21
6.1.3	Energieeinsparung und CO ₂ -Reduzierung	23
6.1.4	Wirtschaftliche Betrachtung der Membranstandzeiten	23
7	Abweichung von der ursprünglichen Projektplanung und durchgeführte Ergänzungen ..	25
7.1.1	Erweiterung Ultrafiltration	25
7.1.2	Einbau von Be- und Entlüftern	26
8	Modelle / Bilder	27
8.1	Modelle	27
8.2	Anlagenbilder	30
9	Tabellenverzeichnis	34
10	Abbildungsverzeichnis	35

1 Beschreibung der Nordland Papier GmbH (Antragsteller)

Die Nordland Papier GmbH (Antragsteller) und ist ein Tochterunternehmen der der finnischen UPM-Kymmene Corporation.

Die im Jahr 1967 gegründete Feinpapierfabrik produziert derzeit auf vier Papier- und zwei Streichmaschinen ungestrichene und gestrichene Schreib- und Druckpapiere. Die Papierfabrik am Standort Dörpen im Emsland ist die größte ihrer Art in Europa. Am Standort sind ca. 1700 Mitarbeiter beschäftigt. Das Werk hat eine durchschnittliche Jahresproduktion von 1.325 Mio. Tonnen. Der Hauptrohstoff Zellstoff, sowie das als Füll- und Streichpigment eingesetzte Calciumcarbonat werden vorwiegend mit Binnenschiffen über die Ems und den Küstenkanal angeliefert.

Das für die Produktion benötigte Frischwasser wird unter Berücksichtigung einer nachhaltigen Regeneration des Grundwassers aus acht Tiefbrunnen entnommen. Das anfallende Produktionsabwasser wird in der Abwasserreinigungsanlage mechanisch und biologisch gereinigt, bevor es in die drei Kilometer entfernt Ems eingeleitet wird.

Der Strombedarf der Fabrik wird zu 100% durch Fremdbezug gedeckt. Der für die Papiertrocknung benötigte Dampf wird auf fünf Gas betriebenen Kesseln und einem elektrisch betriebenen Kessel erzeugt.

Zusammenfassung Zahlen und Fakten der Nordland Papier GmbH:

Mitarbeiter Standort	1700
Jahreskapazität:	heute ca. 1,325 Mio. Tonnen
Produktionsmaschinen:	4 Papiermaschinen (Arbeitsbreite 470/645/950 cm) 2 Streichmaschinen (Arbeitsbreite 470/950 cm) 4 Superkalander (Arbeitsbreite 470/950 cm) 7 Rollenschneider 17 Großformatquerschneider 2 Kleinformatquerschneider (DIN A4 / DIN A3) 5 Riesverpackungsanlagen 5 vollautomatische Verpackungsstraßen 1 Heizwerk (5 Gas- 1 Elektro Dampfkessel) 1 zweistufige Abwasserreinigungsanlage
Hauptrohstoffe:	Zellstoff/ Calciumcarbonat
Firmengelände:	ca. 60ha

2 Projektkurzbeschreibung

2.1 Deutsche Zusammenfassung

Die Nordland Papier GmbH in Dörpen produziert mit 1700 Mitarbeiter am Standort auf vier Papier- und zwei Streichmaschinen jährlich ca. 1,325 Mio. Tonnen hochwertige, holzfreie, ungestrichene (60-350g/m²) und gestrichene (90-400g/m²) Schreib- und Druckpapiere. ~~Mit dem~~ Der Mutterkonzern UPM-Kymmene Corporation hat eine gemeinsame „UPM Biofore-Strategie“ entwickelt, welche uns bei der Erreichung unserer Ziele 2030 in Bezug auf **Unternehmensverantwortung** und unseren Beitrag zu den **UN Sustainability goals** leitet. Diese Strategie basiert dabei auf den drei Aspekten **Wirtschaftlichkeit, Sozial- und Umweltverträglichkeit**. Insbesondere beim Punkt Umwelt findet der verantwortungsvolle Umgang mit der Ressource Wasser einen besonderen Stellenwert. In den Strategiezielen für das Jahr 2030 wurde basierend auf das Jahr 2008 eine Reduzierung der Abwassermenge um 30% und die Reduzierung der CSB Fracht um 40% für alle Papier- und Zellstoffproduzierenden Werke ausgegeben. Die Nordland Papier GmbH hat mit Beginn der Produktion im Jahr 1969 durch Schließen von Wasserkreisläufen und den sparsamen Einsatz von Frischwasser den Wassereinsatz kontinuierlich gesenkt und ist mit einem Frischwasserbedarf von weniger als vier Liter pro Kilogramm Papier Benchmark im Feinpapierbereich. Durch die Schließung der Wasserkreisläufe kommt es zusätzlich zu einer, den Prozess störenden Salzanreicherung in den Wasserkreisläufen der Fabrik. Eine weitere Schließung der Wasserkreisläufe erfordert daher eine Aufbereitung, bei der die gelösten Salze mit möglichst wenig Volumenstrom abgeführt werden.

Bisher wurde das anfallende Abwasser in der werkeigenen **Abwasser-Reinigungs-Anlage (ARA)** in einem zweistufigen Prozess gereinigt und dem Fluss Ems zugeführt.

Von der Fabrik gelangt das Abwasser über einen Rechen in einen 3500m³ fassenden Pufferbehälter. Von dort wird das Abwasser der mechanischen Reinigung zugeführt. In zwei Stofffängern wird durch Sedimentation der Schwerschmutz weitgehend entfernt. Das vom Schwerschmutz getrennte Abwasser fließt über einen Kühlturm der biologischen Reinigung zu. In der Biologie wird das Abwasser zunächst über zwei „Moving Bed Bio Reaktoren“ (MBBR Reaktoren) biologisch gereinigt und anschließend über ein Belebungsbecken der herkömmlichen Biologie mit Oberflächen-Belüfter zugeführt. In den folgenden vier Nachklärbecken wird die Biomasse durch Sedimentation von dem geklärten Wasser (in der Folge Klarwasser genannt) getrennt. In einem nachgeschalteten Tuchfilter (Firma Mecana (40 µm)) werden letzte Schwebstoffe entfernt, bevor das Klarwasser dem Fluss Ems zugeführt wird.

Für das Projekt wird neben der Tuchfilteranlage ein neues Gebäude für die Prozesswasserrückgewinnung errichtet. Mittels Schachtpumpen soll nach der Tuch-Filter-Anlage eine Teilmenge von ca. 150m³/h des Klarwassers der neuen **Prozess-Wasser-Aufbereitungsanlage (PWA)** zugeführt werden. Durch Ultrafiltration (1.Stufe) und Umkehrosiose (2.Stufe) werden die im Klarwasser noch vorhandenen Feststoffe, die gelösten Salze sowie Bakterien und Keime abgetrennt.

Das so aufbereitete Klarwasser, in der Folge Permeat genannt, soll durch die Aufbereitung die hohen Anforderungen ans Frischwasser, die für die Produktion von hochweißem Feinpapier erforderlich sind, erfüllen. Das erzeugte Permeat wird zu 100% ins Frischwasser dosiert. Die abfiltrierten Stoffe aus der Ultrafiltration werden in den Rücklaufschlamm zu Biologie gegeben.

Das Konzentrat aus der Umkehrosmose wird mit dem verbliebenen Klarwasser der **ARA** zur Ems geleitet.

Bei voller Kapazitätsausnutzung der PWA wird sich die produktionsspezifische Abwassermenge rechnerisch von 2,7 m³/t (Papier) auf ca. 2,0 m³/t (Papier) und der Frischwasserverbrauch von 3,8 m³/t (Papier) auf ca. 3,1 m³/t (Papier) reduzieren.

Die deutliche Reduzierung der Abwassermenge respektive des Frischwasserbedarfs um ca. 20 bis 25 Prozent stellt einen wichtigen Beitrag zu Ressourceneffizienz dar und steht im Einklang zu unseren gesteckten Zielen aus der UPM-Biofore-Strategie. Durch die Zugabe vom Permeat zum Frischwasser wird zusätzlich eine erhebliche Menge an thermischer Energie nicht in die Natur abgegeben, sondern dem Produktionsprozess wieder zugeführt.

2.2 Englische Zusammenfassung

PROJECT DESCRIPTION

Located in Dörpen, the Nordland Papier GmbH produces annually 1,325 million tons of high-quality, wood-free, uncoated (60-350 gsm) and coated (90-400 gsm) writing and printing papers on four paper machines and two coating machines with 1,700 employees at the site. The parent company UPM-Kymmene Corporation developed a joint "UPM Biofore Strategy". The UPM Biofore strategy guides us in achieving our 2030 corporate responsibility goals and our contribution to the UN sustainability goals.

The strategy is based on three aspects: economic, social and environmental. Regarding environment the responsible use of water is of high importance.

Based on 2008, UPM has announced a reduction of waste water by 30% and a reduction of COD (Chemical Oxygen Demand) by 40% for all paper and pulp mills for its 2030 strategic targets.

Since starting its production Nordland Papier GmbH has continuously reduced the water consumption through reduced on-site water circulation and economic use of fresh water.

With a fresh water consumption of less than 4 l/kg of paper Nordland Papier GmbH sets the benchmark in the fine paper field.

Reduction of the water on-site circulations causes additional salt accumulation in the water loops which interfere with the process.

Further reduction of water on-site circulations thus requires a system that removes the dissolved salts with as lowest volume flow as possible.

Until now the amount of waste water has been cleaned in a two-stage process in our own waste water treatment plant (WWTP) and lead the river Ems.

From the mill the waste water flows via a screen into a buffer tank with a capacity of 3,500 m³.

From there, the waste water is fed into the mechanical cleaning system. The heavy dirt is largely removed in two primary clarifiers by sedimentation.

The waste water separated from the heavy dirt flows via a cooling tower to the biological treatment plant.

In the biological treatment plant, the waste water is initially biologically purified via two Moving Bed Bio reactors (MBBR) and then fed to the aerated sludge treatment with surface aerators.

The biomass is then separated from cleaned water (hereinafter referred to as clear water) by sedimentation in the following four post clarifiers.

Last residues are removed in the connected clothed disk filter (Mecana (40 µm)) before the clear water runs into the river Ems.

For the project, a new building for process water recovery will be erected next to the clothed disk filter.

After the clothed disk filter, a partial flow of approx. 150 m³/h of the clear water is to be supplied to the new process water treatment plant by pumps.

Ultrafiltration (1st stage) and reverse osmosis (2nd stage) make sure that remaining solids, dissolved salts as well as bacteria and germs are separated from the clear water.

The purified clear water, hereinafter referred to as permeate, is designed for high fresh water quality required for the production of high white fine paper.

The permeate produced is fed 100% into the fresh water.

The filtered out substances from the ultrafiltration are fed into the sludge recirculation to the aerated sludge treatment.

Together with the remaining clear water from the waste water treatment plant the concentrate from reverse osmosis is supplied to the river Ems.

The calculated product-specific waste water volume will be reduced from 2.7 m³/t (paper) to approx. 2.0 m³/t (paper) and the fresh water consumption from 3.8 m³/t (paper) to approx. 3.1 m³/t (paper) at full capacity utilization of the process water treatment plant.

The significant reduction of approximately 20 to 25 per cent in waste water and fresh water consumption is an important contribution to the efficient use of resources and it is fully in line with the objectives set out in UPM Biofore's strategy.

Adding permeate to fresh water also means that a considerable amount of thermal energy is not released into nature but returned to the production process.

3 Technische Beschreibung der Prozess-Wasser-Aufbereitungsanlage

3.1 Beschreibung der bestehenden Situation vor Installation der Anlage

3.1.1 Frischwassersituation

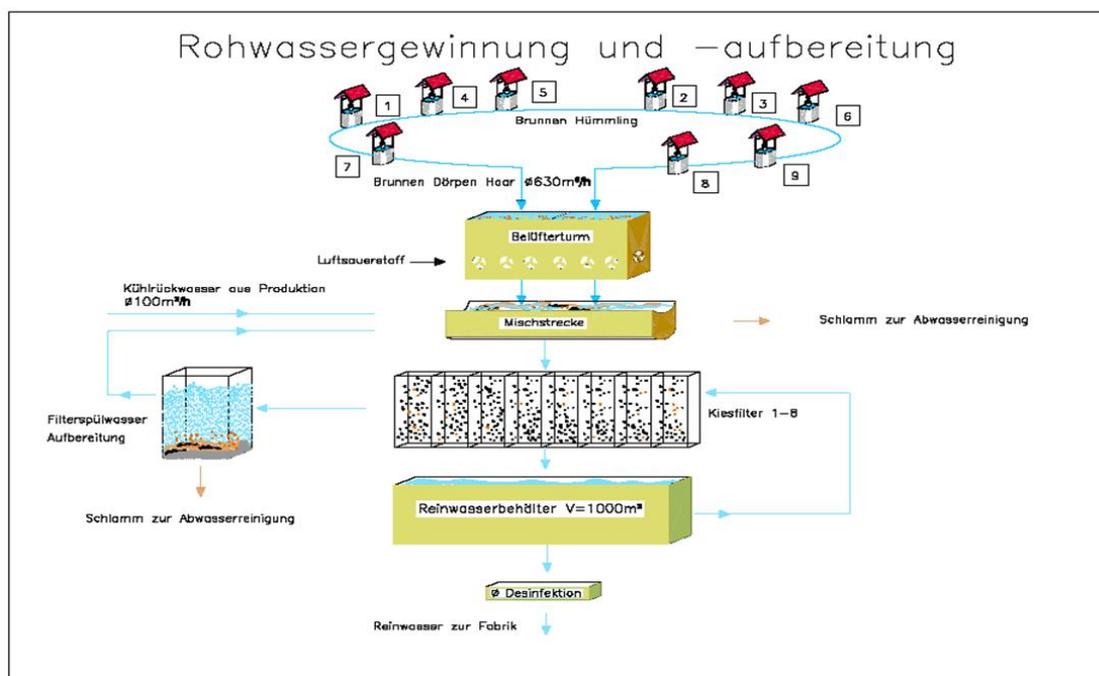
Die Versorgung der Papierfabrik mit dem notwendigen Frischwasser erfolgt aus der nahen gelegenen Region über neun Tiefbrunnen, die über eine Ringleitungen das geförderte Brunnenwasser, in Folge Rohwasser genannt, dem fabrikeigenen Wasserwerk zuführt. Mit Hilfe eines Belüfterturm und einer Kiesfilteranlage wird Eisen und Mangan entfernt. Das von Eisen und Mangan befreite Wasser wird als Reinwasser bezeichnet und in einem Reinwasserbecken unterhalb der Kiesfilter bevorratet. Da im Produktionsprozess ausschließlich Calciumcarbonat als Füllstoff eingesetzt wird, wird durch Zugabe von Natronlauge vor dem Kiesfilter der pH-Wert angehoben.

Das Reinwasser wird von hier an die Bedarfsstellen innerhalb der Produktion verteilt.

Auf Grund der von Nordland Papier erbrachten wasserseitigen Umweltleistungen liegt der mittlere Frischwasserverbrauch des Werkes heute bei spezifisch etwa 3,8 m³/t Papier, was rund 13.500 m³/d entspricht.

Der mit der Aufbereitung des Frischwassers anfallende Oxidschlamm (Eisen, Mangan) von im Mittel 342 kg/d wird den zwei Stoffängern (Sedimentationsbecken bzw. Fangstoffbecken) zugeführt und zusammen mit dem Primärschlamm (Fangstoff) der Papierproduktion aus dem System entfernt.

Abbildung 1 Fließschema Rohwasserversorgung



Von hier wird das Frischwasser an die Bedarfsstellen innerhalb der Produktion verteilt.

3.1.2 Abwassersituation

Das Abwasser aus der Produktion wird gesammelt und über eine mechanische und 2-stufige biologische Abwasserbehandlungsanlage auf Einleitqualität gereinigt. Mit einem Pumpwerk und einer ca. 3 km langen Druckleitung wird das gereinigte Abwasser in den Vorfluter EMS abgegeben. Der mit dem Reinigungsprozess erzeugte Schlamm aus der mechanischen Vorklärung und den beiden biologischen Behandlungsstufen wird separiert, entwässert und anschließend einer externen Verwertung zugeführt.

Die mittlere Abwassermenge beträgt ca. 410 m³/h (entspricht ca. 9.840 m³/d). Die daraus resultierende produktionsspezifische Abwassermenge liegt damit bei 2,8 m³/t. Die Tabelle 1 gibt einen Überblick über die mittlere Abwasserqualität und die an das Abwasser gestellten Vorgaben.

Tabelle 1 Mittlere Abwasserqualität (Ø 2017) und Überwachungswerte (Ü-Werte) der Genehmigung

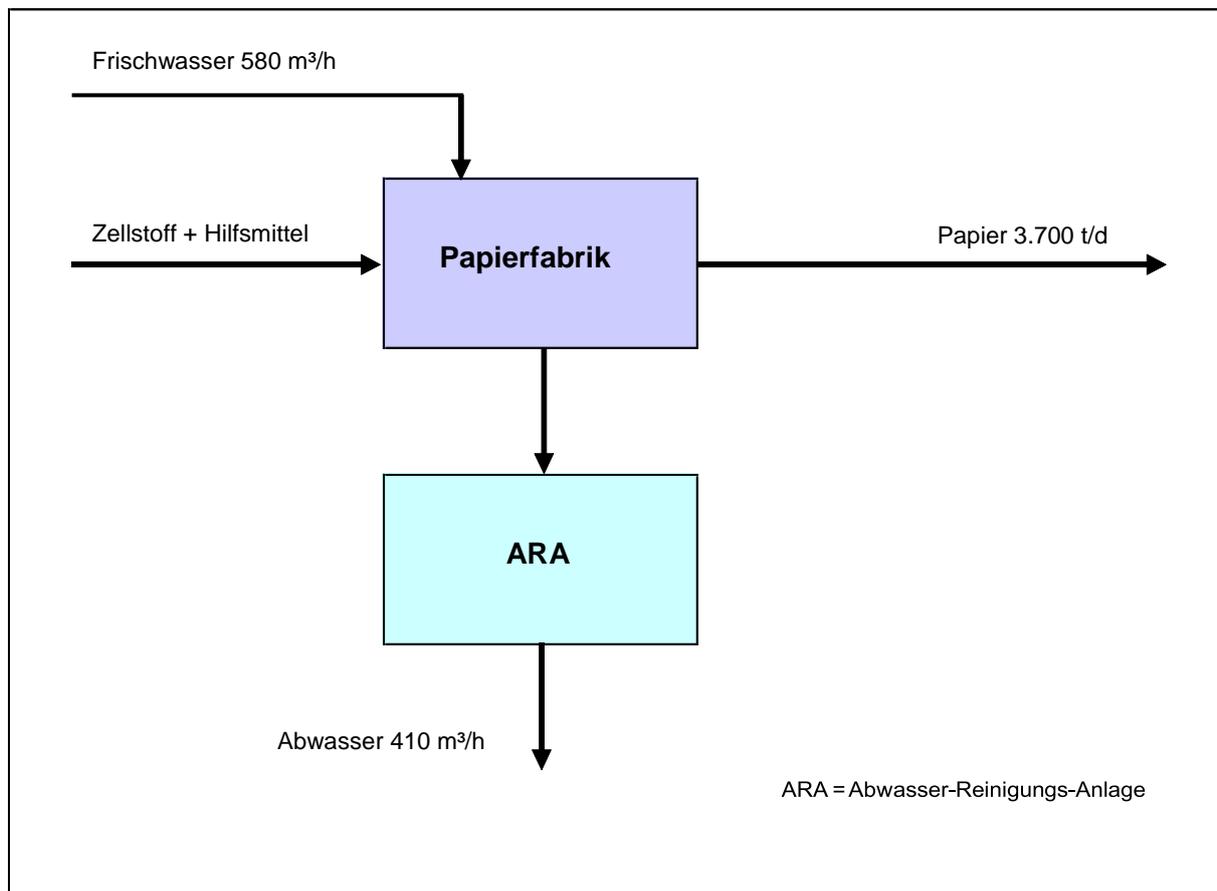
Parameter	Ablauf Klärwerk	Ü-Wert
AFS(*), mg/l	1	-
AFS, kg/d	10	-
AFS, kg/t	0,003	-
CSB, mg/l	50	120
CSB, kg/d	515	1440
CSB, kg/t	0,139	-
BSB ₅ , mg/l	6	25
BSB ₅ , kg/d	62	-
BSB ₅ , kg/t	0,017	-
AOX, mg/l	0,20	0,40
AOX, kg/t	2,16	-
AOX, kg/t	0,006	-
Menge (mittel), m ³ /h	410	1000
Menge (mittel), m ³ /d	9.840	18000
pH-Wert	7,7	6,0-8,5
Temperatur, °C	30	35

(*) Ab-Filtrierbare-Stoffe

Wie in Veröffentlichungen publiziert oder auch in Untersuchungen der Papiertechnischen Stiftung (PTS) aus dem Jahre 2013 ermittelt wurde, lag die produktionsspezifische Abwassermenge bei der Produktgruppe der holzfrei ungestrichenen und holzfrei gestrichenen Papiere in Deutschland in einem Bereich von 5 bis 25 m³/t. Damit ist die Nordland Papier GmbH heute mit unter 3 m³/t als Benchmark anzusehen.

3.1.3 Vereinfachtes Fließschema vor Installation der Neuanlage

Abbildung 2 Vereinfachtes Fließschema vor Erweiterung



4 Durchgeführte Erweiterung

4.1 Zusammenfassung

Eine Teilmenge von ca. 150 m³/h des mechanisch-biologisch gereinigten Abwassers wird in zwei weiteren Stufen, Ultrafiltration (1.Stufe) und Umkehrosmose (2.Stufe) aufbereitet und in die Produktion zurückgeführt und damit bis zu 100 m³/h Rohwasser (Brunnenwasser) substituiert.

Das gereinigte Abwasser erfüllt die Vorgaben der Produktion. Durch die hohe Wasserqualität nach der Umkehrosmose in Bezug auf Feststoffe, gelöste Salze sowie Bakterien und Keime werden annähernd 25 % des gesamten biologisch gereinigten Abwassers in die Produktion zurückzuführen. Der übrige Anteil des Abwassers, der nicht in die Produktion zurückgeführt werden kann, wird wie bisher als Direkteinleitung in den Vorfluter abgegeben.

Durch die beschriebenen Maßnahmen reduziert sich – bei Erreichung des Zielwertes für die Rückführung von gereinigtem Abwasser - die produktionsspezifische Abwassermenge auf ca. 2,1 m³/t. Der Frischwasserverbrauch reduziert sich dabei auf ca. 3,1 m³/t Produkt.

4.2 Verfahrenstechnische Änderung durch Neuanlage

4.2.1 Beschreibung der Verfahrenstechnik

Die Installation der **Prozess-Wasser-Aufbereitungsanlage (PWA)** wurde in unmittelbarer Nachbarschaft zur vorhandenen Nachklärung bzw. Tuchfilteranlage aufgebaut

Die Anlage besteht im Wesentlichen aus einem Betriebsgebäude mit

- einer 2-strassigen Ultrafiltrationsanlage
- einer 2-strassigen Umkehrosmose-Anlage
- Filtrat- und Permeat- Behälter, diverse Hilfsmittelstationen zur Reinigung der Membrananlagen
- MCC-Raum mit Steuerung

Das Pumpwerk zur Entnahme des biologisch gereinigten Abwassers ist im Ablaufschacht der Tuchfilteranlage installiert, die den Nachklärbecken nachgeschalteten ist. Mit Ausnahme dieser Pumpen sind alle möglichen geräuschemittierenden Antriebe im Betriebsgebäude der Anlage untergebracht.

Der Betrieb der mechanisch-biologischen Abwasserreinigungsanlage (ARA) ist unverändert zum Stand vor der Installation der **PWA**.

Im Anschluss an die vorhandenen Tuchfilter wird das gereinigte Abwasser (Klarwasser) mit einer Schachtpumpe über einen Rückspülfilter („Polzeifilter“) mengen- und druckgeregelt der **ersten Membranstufe** (Ultrafiltration = UF) zugeführt. Der Polzeifilter dient als Schutz der Ultrafiltrations-Membrane vor grobkörniger Feststoffbeaufschlagung.

Zwischen dem Polzeifilter und den beiden Ultrafiltrationseinheiten wird das Klarwasser in einer „Bicone“ durch Zugabe von CO₂ auf einen pH-Wert zwischen 6,8 und 7,0 abgesäuert.

Nach der „Bicone“ wird das abgesäuerte Klarwasser den zwei Ultrafiltrationseinheiten zugeführt. Jede einzelne Ultrafiltrationseinheit hat eine separate Feed-Pumpe und ist mit zwei Racks mit je 16 UF-Hohlfasermodulem bestückt. Mit der Feed-Pumpe wird die benötigte Überströmung der Hohlfasermodule der einzelnen Ultrafiltrationseinheit gesichert.

Das Filtrat aus der Ultrafiltration fließt in einen „Filtrat Tank“, wo es für die Umkehrosmose bevorratet wird. Das anfallende Konzentrat wird zurück in die Biologie der ARA geführt.

Die UF Einheiten werden während des Betriebes automatisch nach einer vom Bediener vorgegebenen Filtrationszeit gespült. Die Dauer der Filtrationszeit ist abhängig vom Gesamtzustand der einzelnen UF-Einheiten und variiert zwischen 20 und 40 Minuten. Bei der Spülung werden die Filter mit Filtrat unter Hinzugabe von Druckluft zurückgespült. Das Rückspülwasser wird in die Biologie der ARA geleitet. Abhängig von den Gesamtbedingungen erfolgt im Spülprozess eine Desinfektion, dazu werden 10 bis 50 ppm Chlor, in einer zusätzlichen Rückspülung ins Rückspülwasser dosiert. Nach einer frei einstellbaren Wartezeit, in der das Chlor abreagiert, wird das Spülwasser mit Filtrat verdrängt und ebenfalls der Biologie der ARA zugeführt. Das Intervall der Desinfektion ist abhängig von den Gesamtbelastung und vom Zustand der UF selbst.

Mit zunehmender Betriebszeit steigen, die Drücke in der UF. Bei Drücken größer 1,8 bar erfolgt eine Komplettreinigung. Bei dieser Reinigung wird über ein „CIP-Behälter“ das vorhandene Klarwasser aus der zu reinigenden UF-Einheit mit dem aus der Umkehrosmose erzeugtem Permeat verdrängt und die gesamte Ultrafiltrationseinheit unter Zugabe entsprechender Reinigungschemikalien gereinigt. Sowohl das verdrängte Klarwasser wie auch das Spül- bzw. Reinigungswasser werden zurück in den Zulauf der ARA geführt. Ein Reinigungsdurchgang benötigt inklusive Freispülen bis zu 8 Stunden und umfasst in der Regel zwei Durchgänge, eine alkalische (pH-Wert > 10,5) und eine saure (pH-Wert < 2,8) Reinigung.

Bei gut eingestellter Spülung, Desinfektion und entsprechenden Anpassungen im Betriebszyklus liegt das Reinigungsintervall bei ca. vier Wochen.

Die **zweite Membranstufe** (Umkehrosmose = UO) wird durch eine ebenfalls 2-strassig aufgebaute Umkehrosmose-Anlage realisiert. Jede Straße besteht auf jeweils zwei Bänken. Die erste Bank ist mit sechs Druckrohren und die zweite Bank mit vier Druckrohren bestückt. In jedem Druckrohr sind sechs Membranfilterelementen untergebracht, so dass jede Straße insgesamt 60 Membranelemente umfasst. In der UO erfolgt in erster Linie eine Aufkonzentrierung der im Wasser gelösten Teilchen (Salze) im Konzentrat. Das Konzentrat der ersten Bank wird in die zweite Bank geleitet und dort weiter aufkonzentriert. Das erzeugte Permeat der ersten und zweiten Bank strömen in den Permeat Behälter. Die maximale Kapazität einer Straße liegt bei 50 m³ Permeat pro Stunde. Das erzeugte Permeat (maximal 100 m³/h) wird dem Rohwasser vor dem Kiesfilter zugeführt und gelangt somit über die Filter in den Frischwasserpuffer. Über den Frischwasserpuffer werden die einzelnen Verbrauchsstellen in der Produktion versorgt. Das Konzentrat der UO (max. 33 m³/h) wird zusammen mit dem restlichen Abwasser des Klärwerkes in den Vorfluter abgegeben.

Zur Reduzierung von Ablagerungen wird dem Filtrat vor der UO ein Antiscalant zu dosiert, die Menge ist abhängig vom Härtegrad im Filtrat. Zum Schutz der Membranen vor

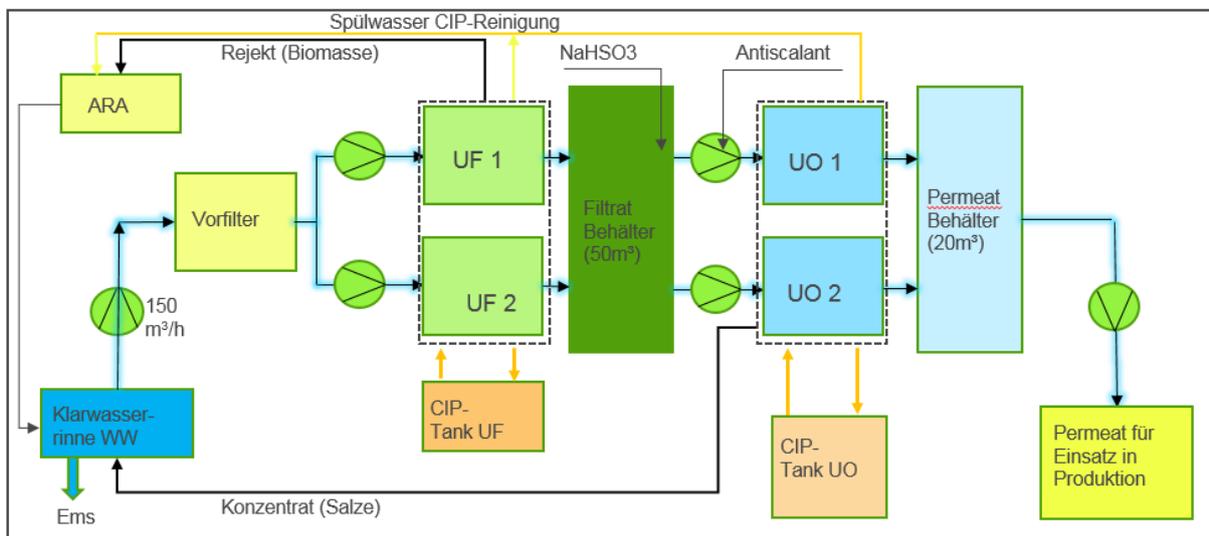
Chlorrückständen aus der Desinfektion der UF Einheiten, wird der Chlorgehalt nach dem Filtrat Behälter online überwacht, bei Werten > 0,05 ppm Chlor wird Natriumhydrogensulfit (NaHSO_3) zur Neutralisierung dosiert.

Die UO Einheiten werden bei ausreichend anfallendem Filtrat der UF im Dauerbetrieb gefahren. Bei zu geringem Filtrat werden die UO Einheiten entsprechend den vorgegeben Schalniveaus am Filtrat Behälters der UF ein- und ausgeschaltet.

Wie bei der UF steigen auch bei der UO mit zunehmender Betriebsdauer die Drücke in der Anlage an. Nach dem Erreichen eines Betriebsdruckes von 13 bar erfolgt in der Regel eine Reinigung, die im Wesentlichen der Reinigung der UF Einheit gleicht. Über einen separaten CIP Behälter wird zunächst das noch in der UO befindliche Filtrat mit Permeat verdrängt. Anschließend erfolgt die Reinigung mit dem entsprechenden alkalischen und sauren Reiniger. Die pH-Werte liegen mit > 10,5 bei der alkalischen Reinigung und mit < 2,8 bei der sauren Reinigung im gleichen Bereich der UF Reinigung. Auch der benötigte Zeitaufwand liegt mit 8 Stunden auf dem Niveau der UF Reinigung. Bei der UO besteht zusätzlich die Möglichkeit nur eine der beiden Bänke der UO mittels CIP- Systems zu reinigen. Das CIP-Reinigungsintervall liegt bei ca. drei Monaten. Die mit dem Konzentrat der ersten Bank beaufschlagte zweite Bank zeigt eine stärkere Verschmutzungsneigung und bedarf daher zusätzlicher Reinigungen.

4.2.2 Blockschema

Abbildung 3 Blockschema PWA



5 Auswirkungen der PWA auf das Frischwasser, Abwasser

5.1 Zusammenfassung

Die PWA ist nach der Fertigstellung im April 2018 und einer fünfwöchigen Testphase zum 1. Juni 2018 in Betrieb genommen worden. Bei den UF Straßen stiegen die Drücke mit dem zuvor berechneten Durchsatz schnell an. Die UF Einheiten mussten anfänglich bereits nach knapp einer Laufzeit von 7 bis 14 Tagen durch eine CIP- Reinigung in den Ursprungszustand zurückversetzt werden. Durch Reduzierung der Durchsätze und Optimierungen der Rückspülmengen und Rückspülzeiten wurden Reinigungsintervalle von drei Wochen erreicht. Mit dem Absenken der Durchsätze und den Anpassungen beim Rückspülen reduzierte sich die Ertragsmenge an Permeat auf ca. 60 m³/h und das gesteckte Ziel von 100 m³/h Permeat wurde deutlich verfehlt.

Im Januar 2019 wurden daher die UF-Einheiten um je 10 Filtereinheiten pro UF-Einheit erweitert. Dadurch verbesserte sich die Situation deutlich, aber das Ziel von 100 m³/h Permeat blieb weiterhin herausfordernd. Mit dem fortlaufenden Betrieb der UF Einheiten und den daraus resultierenden Erfahrungen wurden die Einstellungen speziell bei der Spülung soweit optimiert, dass seit Mitte Juli 2019 eine konstante Tagesleistung > 2700 m³ Filtrat erreicht wird. Als wichtigste Stellschraube hat sich hier die Chlordosierung bei der Desinfektion herausgestellt. Um das Biofouling und das damit verbundene Zuwachsen der UF Filtereinheiten wirksam zu verhindern, ist bei der Desinfektion der UF Einheiten ein Chlorgehalt von 45 bis 50 ppm im Rückspülwasser erforderlich. Neben dem Chlorgehalt ist eine ausreichende Einwirkzeit (Wartezeit bis zum Freispülen der Filtereinheit) zu beachten. Die Einwirkzeit liegt je nach Zustand der Anlage zwischen drei bis fünf Minuten. Die erreichte Filterleistung mit knapp 35 Liter/m²*h Filterfläche bei einem Durchsatz von 80 m³/h je UF-Einheit liegt damit über den ursprünglich kalkulierten Bedarf von 75 m³/h je UF-Einheit. Das Ziel von 100m³/h Permeat wurde auf Grund des hohen Eigenverbrauchs beim Spülen der UF-Einheiten aber noch nicht ganz erreicht. Durch weitere Optimierungen in der PWA sollte das Ziel von 100m³/h Permeat kurzfristig erreichbar sein.

Bei dem Betrieb der UO-Einheit gab es, vermutlich auf Grund des deutlich reduzierten Durchsatzes gegenüber der Kalkulation zunächst keine besonderen Auffälligkeiten und eine CIP Reinigung wurde erst nach einem 5-monatigem Betrieb erforderlich. Mit dem erhöhten Durchsatz seit Ende Januar 2019 stieg die Belastung. Die Drücke in der UO stiegen deutlich schneller und das CIP-Reinigungsintervall verkürzte sich auf acht Wochen. Die Leitfähigkeit stieg mit der Belastung auf ca. 80 µS und somit über das angestrebte Ziel von < 50 µS/cm. Die leicht erhöhte Leitfähigkeit liegt deutlich unter der Leitfähigkeit des Rohwassers von ca. 220 µS/cm und somit im akzeptablen Bereich. Der erhöhte Reinigungsbedarf und die Überschreitung des Leitfähigkeit-Zieles können durch eine Veränderung der ursprünglich angenommenen Klarwasserparameter gegenüber den aktuellen Klarwasserparametern, insbesondere bei der gestiegenen Leitfähigkeit und der höheren Temperatur, begründet werden.

Die Leitfähigkeit im Abwasser stieg gegenüber der Ursprungskalkulation von 1500 µS/cm auf 2000 µS/cm. Die Klarwassertemperatur liegt ebenfalls mit aktuell 30 °C (*unten in Tabelle 31* °C) über den für die Kalkulation angegebenen Wert von 26 °C. Anhand durchgeführten Messungen der Leitfähigkeit an den einzelnen Druckrohren wurden die stark belasteten zweiten Bänke der jeweiligen UO-Einheiten als Hauptverursacher identifiziert. Durch eine

separat durchgeführte saure Reinigung konnte eine deutliche Verbesserung der Situation erreicht werden. Das lässt darauf schließen, dass bei dem Betrieb der Umkehrosmose ein deutlich stärkeres Scaling auftritt. Aktuell werden deshalb weitere Optimierungen im Bereich der Antiscalant-Dosierung und bei der CIP-Reinigung gemeinsam mit dem Hersteller durchgeführt.

Durch die Inbetriebnahme der PWA wurden der Rohwasserbedarf für die Fabrik sowie das anfallende Klarwasser, dass in den Fluss Ems eingeleitet wird, kontinuierlich abgesenkt. Die angestrebten Zielwerte wurden bereits mit einer Permeatmenge von gut 80m³/h annähernd erreicht.

Mit der bisher erreichten Permeatmenge von 80 m³/h und der Temperaturdifferenz von rd. 18°C wird dem Abwasserstrom eine Wärmeleistung von 1,67 MW (**Abb.15**) entnommen und in den Produktionsprozess zurückgeführt. Um den gleichen Wert wird die Energieeinleitung in die Ems reduziert.

5.1.1 Erreichte Wasserqualität durch die PWA

Das in der PWA erzeugte Permeat ist von hoher Qualität. **Tabelle 2** zeigt die erzielten Qualitätsparameter vom erzeugten Filtrat, dem erzeugten Permeat und dem eingesetzten Frischwasser (aufbereitetes Brunnenwasser). Alle Qualitätswerte vom Permeat übertreffen die Qualität des vor der Inbetriebnahme eingesetzten Frischwassers. Mit der Dosierung vom Permeat wird somit die Qualität des Frischwassers verbessert.

Tabelle 2 Qualitätsvergleich Klarwasser, Filtrat, Permeat zum Frischwasser

Parameter	Einheit	Klarwasser*	PWA*		Frischwasser**
			Filtrat*	Permeat*	
TOC	mg/l	12	9,6	0,5	< 1
Ca-Konz.	mg/l	157	157	1,81	20
Mg	mg/l	5,13	5,11	0,06	8,6
Säurekapazität, Ks 4,3	mmol/l	7,86	7,94	0,55	1,46
Leitfähigkeit	µS/cm	1720	1720	88,5	220
Härte	°dH	22,09	22,23	1,54	4,1
pH-Wert	-	7,7	6,9	6,4	8,5
Temperatur	°C	31	31	31	12

* Wasseranalyse vom 31.07.2019 (externes Labor), ** Mittelwerte 2016 (vor Inbetriebnahme PWA)

5.1.2 Entwicklung Frischwasser

Durch die Inbetriebnahme der PWA sank die spezifische Frischwasserbrauch auf 3,03 m³/t Papier. Die positive Entwicklung im **Trend (Abb.4)** ist deutlich zu erkennen. Gegenüber dem Wert vor der Inbetriebnahme ist das eine Verbesserung von 10%. Mit dem Erreichen der kalkulierten Permeatmenge wird die angestrebte Reduzierung des Frischwasserbedarfes um ca. 20 % annähernd erfüllt.

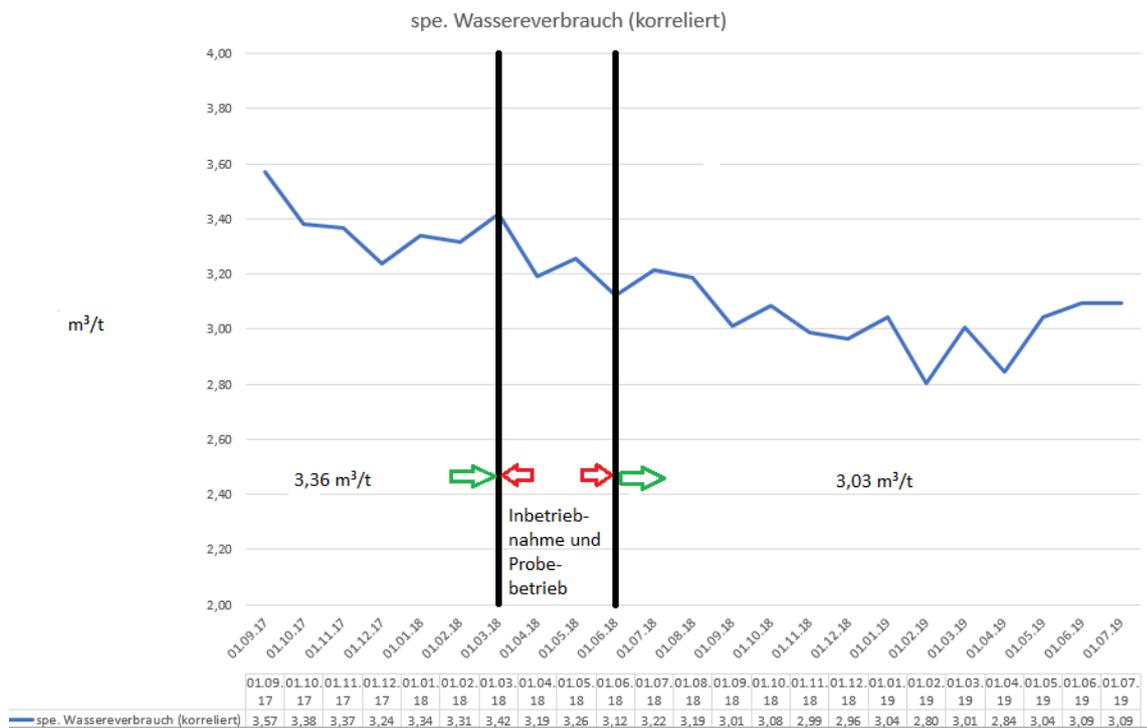
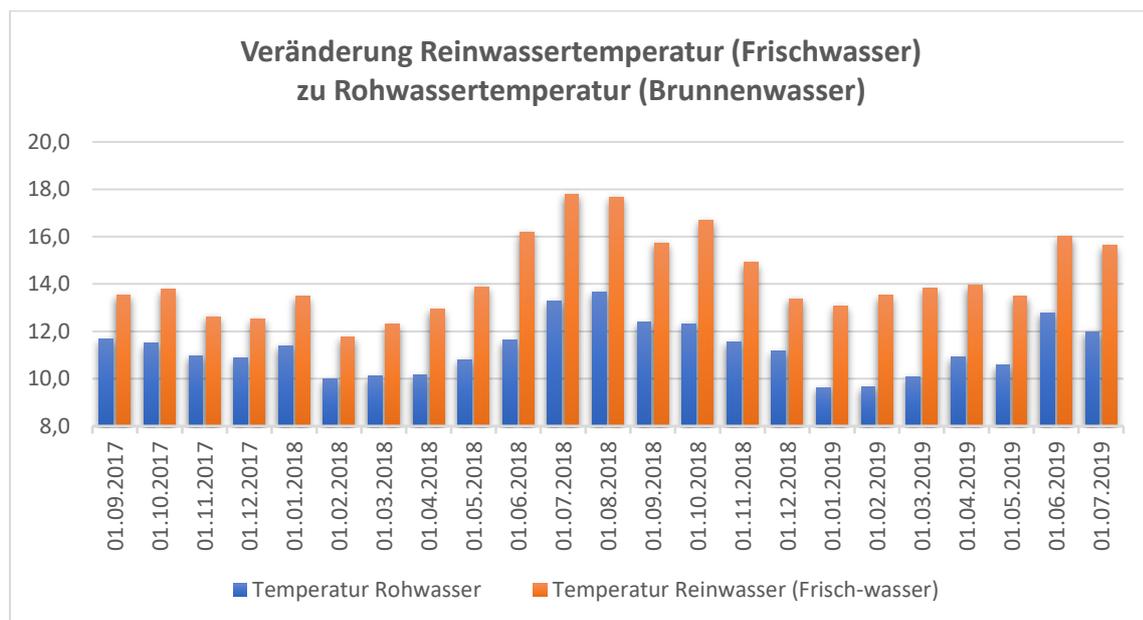


Abbildung 4 Trend spez. Frischwasserverbrauch

Bei der Entwicklung der Frischwassertemperatur (**Abb.5**) ist insgesamt die jahreszeitliche Schwankung zu erkennen. Zusätzlich driften die Temperaturen vom unbehandelten Rohwasser zum behandelten Frischwasser seit der Dosierung von Permeat ab Mai/Juni 2018 auseinander. Ohne Permeat liegt die Frischwassertemperatur ca. 2°C über der Brunnenwassertemperatur, mit der Dosierung von Permeat liegt der Temperaturanstieg bei ca. 4°C.

Abbildung 5 Temperaturentwicklung Brunne-/ Frischwassertemperatur



5.1.3 Entwicklung Klarwasser

Durch die Inbetriebnahme der PWA wurde die spezifische Klarwassermenge auf 2,05 m³/t Papier reduziert. Deutlich ist die positive Entwicklung im Trend (**Abb.6**) zu erkennen. Gegenüber dem Wert vor der Inbetriebnahme ist das eine Verbesserung von 18 %. Die Entwicklung der Klarwasserreduzierung (**Abb. 7**) zeigt, dass das Ziel der Reduzierung Klarwasser um 25 % erreicht wird. Errechnet wurde Reduzierung aus den monatlich anfallenden Klar- und Abwassermengen (**Abb. 8**)

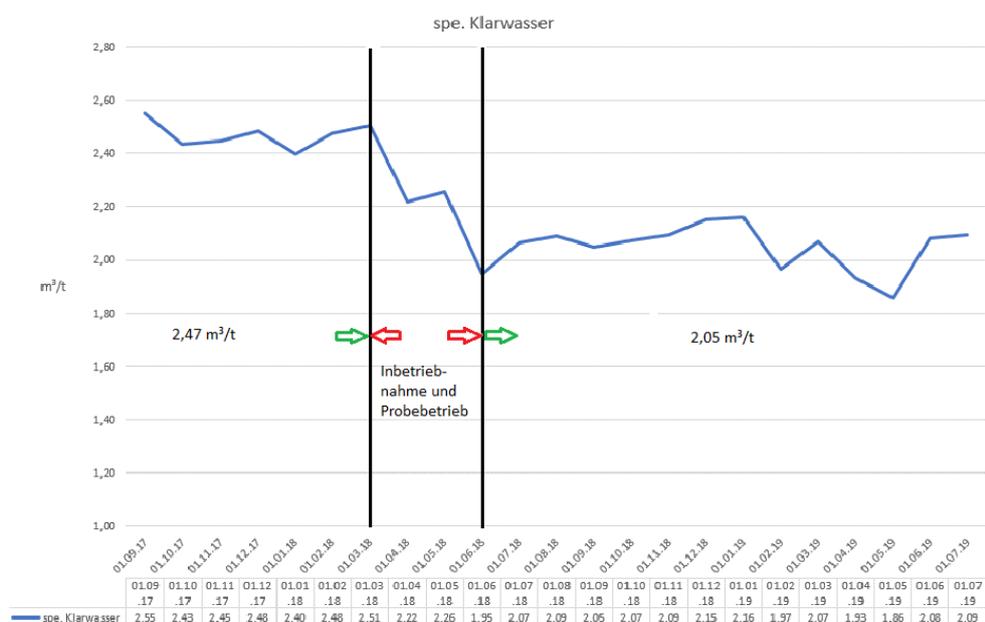


Abbildung 6 spez. Klarwassermenge

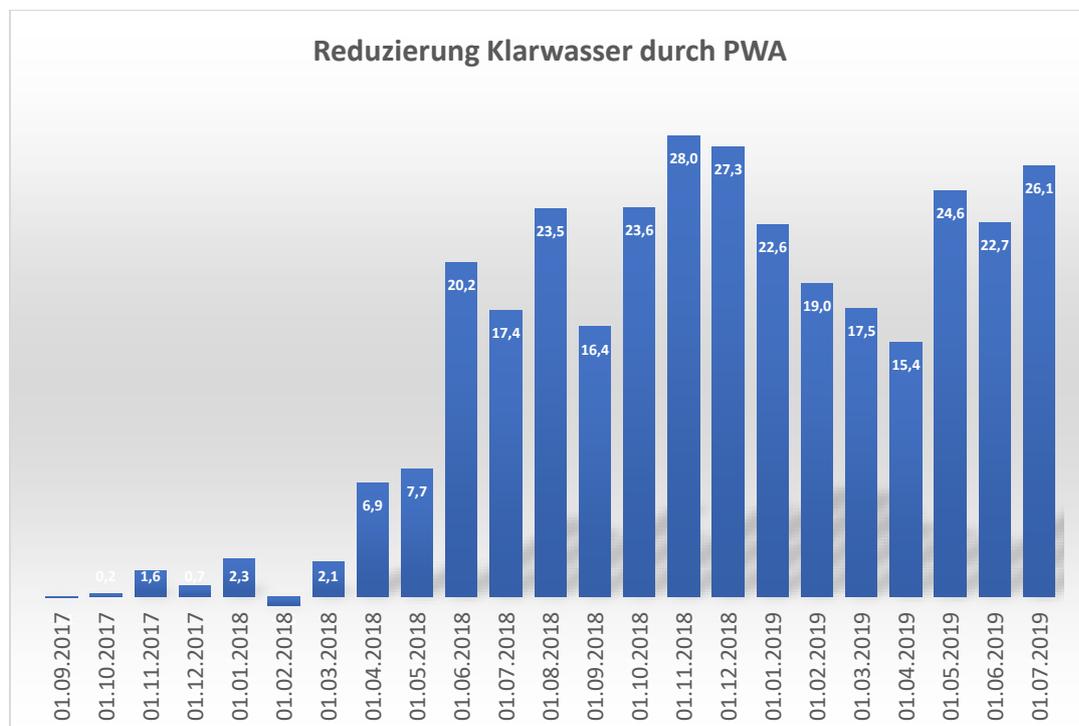


Abbildung 7 Reduzierung Klarwasser in %

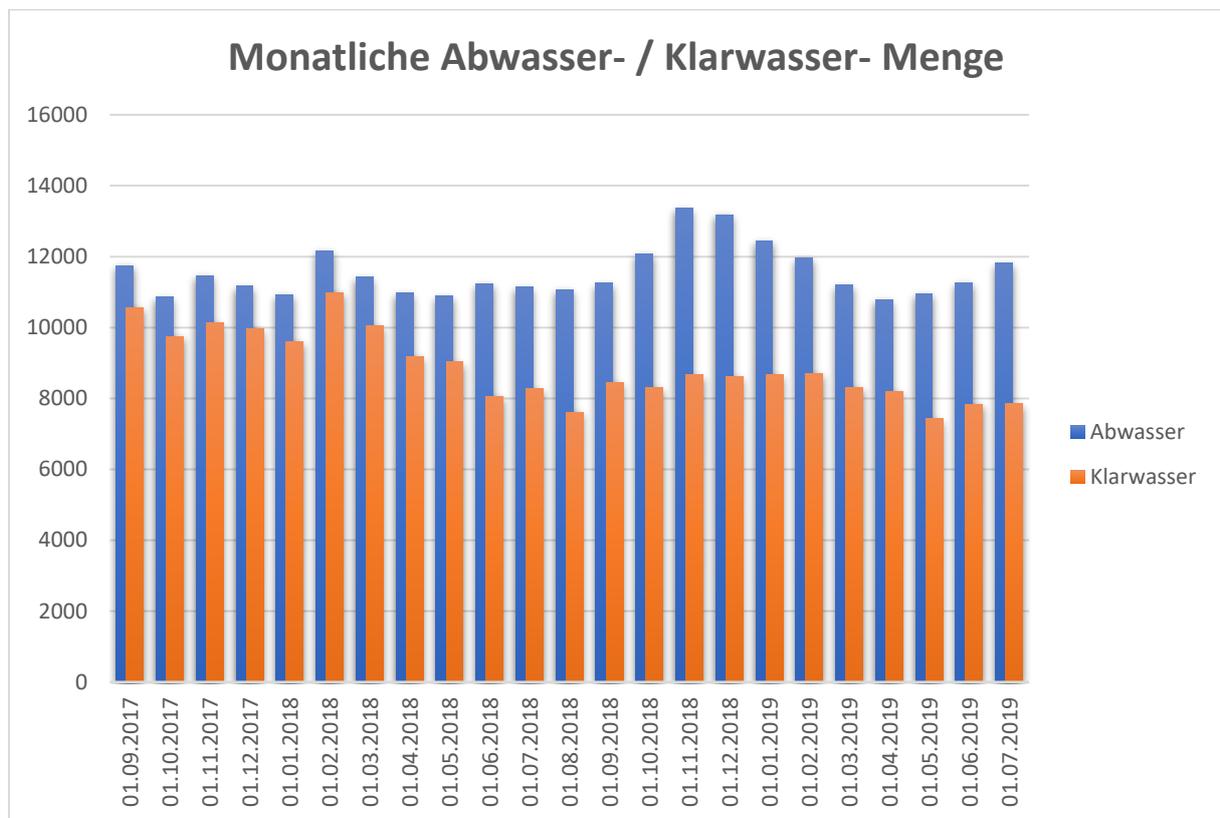


Abbildung 8 Monatliche Ab- und Klarwassermengen

Bei der CSB Fracht wird ein deutlicher Rückgang besonders im Klarwasser sichtbar (**Abb. 9**). Neben der PWA als Quelle der Frachtreduzierung durch Rückführung der Biomasse aus der UF in die Biologie der ARA, ist auch ein Teil auf den Rückgang der Fracht im Zulauf ARA zurückzuführen. Des Weiteren wurde im Vorfeld der Inbetriebnahme die Effektivität der Tuchfilteranlage durch Austausch defekter Filtertücher erhöht, besonders die Entwicklung der Feststoffverluste (**Abb. 10**) beim Klarwasser bekräftigen diese Annahme.

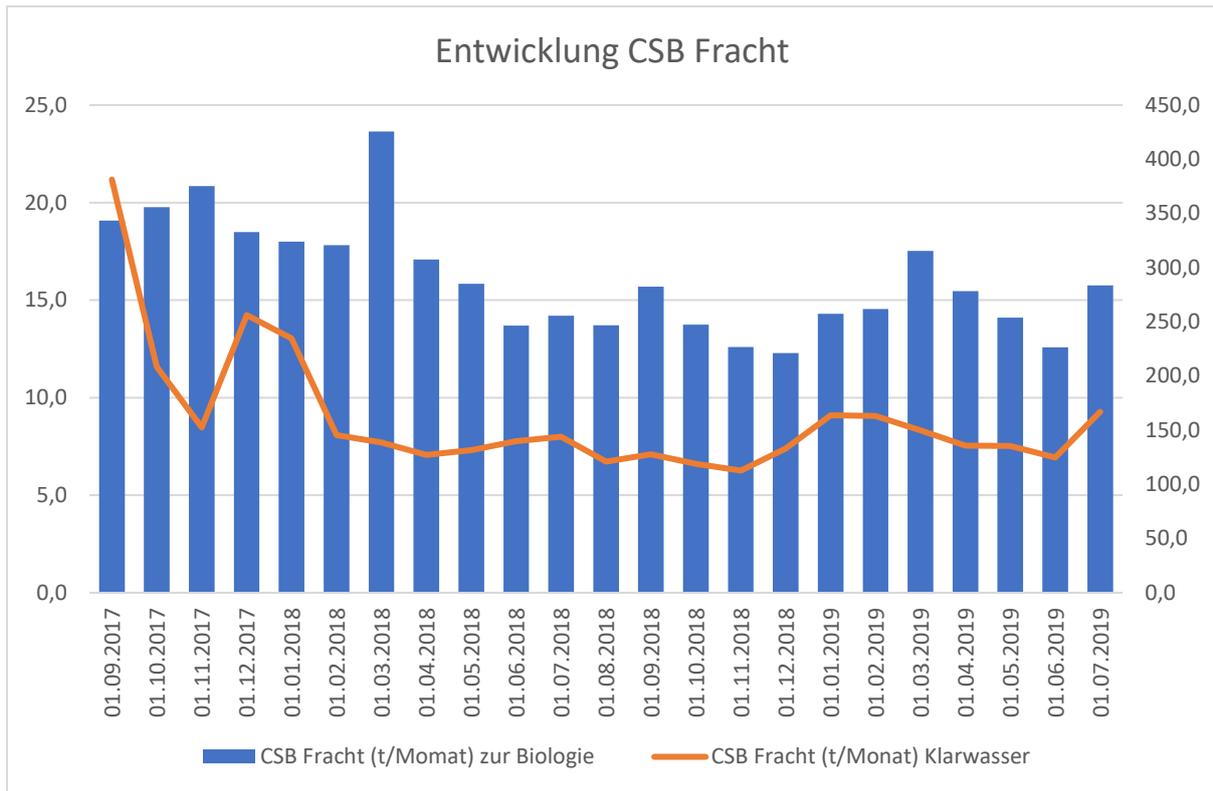


Abbildung 9 Entwicklung CSB Fracht Abwasser / Klarwasser

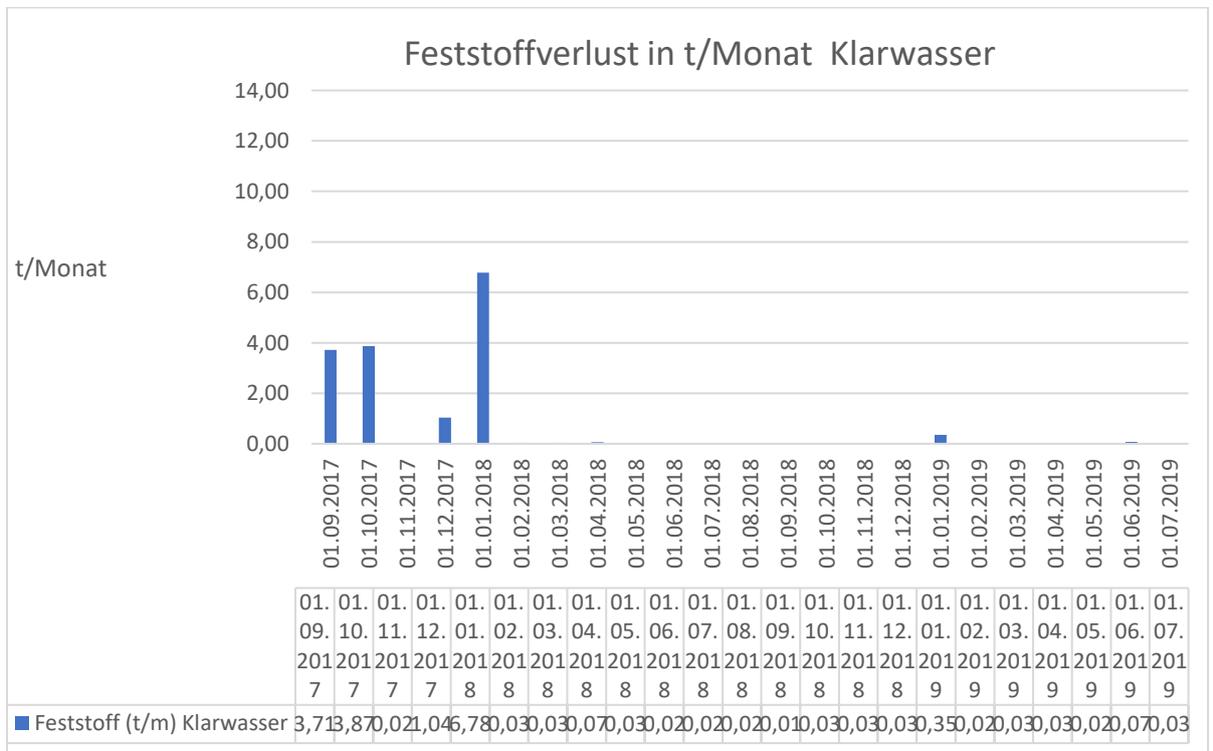


Abbildung 10 Feststoffverlust Klarwasser

Bei der Leitfähigkeit zeigt der Trend der Behördenmessung (**Abb. 11**) einen Anstieg. Dieser ist auch im Zulauf der ARA (**Abb. 12**) sichtbar. Der Anstieg der Leitfähigkeit in den

Wasserkreisläufen der Papiermaschinen wird bereits zum Ende 2016 beobachtet, ein Zusammenhang mit PWA kann daher ausgeschlossen werden. Bei durchgeführten Vergleichsmessungen vor und nach der UO Konzentrat-Einleitung konnten keine Leitfähigkeitsanstiege messtechnisch festgestellt werden.

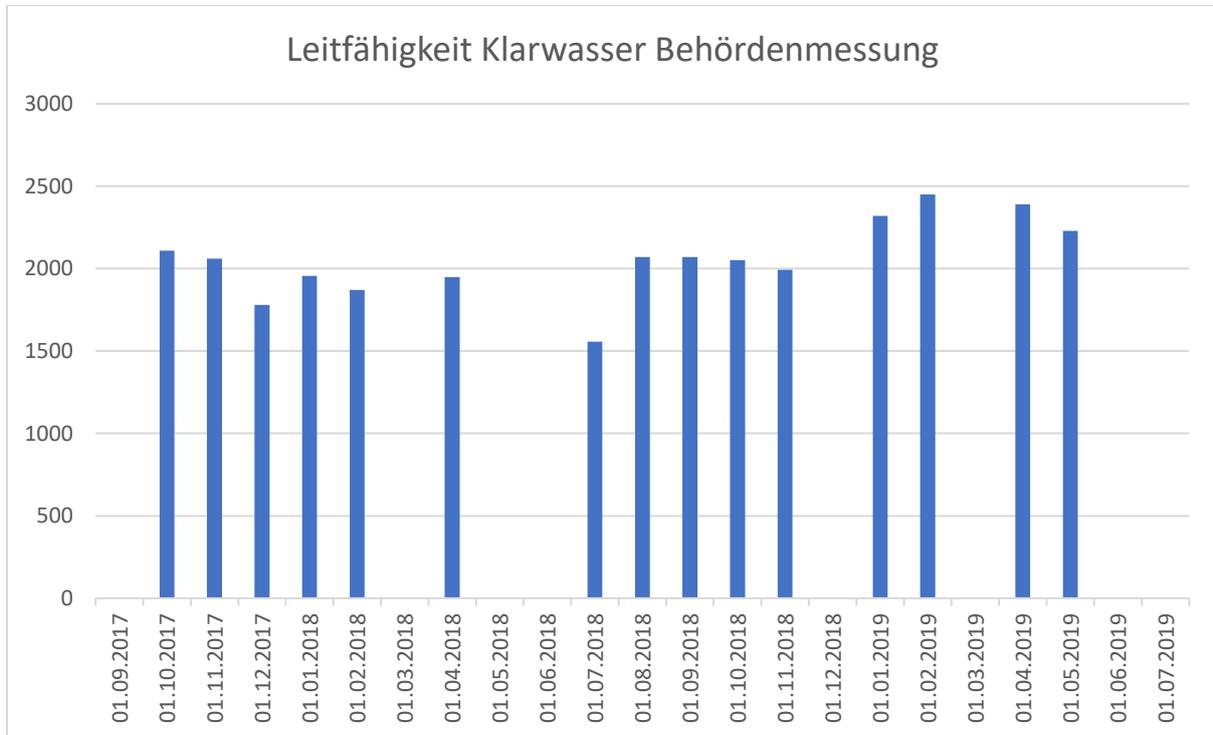


Abbildung 11 Entwicklung Leitfähigkeit Klarwasser (Quelle: Behördenmessung)

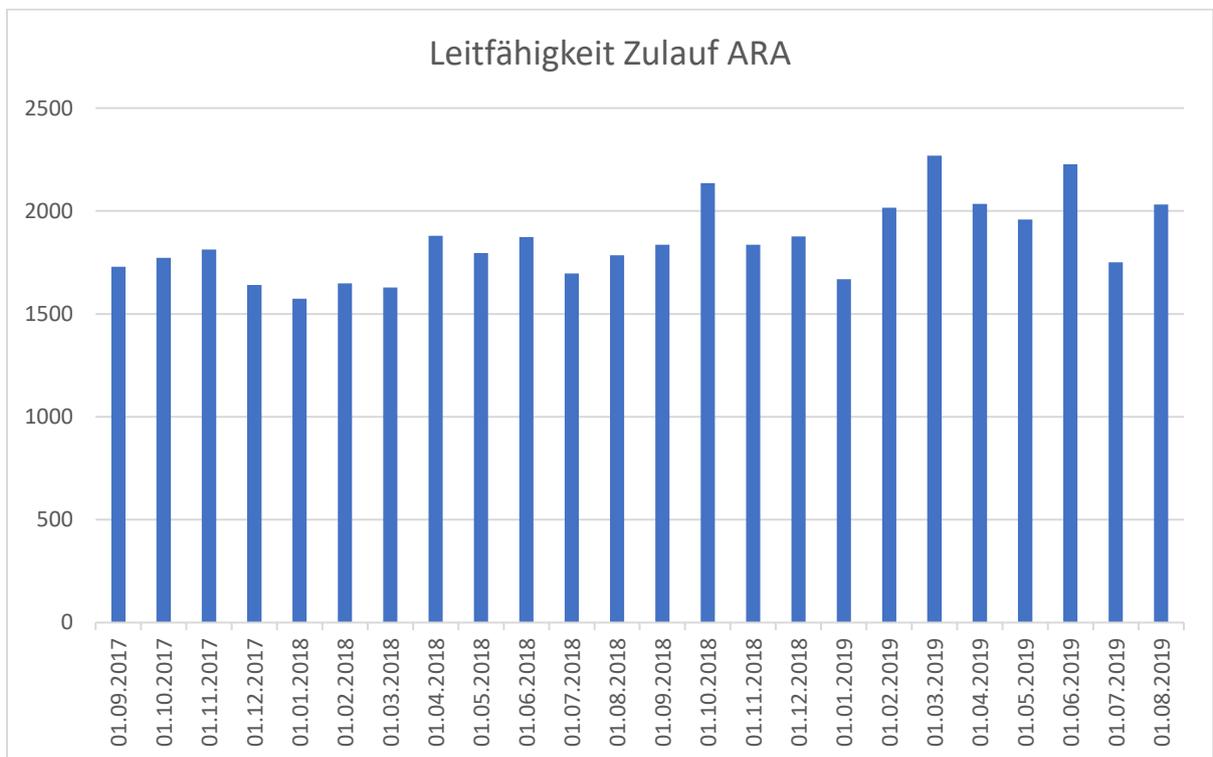


Abbildung 12 Entwicklung Leitfähigkeit Zulauf ARA

6 Wirtschaftlichkeit

Die Ergebnisse zeigen, dass grundsätzlich eine Erzeugung von Prozesswasser aus biologisch gereinigtem Abwasser möglich ist. Die Wirtschaftlichkeit dieses Vorhabens mit dem Einsatz von Membrantechnologie hängt im Wesentlichen von folgenden Bedingungen ab:

- Scaling-Foulingneigung des Abwassers
- Gleichmäßige Hydraulik
- Hohe Ablaufqualität des gereinigten Abwassers (Permeat als Prozesswasser)
- Überwachungswerte für das Restabwasser
- Beschränkte Verhältnisse im Vorfluter
- Hohe Frischwasserkosten bzw. geringes Frischwasserangebot

Die Wirtschaftlichkeit, der in der Papierfabrik errichteten, innovativen Lösung zur Erzeugung von Prozesswasser aus Abwasser ist primär als Vergleich zur Entwicklung der Abwassergebühren und der mit dem Permeat (Prozesswasser) zurückgeführten thermischen Energie zu sehen. Auch wird die Wirtschaftlichkeit der Anlage über die Frisch- bzw. Wasser Entnahme beeinflusst, zumal Wasserknappheit in der Zukunft eine bedeutende Rolle spielen kann.

6.1.1 Investitionskosten Gesamtanlage

Hierzu zählen insbesondere die Kosten für:

- das Gebäude der PWA
- die maschinentechnische Ausrüstung (UF und UO)
- das Chemikalienlager mit Dosierstationen
- der Schaltraum für die E-MSR-Technik (inkl. Steuerung/Regelung)
- die CO₂-Lagertankanlage

Für die Errichtung der Gesamtanlage belaufen sich die Investitionskosten mit der im Januar durchgeführten Aufstockung UF-Einheiten um insgesamt 20 Filterpatronen und einigen weiteren kleinen Ergänzungen auf 1,96 Mio. EUR.

6.1.2 Betriebskosten

Zu den Betriebskostenzählen:

- Energiekosten
- Personalkosten
- Instandhaltungskosten
- Chemikalienkosten
 - CO₂
 - Antiscalant
 - Desinfektionsmittel (Hypochlorid)
 - Neutralisationsmittel (NaHSO₃)
 - Reiniger (alkalisch / sauer)

Bei den Betriebskosten sind standortbezogene Unterschiede zu beachten. Daher kann zu den einzelnen Kosten keine allgemeingültige Festlegung erfolgen.

Für die Personalkosten wird der Zeitbedarf für den kontinuierlichen Betrieb der PWA wie folgt angeführt.

- Tägliche Kontrollen inklusive durchgeführte Kontrollmessungen
 - 1 h (Wasserwärter)
- Reinigung UF (alle 4 Wochen/ UF-Einheit)
 - 4 h (eingewiesenes Personal)
- Reinigung UO (alle 10 Wochen/ UO Einheit)
 - 4 h (eingewiesenes Personal)

Zusätzlich zu den anfallenden Arbeiten wird vom Anlagenverantwortlichen die Entwicklung der Druckverhältnisse in den einzelnen Anlagenkomponenten täglich kontrolliert und bei Bedarf die notwendigen Veränderungen z.B. Anpassung der Spülzeiten durchgeführt. Der Zeitbedarf liegt bei ca. 20 Minuten pro Werktag.

Zu der Höhe der Instandhaltungskosten kann auf Grund der noch andauernden Optimierung keine Aussage getroffen werden.

In der **Abbildung 13** sind die variablen Kosten für die Energie und die Verbrauchskemikalien von Januar bis Juni dargestellt. Über den Zeitraum ergibt sich für die dargestellten Kosten ein Durchschnitt von 0,25 €/m³ Permeat und liegt damit über dem vorkalkulierten Wert von 0,18€/m³. Im Kreisdiagramm (**Abb. 14**) wird das Verhältnis der Einzelkosten zueinander betrachtet. Die Kosten für die Reiniger haben mit 39% einen großen Anteil. Durch weitere Optimierungen bei den Reinigungschemikalien ist es möglich sowohl die Verbrauchsmengen als auch die Kosten insgesamt zu reduzieren. Mit der Optimierung sollte das ursprüngliche Ziel von 0,18 €/m³ Permeat erreicht werden.

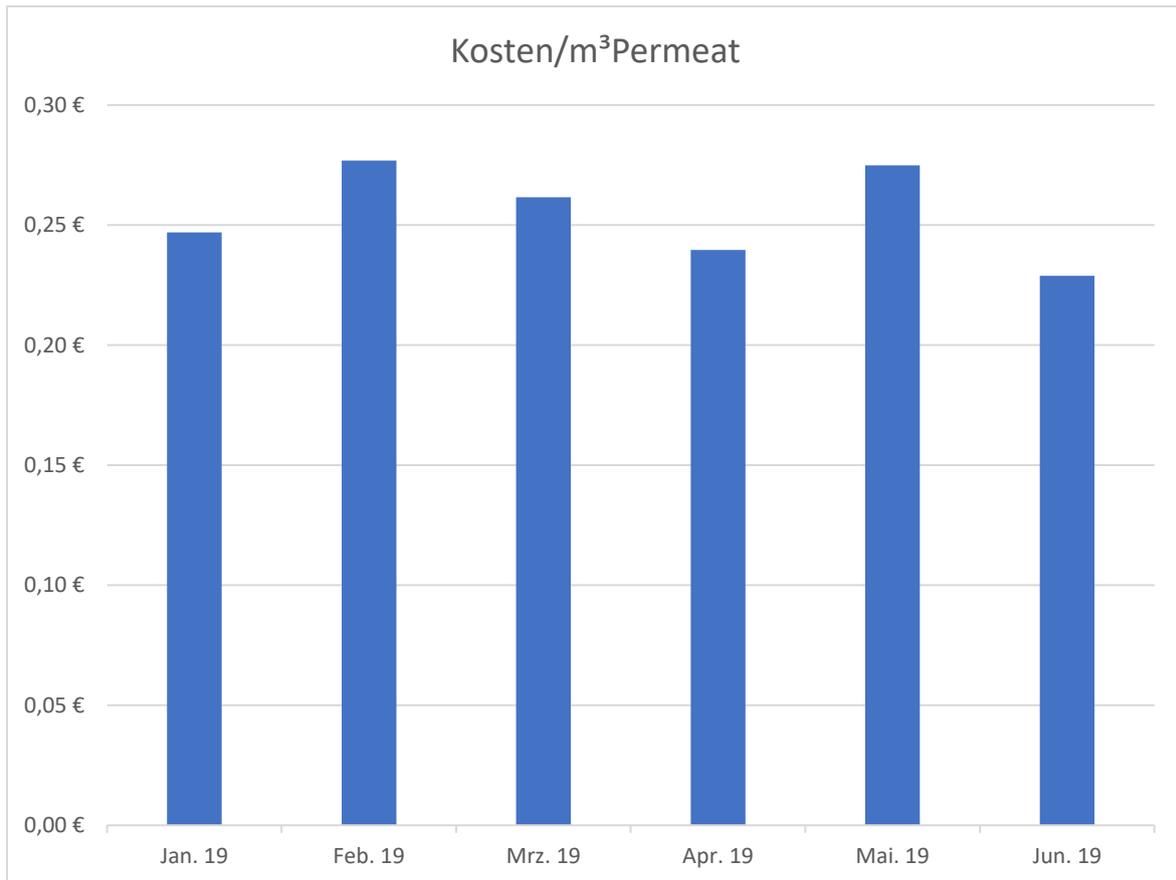


Abbildung 13 Entwicklung der Kosten €/m³

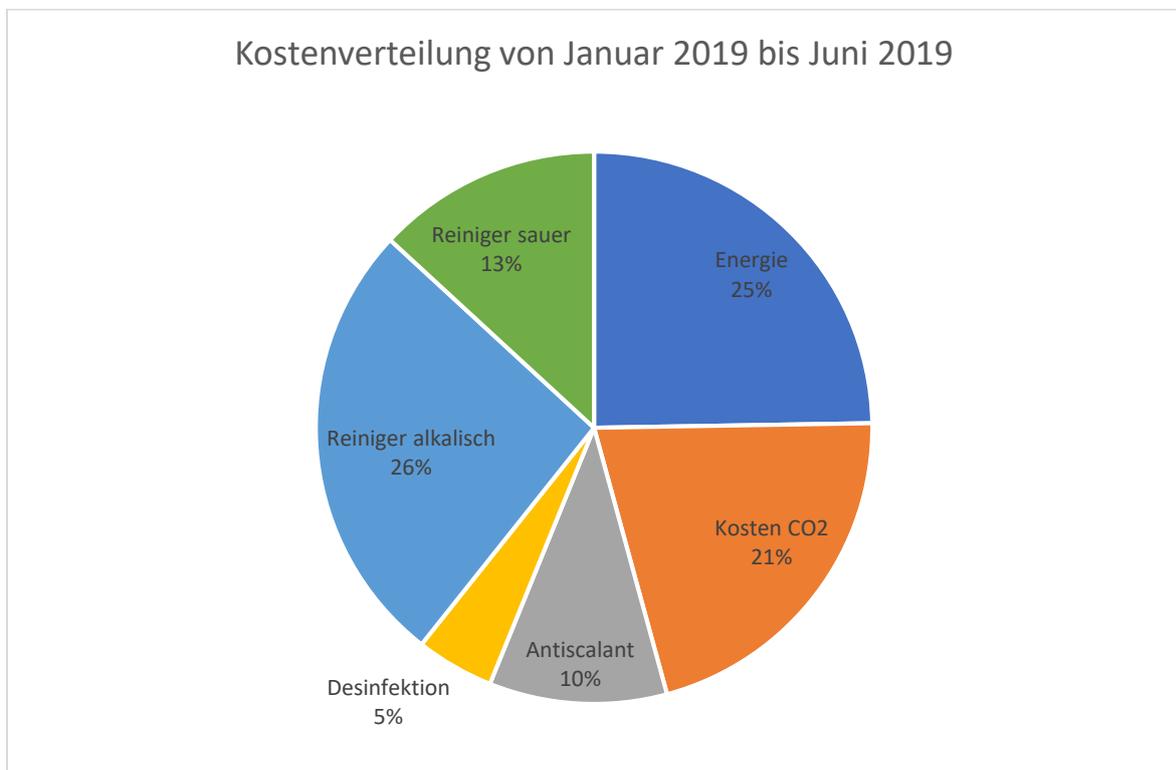


Abbildung 14 Variable Kosten

6.1.3 Energieeinsparung und CO₂-Reduzierung

Mit der Rückführung vom 30°C warmen Permeat ins Prozesswasser der Fabrik wird eine erhebliche Menge an Wärmeenergie in den Prozess zurückgeführt. Bei der jetzt erreichten Permeatmenge von 80m³/h entspricht das eine Rückführung von ca. **1,67 MW** Wärmeleistung. Bei gut 8.200 Betriebsstunden der Fabrik ergibt das eine jährliche Wärmeleistung von 13.700MWh/a die in den Prozess zurückgeführt werden. Die Rückführung der Wärmeleistung ergibt somit eine theoretische Reduzierung der Energiekosten für die Fabrik von gut 368.120€/a. Die tatsächliche Einsparung dürfte bei **184.060 €/a** liegen. In der Produktion wird ein erheblicher Teil vom eingesetzten Frischwasser als Kühlwasser eingesetzt, welches nach dem Gebrauch aufgeheizt und der Produktion als Warmwasser zur Verfügung gestellt wird. Aufgeheizt wird das Wasser mit der Wärmeleistung der Wärmerückgewinnung (AHR) der Papiermaschinen. In den Sommermonaten reicht dafür allein die Wärmeleistung der AHR, somit gibt es in den Sommermonaten keine effektive Einsparung mit der Rückführung vom Permeat. In der kälteren Jahreszeit hingegen reicht die Wärmeleistung der AHR nicht aus und es wird mittels Dampfwärmetauscher zusätzliche Wärmeleistung ins AHR-System gegeben. Für diese Zeit, die rund sechs Monaten im Jahr andauert, wird die zurückgeführte Wärmeleistung aus dem Permeat in vollem Umfang genutzt.

Auf der gleichen Grundlage wurde auch die CO₂-Reduzierung berechnet. Die Berechnung ist in **Abbildung 15** dargestellt. Die Rückführung der Wärmeleistung ergibt eine Reduzierung beim CO₂ Ausstoß von 1.384 Tonnen im Jahr.

<p>Cp Wasser bei 30 °C = 4,178 KJ/kg,K</p> <p>$Q = m \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1) / 3600$</p> <p>$Q = 80 \text{ m}^3/\text{h} \times 4,178 \text{ KJ/kg,K} \times (30 - 12) \text{ K} / 3600 = 1,67 \text{ MW}$</p> <p>Im Jahr: 8200h/a x 1,67 MW = 13 700 MWh/a => Real nur in den Wintermonaten hilfreich für das Werk => 13 700/2 = 6 850 MWh/a</p> <p>Einsparung: 6 850 MWh x 26,87 €/MWh = 184 060 €/Halbjahr</p> <p>CO2 Potential: 6 850 MWh x 0,202 (CO2 Faktor) = 1 384 t/Halbjahr</p>

Abbildung 15 Berechnung Energie- und CO₂-Einsparung

6.1.4 Wirtschaftliche Betrachtung der Membranstandzeiten

Die Lebensdauer der eingesetzten Membrane ist begrenzt und liegt laut Angabe des Herstellers bei vier bis acht Jahren. Die Kosten für den Austausch der Filterpatronen an den UF-Einheiten liegt bei 41 €/m² Filterfläche. Bei der installierten Filterfläche von 4.806 m² entstehen durch den Austausch der Filter Kosten von 190.000 €. Die Kosten für den Austausch der Membraneinsätze an der UO-Einheit liegt bei 30 €/m² Membranfläche. Bei der installierten Filterfläche von 2.220 m² entstehen durch den Austausch der Membrane Kosten in Höhe von 67.000 €.

Vom Hersteller wurden Standzeiten von vier bis sieben Jahre vorhergesagt. Mit der jetzt erreichten Permeat Leistung von $80\text{m}^3/\text{h}$ ergibt sich eine Jahreskapazität von rund $650.000\text{m}^3/\text{a}$. Auf Grundlage der heutigen Beschaffungskosten für Frischwasser unter Berücksichtigung variablen Kosten und der Einsparung durch die zurückgeführte Wärmeleistung ergibt sich daraus eine benötigte Standzeit der Filter und Membrane von ca. 4,5 Jahren.

7 Abweichung von der ursprünglichen Projektplanung und durchgeführte Ergänzungen

7.1.1 Erweiterung Ultrafiltration

- Erhöhung der Filterkapazität um 20 Hohlfilterpatronen (1440m² Filterfläche) im Januar 2019

Die angestrebte Leistung von 50l/m²*h mit Reinigungsintervallen von 3-4 Wochen wurde nicht erreicht.

Mögliche Ursache:

- Erhöhtes Biofouling
- Die UF-Einheiten werden über eine gemeinsame Leitung mit Klarwasser versorgt. Durch den wiederkehrenden Spülvorgang kommt es zu schnellen Volumenstromänderungen und Druckstößen. Durch die Druckstöße wird der Schmutz, der sich auf die Filtermembrane befindet, in die Membrane hinein transportiert. Abbildung 16 zeigt den Druckverlauf Filtrierzyklus bei gemeinsamem Betrieb der beiden UF-Einheiten und Abbildung 17 den Filtrierzyklus bei Einzelbetrieb.

Abbildung 16 Druckverlauf UF Einheit bei Betrieb beider UF Einheiten

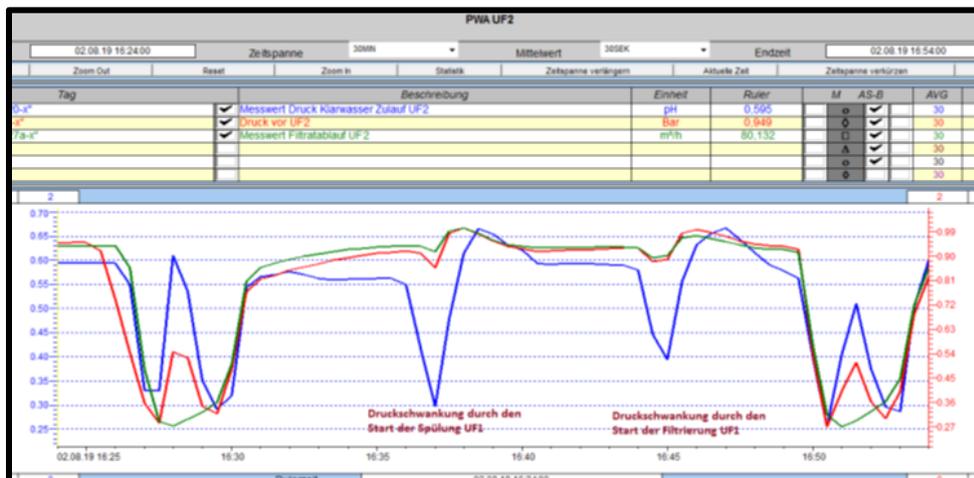
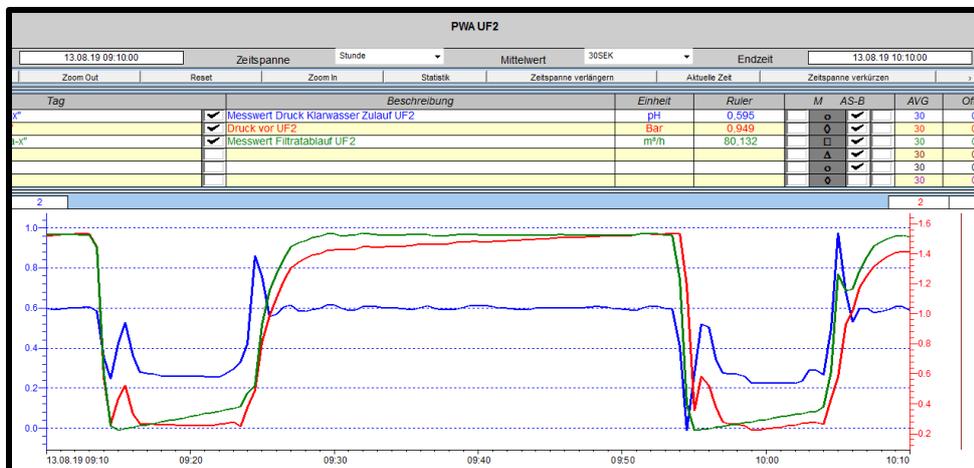


Abbildung 17 Druckverlauf UF Einheit bei Einzelbetrieb



7.1.2 Einbau von Be- und Entlüftern

- Zusätzlicher Bedarf von Be- und Entlüfter in den Rückführleitungen der UF Einheiten

Die UF Einheiten wurde auf die zweite Ebene in der geschaffenen PWA Halle eingebaut. Durch die großen Volumenströme in kurzer Zeit und den konstruktiv gegebenen Fallhöhen kam es bei Spül- und Reinigungsaktionen der UF-Einheiten zur Vakuumbildung in den Rückführleitungen.

8 Modelle / Bilder

8.1 Modelle

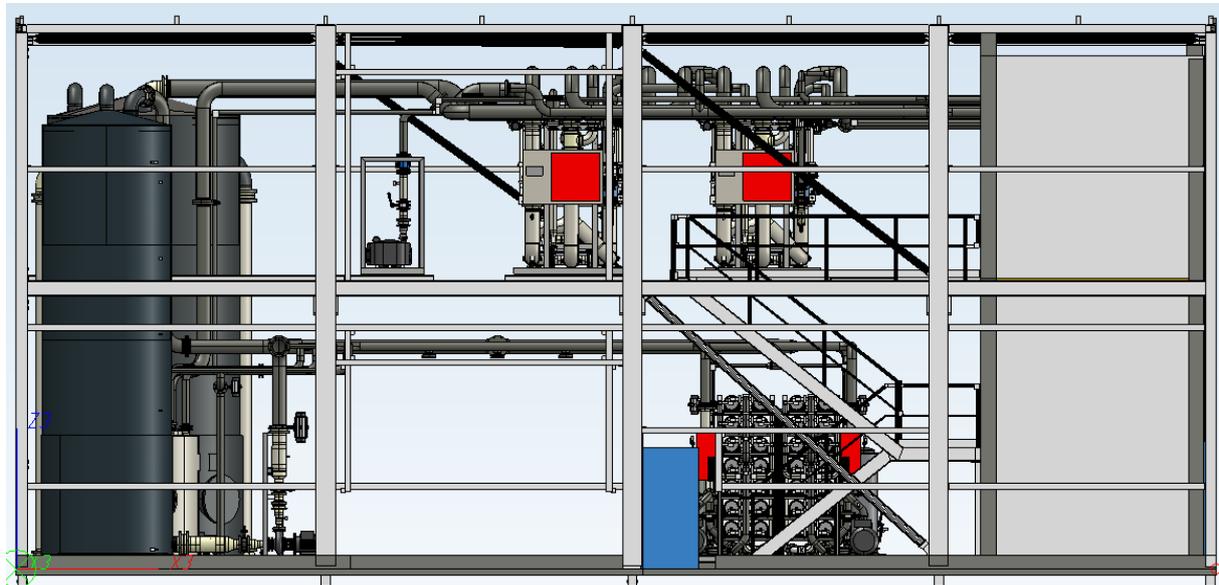


Abbildung 18 Süd-Ansicht

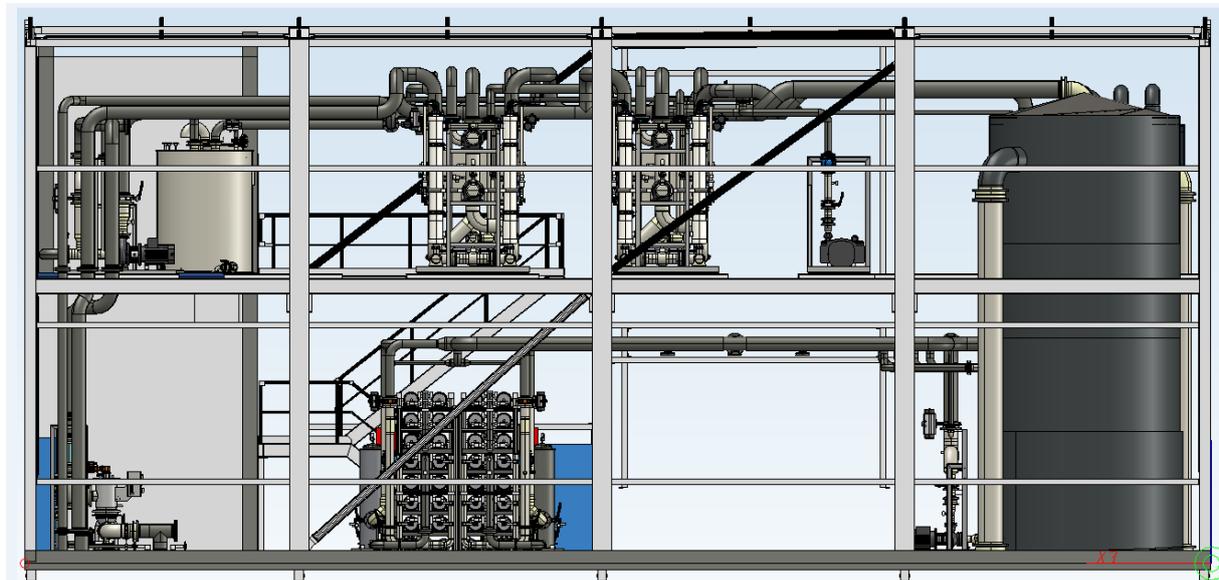


Abbildung 19 Nord-Ansicht

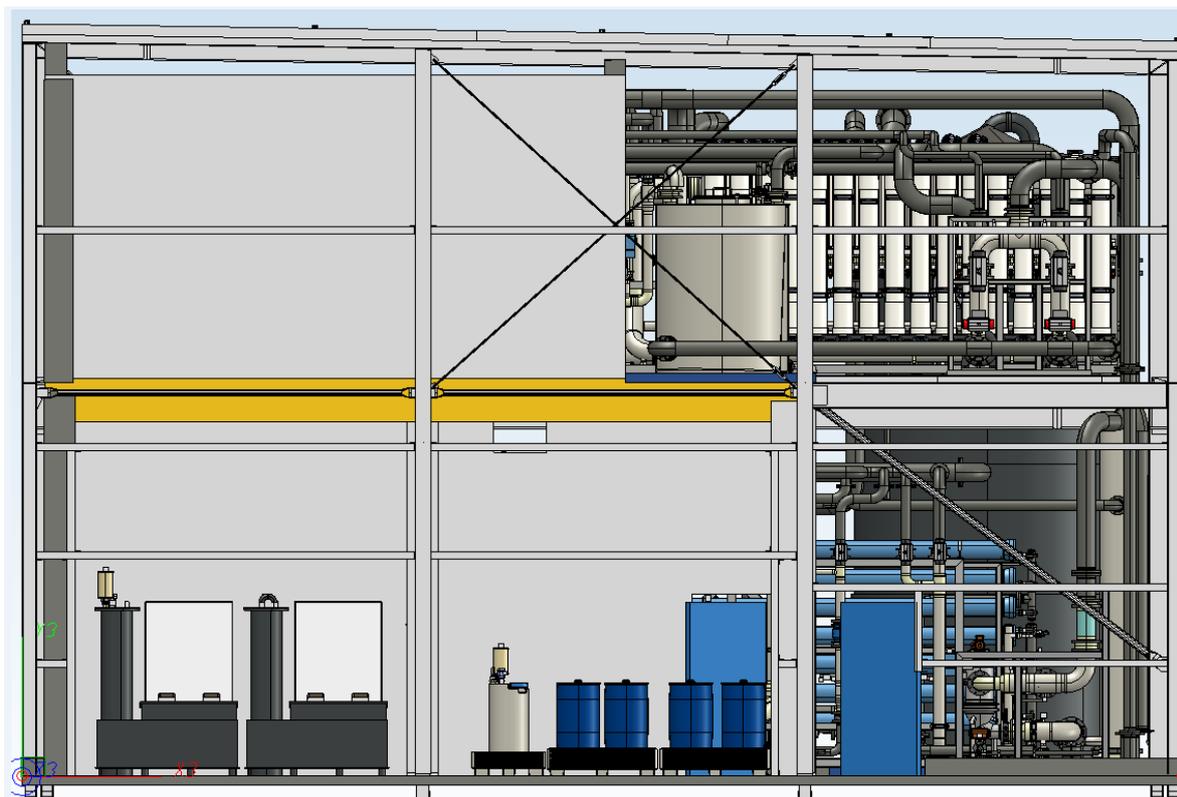


Abbildung 20 Ost-Ansicht

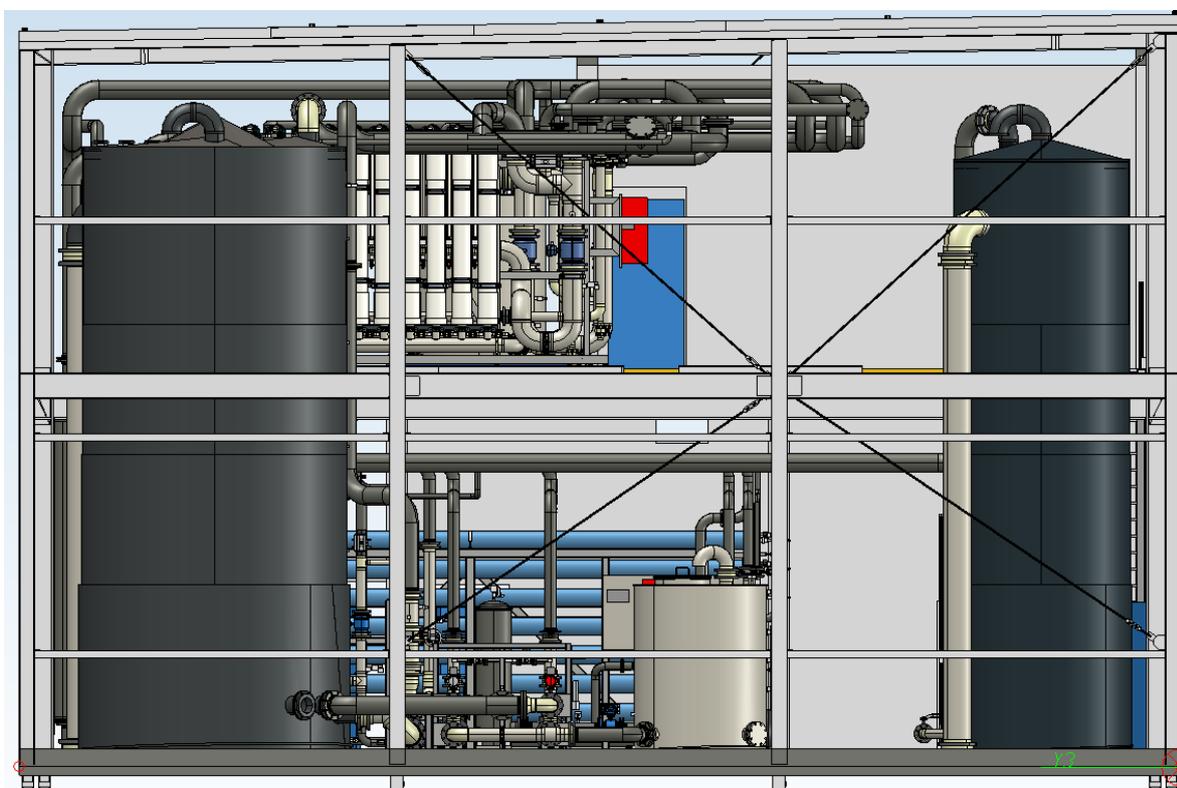


Abbildung 21 West-Ansicht

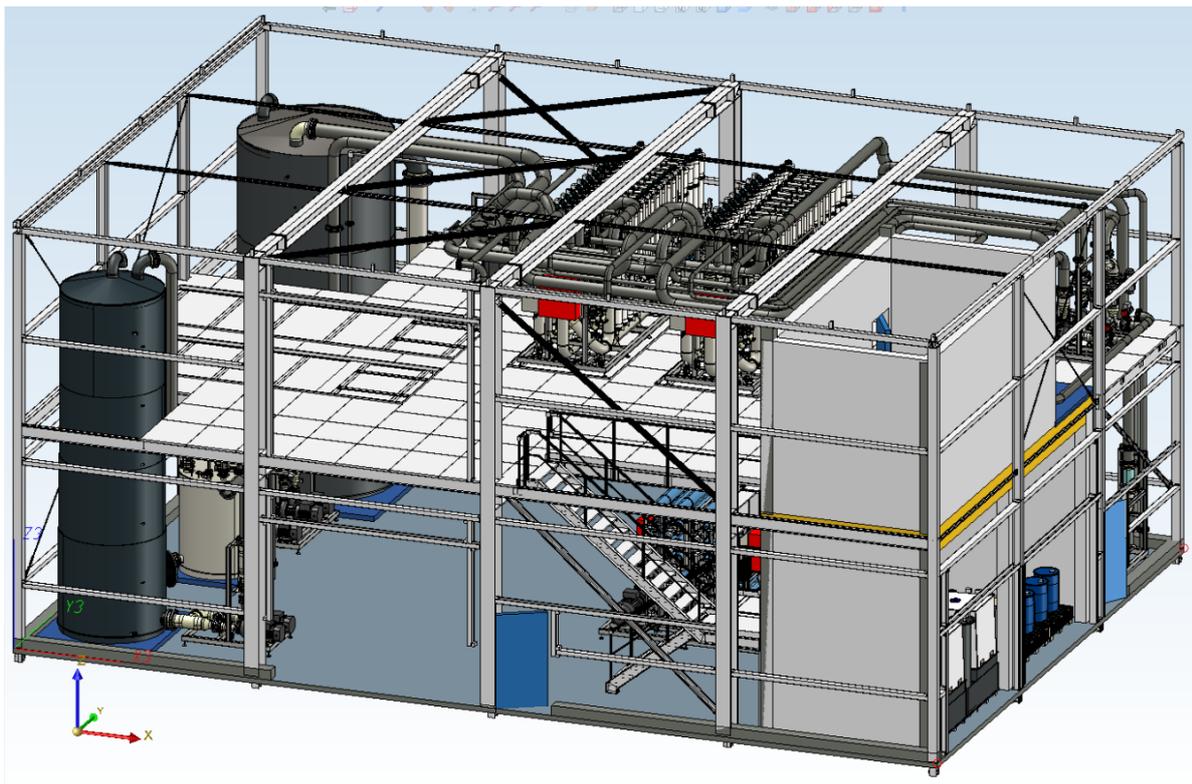


Abbildung 22 Iso Süd

8.2 Anlagenbilder



Abbildung 23 Bild Ansicht Ost



Abbildung 24



Abbildung 25 Pumpwerk Klarwasser zur PWA



Abbildung 26 Bild Ultrafiltration



Abbildung 27 Bild Umkehrosmose



Abbildung 28 Bild Pumpstation, UF-CIP Tank und Bicone



Abbildung 29 Bild Permeat- Tank und Pumpstation

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Mittlere Abwasserqualität und Überwachungswerte der Genehmigung.....	8
Tabelle 2 Qualitätsvergleich Klarwasser, Filtrat, Permeat zum Frischwasser	14

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Fließschema Rohwasserversorgung.....	7
Abbildung 2 Vereinfachtes Fließschema vor Erweiterung.....	9
Abbildung 3 Blockschema PWA	12
Abbildung 4 Trend spez. Frischwasserverbrauch	15
Abbildung 5 Temperaturentwicklung Brunne-/ Frischwassertemperatur	15
Abbildung 6 spez. Klarwassermenge.....	16
Abbildung 7 Reduzierung Klarwasser in %.....	16
Abbildung 8 Monatliche Ab- und Klarwassermengen.....	17
Abbildung 9 Entwicklung CSB Fracht Abwasser / Klarwasser	18
Abbildung 10 Feststoffverlust Klarwasser	18
Abbildung 11 Entwicklung Leitfähigkeit Klarwasser (Quelle: Behördenmessung)	19
Abbildung 12 Entwicklung Leitfähigkeit Zulauf ARA.....	19
Abbildung 13 Entwicklung der Kosten €/m ³	22
Abbildung 14 Variable Kosten	22
Abbildung 15 Berechnung Energie- und CO ₂ - Einsparung.....	23
Abbildung 16 Druckverlauf UF Einheit bei Betrieb beider UF Einheiten	25
Abbildung 17 Druckverlauf UF Einheit bei Einzelbetrieb	25
Abbildung 18 Süd-Ansicht	27
Abbildung 19 Nord-Ansicht.....	27
Abbildung 20 Ost-Ansicht	28
Abbildung 21 West-Ansicht.....	28
Abbildung 22 Iso Süd	29
Abbildung 23 Bild Ansicht Ost	30
Abbildung 24	30
Abbildung 25 Pumpwerk Klarwasser zur PWA	31
Abbildung 26 Bild Ultrafiltration.....	31
Abbildung 27 Bild Umkehrosmose.....	32
Abbildung 28 Bild Pumpstation, UF-CIP Tank und Bicone.....	32
Abbildung 29 Bild Permeat- Tank und Pumpstation.....	33

