



ARA Furt
Stadt Büllach

ARA Furt, Strategie 2030 Studie

Technischer Bericht

Objekt Nr. 1183.43
Winterthur, 10. August 2016

HUNZIKER **BETATECH**

EINFACH.
MEHR.
IDEEN.

Impressum:

Projektname: ARA Furt, Strategie 2030 - Studie

Teilprojekt:

Erstelldatum: 10. August 2016

Letzte Änderung: 10. August 2016

Autor: Hunziker Betatech AG
Pflanzschulstrasse 17
Postfach 83
8411 Winterthur
Tel. 052 234 50 50
E-Mail: info@hunziker-betatech.ch
Andreas Büeler
Koref. Ivo Beurer, Markus Mandler

Datei: Q:\Projekte\1100-1183\1183.43 Strategie 2030\290 Berichte (490)\1183.43-160810-b-Strategie.docx

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	3
Zusammenfassung	4
1 Ausgangslage	11
2 Ziele	12
3 Grundlagen	13
4 Momentane Belastung der Abwasserreinigung	14
4.1 Bemessung ARA Furt heute	14
4.2 Hydraulische Belastung	15
4.3 Schmutzstoffbelastung	17
5 Dimensionierungsgrundlagen	18
5.1 Einleitbedingungen	18
5.2 Prognostiziertes Wachstum (Ausbaugrösse)	20
5.3 Hydraulische Belastung	24
5.4 Schmutzstoffbelastung	27
5.5 Dimensionen der bestehenden Verfahrensstufen	27
6 Beschrieb und Beurteilung bestehender Verfahrensstufen	28
6.1 Mechanische Vorbehandlung	29
6.2 Biologie und Nachklärung	32
6.3 Filtration	36
6.4 Schlammbehandlung	37
6.5 Rücklaufbehandlung	47
6.6 Gasverwertung	50
6.7 HLKS	51
6.8 EMSRL	51
6.9 Gebäude, Hochbauten	53
7 Variantenstudie Stufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen	54
7.1 Auswahl der Verfahrensvarianten	54
7.2 Ermittlung des Platzbedarfs	55
7.3 Beurteilung des sachgemässen Gewässerschutzes	56
7.4 Variantenbeschriebe	57
7.5 Kostenschätzung der Varianten zur Elimination von Mikroverunreinigungen	65
7.6 Variantenvergleich	67
8 Raumentwicklung	69
9 Kostenschätzung	74
9.1 Art der Kostenermittlung	74
9.2 Investitionskosten	74
9.3 Betriebskosten	75
9.4 Kostenteiler	76
10 Fazit und Empfehlungen	77
10.1 Zusammenfassende Empfehlungen	77
10.2 Priorisierung / Etappierung	79
10.3 Zeitachse / Termine	81
11 Anhang	81



Abkürzungsverzeichnis

ARA	Abwasserreinigungsanlage
AS	Automatisierungssystem
AWEL	Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich
BB	Belebungsbecken
BHKW	Blockheizkraftwerk
BSB ₅	Biochemischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
Denitrifikation	Umwandlung von NO ₃ -N zu Luftstickstoff N ₂
DOC	Gelöster organischer Kohlenstoff
E	Einwohner
EMSRL	Elektro-, Mess-, Steuerungs-, Regelungs- und Leittechnik
EW	Einwohnerwert
FAS	Faulschlamm
FF	Fettfang
FHM	Flockungshilfsmittel
FRS	Frischschlamm
GAK	Granulierte Aktivkohle
GUS	Gesamte ungelöste Stoffe
MV	Mikroverunreinigungen
N _{Gesamt}	Gesamtstickstoff (NH ₄ -N + NO ₃ -N + NO ₂ -N + org. gebundener Stickstoff)
NH ₄ -N	Ammonium-Stickstoff
Nitrifikation	Umwandlung von Ammonium zu Nitrat
NED	Nacheindicker
NKB	Nachklärbecken
NO ₂ -N	Nitrit-Stickstoff
NO ₃ -N	Nitrat-Stickstoff
O ₃	Ozon
PAK	Pulveraktivkohle
P _{Gesamt}	Gesamtphosphor
PLS	Prozessleitsystem
PS	Primärschlamm
Q _{max}	Maximale Abwassermenge
Q _{TW}	Abwassermenge bei Trockenwetter
SBR	Sequencing Batch Reaktor
SEA	Schlammwässerungsanlage
SF	Sandfang
SFA	Schlammfäulungsanlage
SVI	Schlammvolumenindex
TKN	Total Kjeldahl-Stickstoff (Summe von organischem Stickstoff und NH ₄ -N)
TS	Trockensubstanz
ÜSS	Überschussschlamm
VED	Voreindickung
VKB	Vorklärbecken
WKK	Wärme-Kraft-Kopplungs-Anlage

Zusammenfassung

Ausgangslage

Die ARA Furt in Bülach ist heute auf 44'500 EW ausgelegt. Die Anlage hat ein Alter erreicht, welches einen erhöhten Erneuerungsbedarf erfordert. Die Auslastung der ARA nähert sich der dimensionierten Anlagenbelastung. Zudem trat am 01.01.2016 die revidierte Gesetzgebung bezüglich Mikroverunreinigungen (MV) in Kraft. Demnach muss auch die ARA Furt Massnahmen zur Elimination von MV treffen. Nach Vorgabe des AWEL sind die Massnahmen bis zum Jahr 2025 zu realisieren.

Die Betriebsbewilligung für die ARA Furt erlischt am 31.12.2018. Die zukünftigen Einleitbedingungen wurden vom AWEL bereits provisorisch definiert. Die wesentlichen Änderungen sind verschärfte Einleitbedingungen für Ammoniak- und Ammoniumstickstoff und die zusätzlich verlangte Elimination von Gesamtstickstoff. Für die Erneuerung der Bewilligung wird in dieser Studie aufgezeigt, wie die erforderlichen ARA-Kapazitäten für den festgelegten Planungshorizont bereitgestellt werden können.

Ziele

Die Sanierung bzw. Erneuerung der einzelnen Verfahrensschritte und die Erweiterung mit einer MV-Stufe beeinflussen sich gegenseitig und benötigen Platz auf dem Areal der ARA Furt. In dieser Studie wird das übergeordnete Konzept zur Entwicklung der Kläranlage erstellt. Die zukünftige Ausbaugrösse der ARA Furt wird bestimmt. Daraus leiten sich die Massnahmen in den einzelnen Verfahrensstufen ab:

- **Sanierung / Erneuerung** von Biologie, Filtration, Schlammbehandlung und Rücklaufbehandlung
- **Erweiterung** mit einer Stufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen.

Die bestehenden Verfahrensstufen und die relevanten Prozesse sowie Belastungen, Kapazitäten und Redundanzen werden beschrieben und bewertet. Für die Erweiterung mit einer MV-Stufe wurde eine Variantenstudie mit Kostenschätzung durchgeführt. Basierend auf dem Platzbedarf für die neue Stufe und die Sanierung bestehender Stufen wird eine mögliche Raumentwicklung aufgezeigt. Ein Vorschlag zur Priorisierung und zeitlichen Abfolge der Sanierungs- und Ausbaumassnahmen wird unterbreitet.

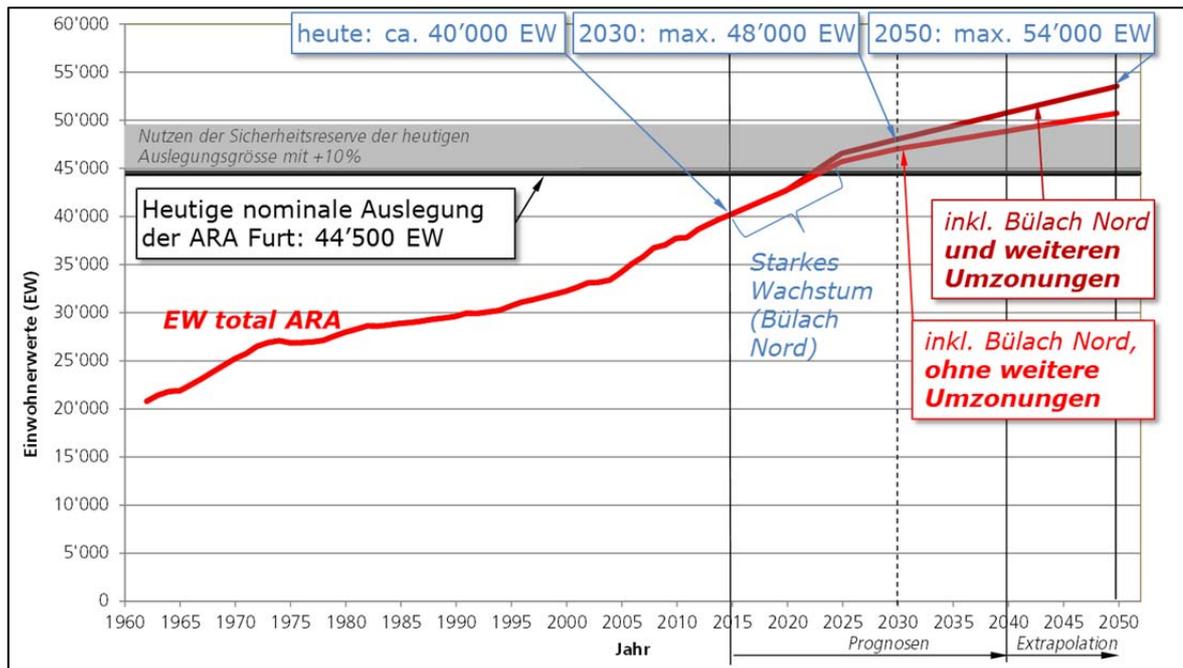
Dimensionierungsgrundlagen

Die ARA Furt ist bezüglich Schmutzstoffbelastung heute im Mittel mit knapp 40'000 EW belastet. Dies entspricht rund 90% der heutigen Bemessung. Die hydraulische Belastung (Q_{TW}) liegt bei gut 70% der heutigen Bemessung.

Gestützt auf kantonale Prognosen, Abschätzungen der Anschlussgemeinden und insbesondere einer Prognose der Stadt Bülach wurden zur Bestimmung der Ausbaugrösse Wachstumsprognosen bis 2050 erstellt. Massgebende Faktoren für die Zunahme der Belastung sind das Bevölkerungswachstum und der Anschluss des Entwicklungsgebietes „Bülach Nord“. Die Prognosen zeigen, dass bei einem Ausschöpfen der vollen Kapazität der heutigen Auslegung ein Ausbau erst nach 2030 notwendig ist (siehe folgende Abbildung). Deshalb wurde nebst dem Ausbauziel auch das Zwischenziel 2030 definiert. Für dieses Zwischenziel wird aufgezeigt, mit welchen Massnahmen von einem früheren Ausbau abgesehen werden kann. Für Zwischenziel 2030 und Ausbauziel 2050 werden folgende Anlagenbelastungen definiert:

- Zwischenziel: 2030 48'000 EW
- Ausbauziel: 2050 54'000 EW

Aufgrund sinkender Fremdwassermengen und langfristig abnehmenden spezifischen Trinkwasser- verbräuchen wird die hydraulische Bemessung bei der heutigen Dimensionierung von 370 l/s (ohne Rückläufe) belassen. Wie schon heute müssen zusätzlich die Rückläufe aus der Sandfiltration (Schlammwasser) berücksichtigt werden.



Beurteilung bestehender Verfahrensstufen

Mechanische Vorbehandlung: Die hydraulische Kapazität beträgt für den Zulaufbereich ab dem Regenbecken, über Rechen und Sandfang, bis zu den Vorklärbecken mehr als 1 m³/s. Somit bestehen grosse Reserven zur hydraulischen Bemessung von 370 l/s. Es ist momentan nur ein Vorklärbecken in Betrieb, die Vorklärung hat also genügend Kapazitätsreserven.

Biologie und Nachklärung: Die biologische Stufe erreicht heute hervorragende Ablaufwerte. Es steht ein Biologievolumen von 5'915 m³ zur Verfügung. Im Zwischenziel 2030 können für die hydraulische Auslegung von 389 l/s (inkl. Rückläufe) mit den bestehenden Beckenvolumen 3.2 g/l Belebtschlamm zurückgehalten werden, was einem SVI von gut 110 l/kg entspricht. Mit einem SVI von 100 l/kg, können 3.6 g/l Belebtschlamm zurückgehalten werden, was sogar für das Ausbauziel 2050 noch knapp ausreichende Kapazität bedeutet. Das heisst, durch leistungssteigernde Massnahmen kann innerhalb der bestehenden Biologie das Wachstum mindestens bis zum Zwischenziel 2030 abgedeckt werden. Die vorhandenen Beckenvolumen und die Oberflächen der Nachklärbecken zur Absetzung reichen bis zum Zwischenziel 2030 aus, wenn Massnahmen zur Optimierung des SVI ergriffen werden.

Eine Stickstoffelimination von 60% ist bis zum Ausbauziel möglich (heute 84%). Eine weitere Kapazitätssteigerung bzw. Entlastung der bestehenden Biologie ist durch eine Erneuerung der Rücklaufbehandlung möglich.

Filtration: Da vorgeschlagen wird, die hydraulische Bemessung bei der heutigen Dimensionierung zu belassen, verändert sich auch die maximale Filtergeschwindigkeit nicht. Die Sandfiltration bietet genügend Reserven und kann zurzeit belassen werden.

Schlammbehandlung: Die heutige Schlammbehandlung ist durch einen diskontinuierlichen Betrieb geprägt. Engpässe zwingen zu einer Bewirtschaftung mit mehreren Zwischenpuffern. Dies führt zu einem im Mittel dünnen Frischschlamm, mit stark variierendem TS-Gehalt. Wenn nicht ein Teil des ÜSS zur Verdünnung des Primärschlammes über die Vorklärbecken geführt wird, treten Schwierigkeiten bei der Schlammsiebung auf. Der wichtigste Engpass auf der Frischschlammseite ist die ca. 200 m lange Ableitung in die Frischschlammvorlage, wo abwechselnd Frischschlamm und fremder Faulschlamm transportiert werden.

Der Faulraum wird heute in nur zwei Chargen pro Tag beschickt. Für eine Anlage der Grösse der ARA Furt ist nach heutigem Stand der Technik das bestehende Faulraumvolumen knapp. Die Aufenthaltszeit beträgt bereits heute nur noch 17 d. Auch betriebliche Gründe und die fehlenden Redundanzen sprechen für ein grösseres Faulraumvolumen. Die Wärmerückgewinnung mit CIP-Anlage ist aufgrund von Betriebsproblemen mit dem Wärmetauscher nicht in Betrieb.

Heute besteht auf der ARA Furt ein hoher Bedarf an Puffervolumen, insbesondere für das Handling der (ausgefauten) Fremdschlämme. Der chargenweise Betrieb mit sporadischer Einmischung des Fremdschlammes über mehrere Pufferbecken erschwert die Bildung eines homogenen Schlammes und verunmöglicht einen kontinuierlichen Betrieb.

Rücklaufbehandlung: Die Leistung der bestehenden Rücklaufbehandlung ist zwar ausgezeichnet, aber die bestehende Kapazität ist limitiert (Teilstrombehandlung).

Gasverwertung: Die ARA Furt verwertet ihr Klärgas in einer Wärme-Kraft-Kopplungs-Anlage (WKK). In zwei Blockheizkraftwerken (BHKW) wird Strom erzeugt. Gleichzeitig wird mit der anfallenden Abwärme zum Teil der eigene Wärmebedarf für Faulung und Heizung abgedeckt. Auch eine Aufbereitung zu Biomethan und Einspeisung in ein Erdgasnetz wäre denkbar. Die benötigte Wärme auf der ARA müsste aus dem Abwasser und per Strombezug aus dem Netz gewonnen werden.

EMSRL: Das Automatisierungs- und Prozessleitsystem entspricht dem Stand der Technik. Ersatzteile sind gemäss Hersteller bis ins Jahr 2030 garantiert. Alle anderen EMSRL-Einrichtungen sind in einem sehr guten Zustand, aber altersbedingt als ausgedient einzustufen und darum erneuerungsbedürftig.

Variantenstudie Stufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen

Für die neue Stufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen werden folgende Verfahrensvarianten berücksichtigt:

- Variante 1 - Ozonung mit bestehender Sandfiltration
- Variante 2 - PAK-Dosierung auf den Sandfilter
- Variante 3 - PAK-Direktdosierung in die Biologie
- Variante 4 - Kombination Ozonung mit GAK-Filtration

Die vier untersuchten Varianten werden beschrieben, grob dimensioniert und beurteilt. In dieser Studie wird davon ausgegangen, dass die MV-Stufe hydraulisch auf die Kapazität der biologischen Stufe ausgelegt und baulich auf eine Strasse ausgelegt wird.

Beim Variantenvergleich schneidet das Verfahren der Ozonung mit Sandfiltration am besten ab. Dieses Verfahren beeinflusst die bestehende Anlage am wenigsten. Eine Ozonung vor der bestehenden Sandfiltration ist auch die wirtschaftlichste Variante. Die Jahreskosten der Ozonung sind aufgrund der tieferen Betriebskosten deutlich tiefer als jene von PAK-Verfahren. Auch das Verfahren der PAK-Dosierung auf den Sandfilter schneidet gut ab. Es weist zwar höhere Betriebskosten als eine Ozonung auf, dafür besteht das Risiko kritischer Abbauprodukte nicht. Die Dosiermengen sind kleiner als bei einer PAK-Direktdosierung in die Biologie und eine Rückführung in die Biologie ist nicht zwingend.

In Anbetracht des kommunal geprägten Abwassers auf der ARA Furt ist ein Kombiverfahren Ozon und GAK-Filtration nicht zwingend. Das bestehende Filtrervolumen dürfte für eine Adsorptionsstufe zu knapp sein. Zur definitiven Beurteilung der GAK-Filtration müssen aber die Resultate der laufenden Versuche der Ozonung mit GAK-Filtration auf der ARA Furt abgewartet werden.

Das Verfahren der PAK-Direktdosierung in die Biologie wird am schlechtesten bewertet. Die bestehende Biologie und Schlammbehandlung bieten in der jetzigen Ausbaugrösse zu wenig Reservevolumen für eine PAK-Direktdosierung in die Biologie. Von diesem Verfahren wird deshalb abgeraten, auch wenn die Auswirkungen der PAK auf den SVI positiv sein dürften.

Fazit und Empfehlungen

Mechanische Vorbehandlung: Eine Sanierung von Rechen und Sandfang ist für 2017 geplant. Nach Möglichkeit soll ein feinerer Rechen eingesetzt werden. Massnahmen zur Kapazitätssteigerung sind nicht erforderlich, weil die hydraulische Belastung nicht zunimmt. Wenn die organische Belastung für die biologische Stufe zu hoch wird, kann bei Bedarf das zweite Vorklärbecken wieder in Betrieb genommen werden.

Biologie und Nachklärung: Der Ausbau der Biologie drängt sich gemäss Wachstumsszenarien nicht akut auf. Mit leistungssteigernden Massnahmen der bestehenden Biologie können mindestens bis zum Zwischenziel 2030 auch mit der bestehenden Biologie die Ablaufwerte eingehalten werden. Folgende Massnahmen kommen zum Ausschöpfen der vollen Kapazität der bestehenden Biologie in Frage:

- Vorfällung zur Entlastung der biologischen Stufe (grosse Reserven in der Vorklärung)
- Einsatz von Utopur® zur Verbesserung des Schlammvolumenindex und Flockungshilfsmitteln
- Erneuerung der Rücklaufbehandlung zur Entlastung der biologischen Stufe bezüglich Stickstoffs

Bei Erreichen des Zwischenziels (vor 2030) soll erneut geprüft werden, ob zusätzliches Beckenvolumen zur Verfügung gestellt werden muss oder ein Verfahrenswechsel in Frage kommt. Dies soll basierend auf dem bis dahin real erfolgten Wachstum sowie aktualisierten Wachstumsprognosen erfolgen. Es wird nicht als zielführend erachtet, bereit zum jetzigen Zeitpunkt basierend auf einem Szenario mit relativ hohem Wachstum auszubauen. Falls ein Szenario mit eher geringem Wachstum eintritt, wird die Anlagenbelastung im Jahr 2030 erst knapp über dem heutigen Ausbauziel liegen. Auch bei Szenarien mit mittlerem bis hohem Wachstum wird die Anlagenbelastung im Jahr 2030 erst 5-8% über dem heutigen Ausbauziel liegen.

Filtration: Es wird empfohlen, die Sandfiltration im Rahmen des Ausbaus der ARA mit einer MV-Stufe zu sanieren bzw. die Funktion anzupassen. Je nach gewählter Variante für die MV-Stufe sind mehr oder weniger umfangreiche Anpassungen notwendig.

Schlammbehandlung: Übergeordnetes Ziel der Optimierung der Schlammstrasse ist es, durch eine gleichmässigeren, kontinuierlichen Betriebsweise homogenere Schlämme mit höherem TS-Gehalt zu erreichen. Dazu sollen Engpässe behoben und Zwischenpuffer reduziert werden. Die Frischschlammbehandlung soll insbesondere durch kontinuierlichere Entnahmen und Beschickungen sowie zuverlässige Einmischungen optimiert werden. Die Kapazität der Faulung soll gesteigert und die Faulung kontinuierlicher beschickt werden. Anstelle eines Nacheindickers soll ein Nachfaulraum mit Stapelvolumen für das Handling der Fremdschlämme zur Verfügung gestellt werden. Dazu werden folgende Massnahmen empfohlen:

- Neue / separate Leitung für Frischschlamm ab VKB bis Vorlage Frischschlamm SFA,
- Umbau Faulturm & Nacheindicker: Umbau des NED zu einem Faulraum und Umnutzung des Faulraums zu einem Nachfaulraum bzw. Schlammstapel
- Umfahren von Frischschlammschacht, Vorlage Beschickung NED/Stapel und Dünnschlammstillen.

Rücklaufbehandlung: Um den verschärften Anforderungen an die Stickstoffelimination gerecht zu werden, bietet sich ein Weiterbetrieb der Rücklaufbehandlung an. Zur weiteren Entlastung der Hauptbiologie soll die Kapazität der bestehenden Rücklaufbehandlung gesteigert werden (Vollstrombehandlung). Dafür soll das Sedimentationsbecken (welches heute als Zulaufpuffer dient) zu einem zweiten Reaktor umgebaut werden. Um Kosten für Belüftung und Methanol zu sparen, wird empfohlen, einen Verfahrenswechsel auf das Deammonifikations-Verfahren „DEMON®“ zu prüfen.

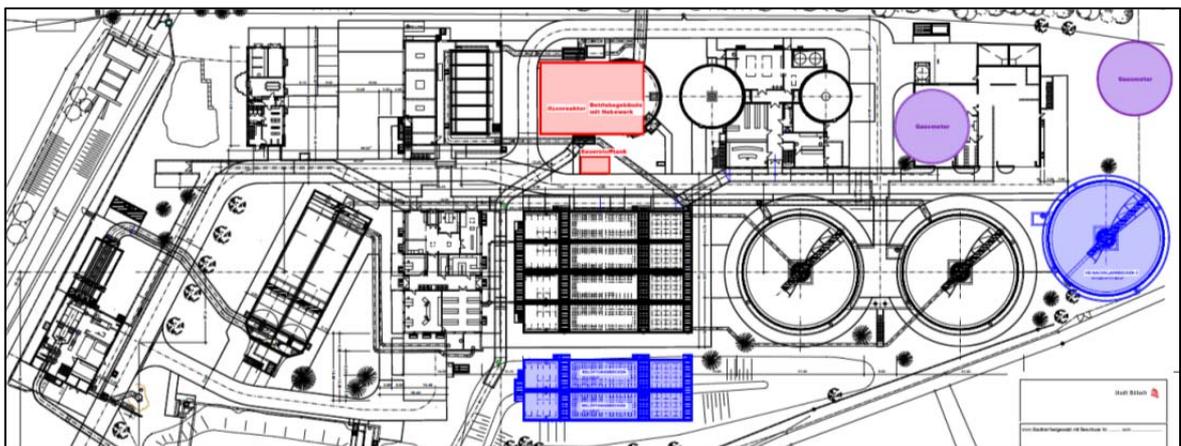
Gasverwertung: Wir empfehlen der ARA Furt, an der bisherigen Gasverwertung in den eigenen BHKW mit Notstromfunktion festzuhalten. Im Rahmen des Ausbaus der ARA Furt mit einer Stufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen soll bei Bedarf der Gasometer verlegt werden.

EMSRL: Für das Automatisierungs- und Prozessleitsystem sind in den nächsten rund 10 Jahren keine Massnahmen notwendig. Die EMSRL-Einrichtungen der einzelnen Verfahrensstufen sollen bei entsprechenden Sanierungen ersetzt werden. EMSRL-Einrichtungen für Anlagenteile, bei welchen in den nächsten 5 Jahren keine Erneuerung / Änderung geplant ist, sollen in das Werterhaltungsprogramm aufgenommen werden.

Stufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen: Insgesamt wird eine Ozonung besser als die Aktivkohle-Verfahren bewertet. Als Bestvariante empfehlen wir aus heutiger Sicht das Verfahren der Ozonung zwischen der biologischen Abwasserreinigung und der bestehenden Sandfiltration. Der Betrieb einer Ozonung hat am wenigsten Auswirkungen auf den Betrieb und andere Teile der Kläranlage. Weder Biologie noch Schlammbehandlung werden dadurch wesentlich beeinflusst. Die Filtration wird kaum zusätzlich belastet und bietet ausreichende Kapazität. Eine Ozonung vor der bestehenden Sandfiltration ist auch die wirtschaftlichste Variante, vor allem aufgrund der tieferen Betriebskosten.

Die Empfehlung zugunsten der Ozonung gilt unter dem Vorbehalt der grundsätzlichen Eignung der Ozonung. Die Behandelbarkeit des Abwassers mit Ozon muss bereits vor dem Verfahrensentcheid mittels Labortests geprüft werden. Es darf nicht zur Bildung von unerwünschten Nebenprodukten kommen. Vor allem das Risiko übermässiger Bromatbildung aufgrund hoher Bromid-Konzentration im Zulauf muss ausgeschlossen werden. Falls Vorbehalte oder die Resultaten aus den Labortests gegen eine Ozonung sprechen, wird als Alternative das ebenfalls gut geeignete Verfahren der PAK-Dosierung auf den Sandfilter empfohlen. Ein definitiver Verfahrensentcheid soll erst nach Abschluss der Pilotversuche mit GAK gefällt werden. Die vorgeschlagene Massnahme muss auf Stufe Studie oder Vorprojekt in einem Anhörungsverfahren im Einzelfall vom BAFU bestätigt und vom Kanton angeordnet werden.

Raumentwicklung: Die folgende Abbildung stellt die empfohlenen Massnahmen dar, welche im Betrachtungshorizont dieser Studie (bis 2030) Auswirkungen auf die Raumentwicklung der ARA Furt haben.



Es wird empfohlen, die Stufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen nahe der Filtration zu platzieren, wie in obiger Abbildung für die Bestvariante Ozonung rot dargestellt. Auch ein Verschieben des Ablaufkanals oder des Verkehrsweges, damit die MV-Stufe direkt neben der Filtration platziert werden kann, ist denkbar. Bei Anordnung der MV-Stufe in der Nähe des Ablaufkanals und auf einer ähnlichen Höhenlage wie die Sandfiltration steht genügend hydraulische Reserve zur Verfügung. Somit muss das Abwasser nicht nochmals gepumpt werden, was sich positiv auf den Energiebedarf der Anlage auswirkt.

Um genügend Platz für die MV-Stufe zu schaffen und Gefahrenbereiche (Sauerstoff oder PAK und Methan) sauber zu trennen, muss der Gasometer verschoben werden (in obiger Abbildung violett dargestellt). Die Platzreserve für eine dritte Strasse Biologie und Nachklärbecken ist in der Abbildung oben blau dargestellt.



Priorisierung / Zeitachse: Aufgrund der unterschiedlichen Dringlichkeiten der Sanierungs- und Erneuerungsmassnahmen werden diese entsprechend priorisiert. Es wird eine koordinierte Abfolge mit folgenden Prioritäten vorgeschlagen:

- 1. Priorität: Optimierung der Frischschlammbehandlung (kontinuierliche Betriebsweise)
- 2. Priorität: Kapazitätssteigerung der Rücklaufbehandlung (inkl. allenfalls Verfahrenswechsel)
- 3. Priorität: Umbau Faulturm und Nacheindicker mit Totalsanierung, (inkl. Verschieben Gasometer)
- 4. Priorität: Neue Stufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen
- 5. Priorität: Bei Bedarf Kapazitätssteigerung / Ausbau von Biologie und Nachklärung

Die folgende Abbildung zeigt ein mögliches Vorgehen auf der Zeitachse, wobei die Realisierung nacheinander in der Reihenfolge der definierten Prioritäten erfolgen würde:

Priorität	Massnahme	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034					
1	Optimierung Frischschlammbehandlung			◆	◆																					
	Planung			■																						
	Realisierung			■																						
2	Kapazitätssteigerung Rücklaufbehandlung			◆	◆																					
	Planung			■																						
	Realisierung (inkl. allenfalls Verfahrenswechsel)			■																						
3	Umbau Faulturm & Nacheindicker (inkl. Totalsanierung)			◆	◆																					
	Planung			■																						
	Realisierung (inkl. Verschieben des Gasometers bei Bedarf)			■																						
4	Stufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen					◆	◆																			
	Planung					■	■																			
	Realisierung					■	■																			
5	Kapazitätssteigerung / Ausbau Biologie, Nachklärung																									
	Wiedererwägung "Ausbau Biologie"																									

Umweltverträglichkeitsprüfung: Die geplanten Massnahmen auf der ARA Furt sind zum Teil sehr umfassend und im Sinne der Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung als wesentlich einzustufen. Somit muss im Rahmen des Bauprojektes eine Umweltverträglichkeitsprüfung durchgeführt und ein Umweltverträglichkeitsbericht erstellt werden.

Kurzfasit: Übergeordnete Zielsetzung ist es, die ARA Furt bezüglich Schlammbehandlung zu sanieren und technisch sowie betrieblich auf den aktuellen Stand der Technik zu bringen (Prioritäten 1 bis 3). Daneben sind die Vorgaben der aktuellen Gewässerschutz-Gesetzgebung einzuhalten (Priorität 4).

1 Ausgangslage

Die ARA Furt in Bülach reinigt das Abwasser der angeschlossenen Gemeinden Bachenbülach, Bülach, Hochfelden, Höri und Winkel. Auf der ARA Furt wird das Abwasser in den folgenden Stufen behandelt: mechanisch, biologisch, chemisch und per Filtration.

Die Abwasserbehandlung erfolgt zweistrassig, für die biologische Stufe jeweils in zwei Becken pro Strasse. Für die biologische Reinigung wird das alternierend / intermittierende Belebtschlammverfahren eingesetzt (A/I-Verfahren), mit Nitrifikation und Teil-Denitrifikation. Der anfallende Schlamm wird auf der ARA Furt ausgefault. Die Schlammbehandlung erfolgt mittels anaerob mesophiler Faulung in einem Faulturm und einem Nacheindicker. Die Anlage ist ausgerüstet mit einer Schlammmentwässerungsanlage für die Region Zürcher Unterland. Ein Teil der Rückläufe aus der Schlammbehandlung (Faulwasser) und Schlammmentwässerung (Zentrat) wird separat behandelt. In einem SBR-Verfahren wird die Ammoniumfracht abgebaut und so die Rückbelastung reduziert.

Die ARA Furt wurde 1956 in Betrieb genommen. Der Ausbau zur heutigen Anlage erfolgte Ende der 90er-Jahre. Die ARA Furt ist heute auf 44'500 EW ausgelegt. Die Anlage hat ein Alter erreicht, welches einen erhöhten Erneuerungsbedarf erfordert. Zudem nähert sich die Auslastung der ARA der dimensionierten Anlagenbelastung.

Am 1. Januar 2016 trat die geänderte Gesetzgebung bezüglich organischer Spurenstoffe in Kraft (Gewässerschutzgesetz [1] und Gewässerschutzverordnung [2]). Zu den Spurenstoffen gehören Arzneimittel, Stoffe für den Pflanzen- und Materialschutz, Körperpflege- und Reinigungsmittel, und unzählige andere. Die Spurenstoffe, auch Mikroverunreinigungen (MV) genannt, gelangen über unterschiedliche Eintragswege in die Gewässer. Ein Haupteintrag stammt aus dem Ablauf von Kläranlagen. Die heutigen Anlagen können diese Spurenstoffe nur ungenügend aus dem Abwasser entfernen. Die revidierte Gewässerschutzverordnung verlangt deshalb eine zusätzliche Reinigungsstufe bei etwa 100 Schweizer Abwasserreinigungsanlagen in den nächsten 20 Jahren. Die verlangte Eliminationsrate beträgt 80% im Jahresmittel bezogen auf den ARA-Zulauf und eine Liste von Indikatorsubstanzen.

Auch die ARA Furt muss Massnahmen gegen Mikroverunreinigungen ergreifen, da der Abwasseranteil im Vorfluter mehr als 10% beträgt. Nach Vorgabe des AWEL ist die ARA Furt in der 1. Prioritätsstufe eingeteilt [5]. Das heisst, Massnahmen zur Elimination von Mikroverunreinigungen sind bis zum Jahr 2025 zu treffen. Als Massnahmen kommen der Anschluss an die Eliminationsstufe einer anderen ARA oder der Bau einer eigenen Eliminationsstufe in Frage.

Die ARA Furt verfügt über eine Bewilligung zur Einleitung von gereinigtem Abwasser in die Glatt vom 10. Mai 1993. Diese Bewilligung erlischt am 31. Dezember 2018. Die zukünftigen Einleitbedingungen wurden vom AWEL bereits provisorisch definiert [6]. Für die Erneuerung der Bewilligung ist aufzuzeigen, wie die erforderlichen ARA-Kapazitäten für den festgelegten Planungshorizont bereitgestellt werden können.

Im Rahmen der Strategiestudie 2030 werden aufgrund der oben beschriebenen Rahmenbedingungen folgende Massnahmen überprüft:

- **Sanierung / Erneuerung** von Biologie, Filtration, Rücklaufbehandlung und Schlammbehandlung
- **Erweiterung** mit einer Stufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen.

Die Sanierung bzw. Erneuerung auf den Stand der Technik der einzelnen Verfahrensschritte und die Erweiterung mit einer MV-Stufe beeinflussen sich gegenseitig und benötigen Platz auf dem Areal der Kläranlage. In dieser Studie soll das übergeordnete Konzept zur Entwicklung der Kläranlage erstellt werden. Daraus leiten sich die vorgeschlagenen Massnahmen in den einzelnen Verfahrensstufen ab.

Dieser Bericht zeigt die Ergebnisse der Strategiestudie für die ARA Furt 2030. Diese Strategie dient dazu, rechtzeitig die entsprechenden Projekte aufzuleisen und die Finanzierung regeln zu können.

2 Ziele

- Prognose der Entwicklung der Anlagenbelastung bis 2050
 - Dimensionierung der hydraulischen und biologischen Belastung und Bestimmung der zukünftigen Ausbaugrösse der ARA Furt
 - Beurteilung von Belastungen, Kapazitäten und Redundanzen sowie der Prozesse für die Abwasserstrasse, die Schlammbehandlung und die Rücklaufbehandlung
 - Empfehlungen von Massnahmen für die Abwasserstrasse, die Schlammbehandlung und die Rücklaufbehandlung
 - Variantenstudie mit Empfehlung der Bestvariante für die Stufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen mit Kostenschätzung
 - Abschätzung des Platzbedarfs für Sanierung bzw. Erneuerung bestehender sowie neuer Verfahrensstufen und Konzept der Raumentwicklung
 - Vorschlag zu Priorisierung und zeitlicher Abfolge der Sanierungs- und Ausbaumassnahmen
 - Kostenschätzung und Klärung der Finanzierung
-



3 Grundlagen

- [1] „Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz, GSchG) – 814.20“, vom 24.01.1991 (Stand am 01.01.2016)
- [2] „Gewässerschutzverordnung (GSchV) – 814.201“, vom 28.10.1998 (Stand am 01.01.2016)
- [3] Dominguez D., Diggelmann V., Binggeli S.: „Elimination von organischen Spurenstoffen bei Abwasseranlagen. Finanzierung von Massnahmen“, BAFU, Umwelt-Vollzug Nr. 1618, 2016
- [4] „Verordnung des UVEK zur Überprüfung des Reinigungseffekts von Massnahmen zur Elimination von organischen Spurenstoffen bei Abwasserreinigungsanlagen“, UVEK, Entwurf, 15.02.2016
- [5] „Elimination von Mikroverunreinigungen auf Abwasserreinigungsanlagen - Planung des Kantons Zürich“, AWEL, Vorabzug Juni 2014
- [6] „Zukünftige Einleitbedingungen“, Brief AWEL, 20.06.2015
- [7] „Datenblatt ARA Furt“, Stadt Bülach, 2014
- [8] „ARA Furt, Bülach - Auswertung der Betriebsrapporte 2015“, Hunziker Betatech AG, 17.02.2016
- [9] Pläne, Verfahrensschemas, R&I-Schemas, Anleitungen der bestehenden Anlage ARA Furt, Bülach
- [10] „Teilrevision Richt- und Nutzungsplanung - Öffentlicher Gestaltungsplan Bülach Nord“, Stadt Bülach, 15.01.2014
- [11] „Abwasserverband Bülach – Fremdwasserbestimmung“, Hunziker Betatech AG, 31.10.2013
- [12] Feedback zu „Fragebogen Abwassersituation 2025“, Hunziker Betatech AG, 10.09.2015
- [13] „Bevölkerungsentwicklung - Bevölkerungsprognose 2040“, Stadt Bülach, 21. Januar 2016
- [14] „Bericht Zustandsuntersuchung Sand-/Fettfang“, Hunziker Betatech AG, 05.02.2016
- [15] „Bericht Zustandsuntersuchung Vorklärbecken“, Hunziker Betatech AG, 16.04.2012
- [16] „Bericht Zustandsuntersuchung Nachklärbecken 1 & 2“, Hunziker Betatech AG, 08.05.2015
- [17] „Bericht Zustandsuntersuchung Nacheindicker und Faulraum“, Hunziker Betatech AG, 9.10.2009
- [18] „Bericht Zustandsuntersuchung SBR-Rücklauf Reaktor“, Hunziker Betatech AG, 2.06.2016
- [19] „Ausführungsprojekt ÜSS-Entwässerungsanlage“, Hunziker Betatech AG, 25.03.2013
- [20] „Bauprojekt Rückbau Schlamm-trocknung & Neue Schlamm-entwässerung“, Hunziker Betatech AG, 30.09.2011
- [21] „Protokoll Strategie 2025 – Schlammbehandlung“, Hunziker Betatech AG, 25.02.2016
- [22] „Stand der Technik für die (mechanische) Entwässerung von Klärschlamm“, AWEL, 09. 2013
- [23] Abegglen C., Siegrist H.: „Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser - Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen“, BAFU, 2012
- [24] „Abschlussbericht: Aktivkohledosierung in den Zulauf zur Sandfiltration Kläranlage Kloten/Opfikon“, EAWAG, August 2011
- [25] „Abschlussbericht Wetzikon: Elimination von Mikroverunreinigungen in der ARA mit Pulveraktivkohle im Belebtschlammbecken“, UMTEC, 18.02.2015
- [26] „Zu behandelnde Abwassermenge und Redundanz von Reinigungsstufen zur Entfernung von Mikroverunreinigungen - Empfehlung“, VSA, 27. Oktober 2015
- [27] Holinger AG, Hunziker Betatech AG: „Dimensionierungswassermenge und Redundanzen von Stufen zur Elimination von Mikroverunreinigungen“, VSA, 2014
- [28] „Behandelbarkeit von Abwasser mit Ozon – Testverfahren zur Beurteilung“, A&G Nr. 7/8, 2015

4 Momentane Belastung der Abwasserreinigung

4.1 Bemessung ARA Furt heute

Der Ausbau der ARA Furt zur heutigen Anlage erfolgte Ende der 90er-Jahre. Damals wurde die Anlage auf eine Ausbaugrösse von 37'700 EW geplant.

Die hydraulische Bemessung basiert auf folgenden Abwassermengen:

- | | | | | |
|-----------------------------|-------------|--------------------------|-------------------------|-----------|
| • Regenwetter | Q_{max} | | 1'331 m ³ /h | (370 l/s) |
| • Trockenwetter | Q_{TW} | 12'017 m ³ /d | 501 m ³ /h | (139 l/s) |
| • Trockenwetter, 17h-Mittel | $Q_{TW,17}$ | | 688 m ³ /h | (191 l/s) |

Die Bemessung der biologischen Belastung basiert auf folgenden Schmutzstoff-Frachten im Ablauf der Vorklärung (80%-Werte):

- | | |
|---|------------|
| • BSB ₅ - Biochemischer Sauerstoffbedarf | 1'825 kg/d |
| • CSB - Chemischer Sauerstoffbedarf | 3'400 kg/d |
| • NH ₄ -N - Ammonium Stickstoff | 380 kg/d |
| • P _{Gesamt} - Gesamter Phosphor | 75 kg/d |

Die Anlagenkapazität wurde im Jahr 2009 aufgrund der aktuellen Dimensionierungsmethoden neu berechnet. Rechnet man die Bemessungsfrachten nach heute üblichen Methode auf Einwohnerwerte um, ergibt sich eine **aktuell effektive Ausbaugrösse von rund 44'500 EW**. Mit diesem Wert wird seit 2009 auch in den Auswertungen der Betriebsdaten gerechnet [8]. Mit Hilfe von Tabelle 1 lässt sich die ursprüngliche statische Bemessung mit einer heute üblichen Methode zur Bemessung einer Anlage für 44'500 EW vergleichen.

Tabelle 1: Heutige Bemessung der Schmutzstoff-Frachten im Ablauf der Vorklärung (85%-Werte, inkl. Rückläufe)

Parameter	Spez. Wert	Einheit	Bemessungsfracht heute (44'500 EW)
BSB ₅	40 g/EW·d	[kg/d]	1'780
CSB _{Gesamt}	80 g/EW·d	[kg/d]	3'560
TS	25 g/EW·d	[kg/d]	1'113
TKN	11.5 g/EW·d	[kg/d]	512
NH ₄ -N	7.5 g/EW·d	[kg/d]	334
P _{Gesamt}	1.7 g/EW·d	[kg/d]	76

Randbedingungen der statischen Bemessung:

- Aufenthaltszeit in der Vorklärung bei Q_{TW} grösser 1.5 h
- Die Bemessungsfrachten wurden über die spezifischen Werte gemäss der Richtlinie ATV-DVWK-A 131 berechnet. Wo Bemessungsangaben fehlen (TS, TKN, NH₄-N) wurden Werte ergänzt.
- Die NH₄-N-Fracht wurde bisher mit einem spezifischen Wert von 8.5 g/EW/d errechnet. In der Auswertung der Betriebsdaten von 2015 wurde vorgeschlagen, diesen Wert aufgrund von Praxiserfahrungen auf 7.5 g/EW/d anzupassen [8]. Die gemäss angepasstem spezifischem Wert aus den Betriebsdaten ermittelte NH₄-N-Belastung (in Einwohnerwerten) liegt in der Grössenordnung der organischen Summenparameter und ist somit plausibel.
- Bemessung auf ganzjährige Nitrifikation bei Abwassertemperaturen von mehr als 10°C
- Die spezifischen Werte berücksichtigen nur die internen Rückläufe, die Rückläufe aus dem Fremdschlamm werden nicht berücksichtigt (wird abgeschätzt durch die Rücklaufbehandlung kompensiert)

4.2 Hydraulische Belastung

Da das sehr trockene Jahr 2015 bezüglich hydraulischer Belastung nicht repräsentativ war, werden die Daten von 2014 dargestellt. Abbildung 1 stellt die täglichen Abwassermengen des Jahres 2014 dar, basierend auf den Betriebsdaten. Es zeigt sich das typische Bild eines ARA-Zulaufs aus einer Kanalisation im Mischsystem. Die Abwassermenge schwankt zwischen dem Trockenwetteranfall (im Mittel rund 7'500 m³/d) und der maximalen Wassermenge von rund 26'000 m³/d. Die einzelnen Spitzen stellen Regenereignisse dar.

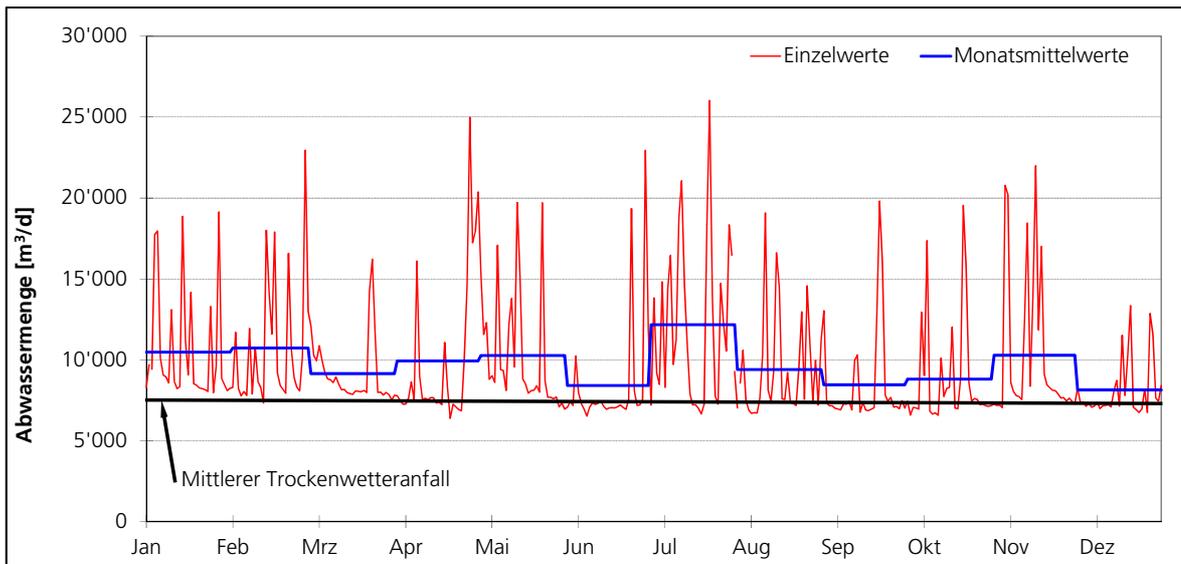


Abbildung 1: Tägliche Abwassermengen 2014 (alle Tage)

Abbildung 2 stellt die täglichen maximalen momentanen Abwassermengen des Jahres 2014 dar. Dies zeigt wiederum das typische Bild eines ARA Zulaufs aus einem Mischsystem. Die tägliche maximale momentane Abwassermenge schwankt zwischen dem maximalen momentanen Trockenwetteranfall (Mittelwert 200 l/s; 85%-Wert: 217 l/s) und dem maximalen Zulauf bei Regenwetter von rund 400 l/s.

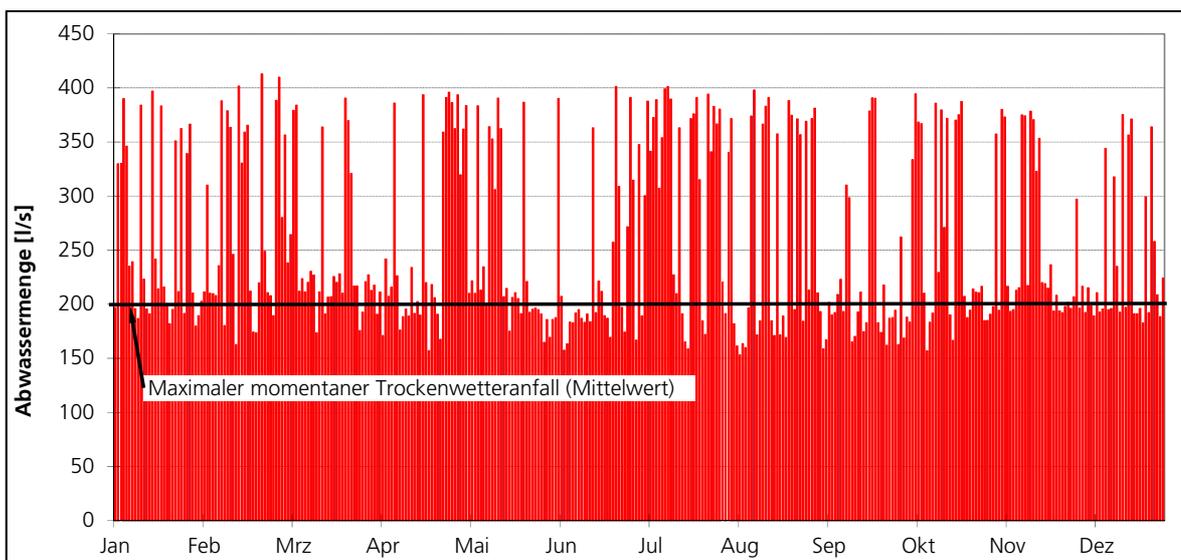


Abbildung 2: Maximale momentane Abwassermengen 2014 (alle Tage)

Zur Ermittlung des Trockenwetteranfalls wurden die Abwassermengen ab dem dritten niederschlagsfreien Tag in Folge als Trockenwetteranfall gewertet. Die detaillierten täglichen Abwassermengen nur für Trockenwettertage sowie für alle Tage des Jahres 2014 sind in Tabelle 2 aufgelistet:

Tabelle 2: Momentane Abwassermengen der ARA Furt (Zulaufwerte 2014)

Parameter	Einheit	Trockenwetter	Alle Tage
Abwassermenge (85%-Wert)	m ³ /d	8'102	13'315
Abwassermenge (Minimum)	m ³ /d	6'522	6'386
Abwassermenge (Mittelwert)	m ³ /d	7'527	9'675
Abwassermenge (Maximum)	m ³ /d	8'924	26'022

Zur Kontrolle wurde der mittlere Trockenwetteranfall Q_{TW} nach VSA (Mittelwert aus $Q_{20\%}$ und $Q_{50\%}$) bestimmt, im Jahr 2014 war dieser 7'646 m³/d.

Die Trockenwettermenge weist über die letzten Jahre bis 2011 einen leicht abnehmenden Trend auf. Ab 2012 führt das Regenbecken ARA dazu, dass weniger Abwasser im Netz entlastet wird und somit mehr der Kläranlage zugeführt wird. Die Anlage wurde für einen Trockenwetteranfall von 12'017 m³/d ausgelegt. Diese Grenze wurde sowohl im Mittel, als auch im 85%-Wert klar unterschritten. Die Trockenwettermengen von 2009 - 2015 sowie die hydraulische Auslastung der Kläranlage bezogen auf den 85%-Wert bei Q_{TW} sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Trockenwetter-Abwassermengen und hydraulische Auslastung der ARA Furt (2009 - 2015)

Parameter	Einheit	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Abwassermenge Q_{TW} (Mittelwert)	m ³ /d	7'746	7'801	6'905	7'566	8'190	7'527	7'592
Abwassermenge Q_{TW} (85%-Wert)	m ³ /d	9'438	8'873	7'599	8'092	9'286	8'102	8'515
Hydraulische Auslastung	%	79	74	63	67	77	67	71

Zur Abschätzung des Fremdwasseranteils wurde die Methode des Gleitenden Minimums angewandt. Das Fremdwasser auf der ARA wird dabei ermittelt, indem für jeden Tag des Untersuchungszeitraumes der Trockenwetterabfluss gleich dem kleinsten mittleren Tagesabfluss aus den letzten 21 Tagen gesetzt wird. Davon wird die als konstant angenommene Schmutzwassermenge subtrahiert. Hierbei wird angenommen, dass während der letzten 21 Tage mindestens einmal Trockenwetter herrschte, so dass sich der Tageszufluss an diesem Tag nur aus Schmutz- und Fremdwasser zusammensetzt. Wie Abbildung 3 zeigt, weist der Verlauf des Fremdwasseranteils einen abnehmenden Trend auf:

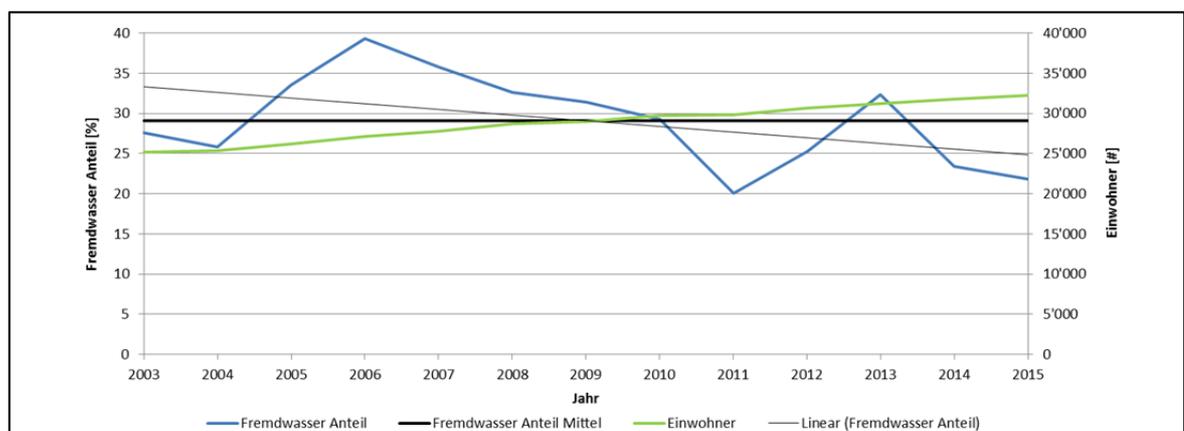


Abbildung 3: Fremdwasseranteil bis 2015 (alle Tage) [8]



4.3 Schmutzstoffbelastung

Die Auslegung der ARA Furt liegt bei 44'500 EW. Die ARA behandelt aktuell (2015) das Abwasser von 32'179 angeschlossenen Einwohnern [8]. Im Mittel wurde die Anlage 2015 mit 39'813 EW belastet [8]. Tabelle 4 zeigt die tägliche Schmutzstoffbelastung inklusive Rückläufe der Anlage im Jahr 2015, gemessen im Ablauf des Vorklärbeckens, basierend auf einer Aufenthaltszeit im VKB von 1.5 - 2 h:

Tabelle 4: Schmutzstoffbelastung & Auslastung ARA Furt (2015); 85%-Werte, ausser Gasproduktion 80%-Wert

Anzahl angeschlossener Einwohner		32'179 E			
Zulaufwerte Biologie, inkl. RL	85%-Wert	Spez. Wert Abl. VK, inkl. RL	Anzahl EW	Auslegung	Auslastung
Abwassermenge bei Trockenwetter	8'515 m ³ /d			12'017 m ³ /d	71%
BSB ₅	1'746 kg/d	40 g/E*d	43'657 EW	44'500 EW	98%
CSB	3'144 kg/d	80 g/E*d	39'297 EW	44'500 EW	88%
KMnO ₄	4'136 kg/d	95 g/E*d	43'536 EW	44'500 EW	98%
NH ₄ -N	311 kg/d	7.5 g/E*d	41'400 EW	44'500 EW	93%
P _{tot}	50 kg/d	1.7 g/E*d	29'386 EW	44'500 EW	66%
Gasprod.	1'248 m ³ /d	30 l/E*d	41'600 EW	44'500 EW	93%
Mittelwert			39'813 EW		89%

Im Mittel wurde die Anlage 2015 mit 39'813 EW belastet und war damit zu 89% ausgelastet. Die Auslastung liegt bei keinem der Schmutzparameter über dem Auslegungswert. Jedoch zeichnen sich bei Betrachtung bestimmter Parameter, beispielsweise BSB₅, das Erreichen der Auslegung ab. Es ist zu beachten, dass die spezifischen Werte in Tabelle 4 bei einer Aufenthaltszeit im VKB bei Q_{TW} von 1.5 - 2 h gelten. Es ist heute nur ein VKB in Betrieb, dadurch reduziert sich die Aufenthaltszeit bei Q_{TW} für die heutige Auslegung auf rund 1 h. Aufgrund der verkürzten Aufenthaltszeit gelten bei Betrieb nur eines VKB höhere spezifische Schmutzstoff-Frachten (BSB₅: 45 g/EW d, CSB: 90 g/EW d). Dies reduziert die effektive organische Belastung um 12.5%. Durch die Wiederinbetriebnahme des zweiten Vorklärbeckens lassen sich diese versteckten Kapazitätsreserven ausschöpfen.

Wie Abbildung 4 zeigt, hat die Anlage bezüglich der Kohlenstofffracht ihre Auslastungsgrenze erreicht, bzw. im Jahr 2012 bereits teilweise überschritten, ohne Einbussen in der Reinigungsleistung.

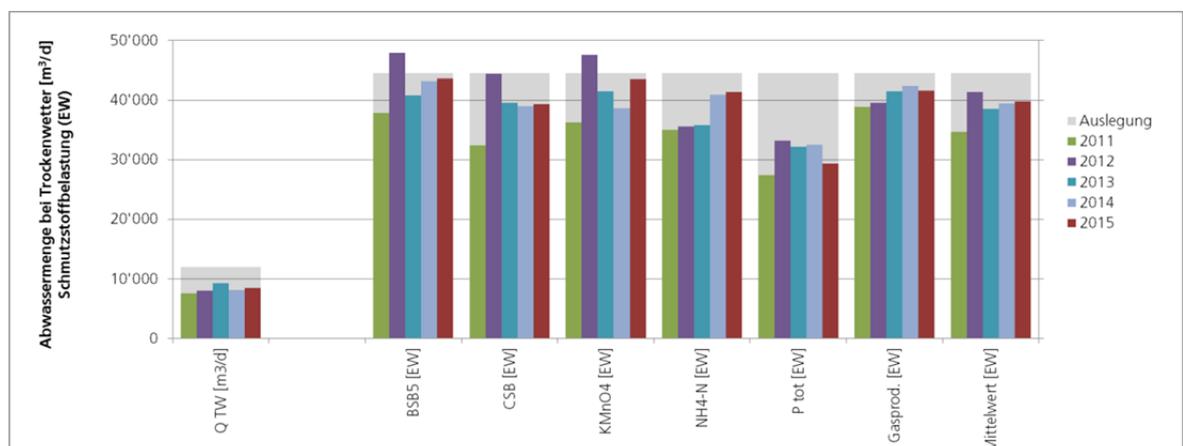


Abbildung 4: Anlagenebelastung ARA Furt– Zulauf Biologie, inkl. interner Rückläufe (2010-2015, 85%-Werte)

5 Dimensionierungsgrundlagen

5.1 Einleitbedingungen

Die erteilte Bewilligung zur Einleitung des gereinigten Abwassers in die Glatt erlischt am 31.12.2018. Die zukünftigen Einleitbedingungen wurden vom AWEL bereits provisorisch definiert [6]. Die Einleitbedingungen werden im Rahmen des Bewilligungsverfahrens definitiv festgesetzt. Die gesetzlich geforderten bestehenden und zukünftigen Einleitbedingungen sind in Tabelle 5 aufgelistet:

Tabelle 5: Einleitbedingungen, bestehend und neu, gültig ab 2019 (provisorisch) [6]

Parameter	Anforderung [mg/l] ^{a)}		Höchstwert [mg/l] ^{b)}		Reinigungseffekt [%] ^{c)}		Bemerkungen
	Bisher	Neu	Bisher	Neu	Bisher	Neu	
Gesamte ungelöste Stoffe (GUS)	5.0	5.0		20	nicht anwendbar		
Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB ₅)	10	10		30	> 90	> 90	
Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)	60	40			-	> 85	
Kaliumpermanganat (KMnO ₄)	60	-			-	-	
Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)	10	10		20	> 85	> 85	
Gesamtphosphor (P _{Gesamt}) ^{d)}	0.8	0.8			> 80	> 80	
Ammoniak- / Ammonium-Stickstoff (NH ₃ -N / NH ₄ -N) ^{e)}	2.0	1.0			> 90	> 90	
Nitrit-Stickstoff (NO ₂ -N) ^{e)}	0.3	0.3			nicht anwendbar		Richtwert gemäss GSchV
Gesamtstickstoff (N _{Gesamt}) ^{e), f)}	-	15			-	60	Richtwert bez. auf Jahresmittel
Elimination von Mikroverunreinigungen ^{g)}					-	80	Ausbau bis 2025

^{a)} Die Anforderungen gelten am Ort der Einleitung und für den Normalbetrieb der ARA; vorbehalten sind Ausnahmesituationen wie extrem starke Niederschläge.

^{b)} Höchstwerte dürfen bei keiner Probe überschritten werden.

^{c)} Reinigungseffekt bezogen auf Rohabwasser.

^{d)} Die Anforderung für P_{ges} darf im Jahresmittel nicht überschritten werden

^{e)} Gilt für eine Abwassertemperatur von mehr als 10 °C.

^{f)} Richtwert zur Beurteilung der Stickstoffelimination. Reinigungseffekt bezogen auf Rohabwasser (exkl. anlageninterner Rückläufe, ohne Zugabe fremder C-Quellen). Die Anforderung für Gesamtstickstoff soll im Jahresmittel nicht überschritten werden.

^{g)} Anforderung gemäss Botschaft zur Änderung des Gewässerschutzgesetzes (GSchG) vom 26. Juni 2013. Kann im Zuge der Inkraftsetzung der GSchV noch geändert werden.

Die wesentlichen Änderungen in den zukünftigen Einleitbedingungen sind:

- Verschärfte Einleitbedingungen für Ammoniak- und Ammoniumstickstoff; dies ist im schlechten Verdünnungsverhältnis in der Glatt begründet und bedeutet eine Anpassung auf den Grenzwert, welcher für die anderen ARA im Einzugsgebiet der Glatt gilt.
- Zusätzlich verlangte Elimination von Gesamtstickstoff; dies ergibt sich aus der Verpflichtung der Kantone im Einzugsgebiet des Rheins, weniger Stickstoff aus den Abwasserreinigungsanlagen einzuleiten.
- Zusätzliche Reinigungsstufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen; gemäss Planung des Kantons Zürich muss die ARA Furt in 1. Priorität, das heisst bis 2025, ausgerüstet werden [5].

Im Betriebsjahr 2014 wäre die verschärfte Einleitbedingung für $\text{NH}_4\text{-N}$ vier Mal überschritten worden, bei 150 Messwerten (bei dieser Anzahl Proben wären gemäss Gewässerschutzverordnung 12 Überschreitungen zulässig). Alle anderen zukünftigen Einleitbedingungen, ausser der Elimination von Mikroverunreinigungen, können mit der bestehenden Anlage (bei heutiger Belastung) bereits erfüllt werden. Zwar gab es bisher keine Anforderung für N_{Gesamt} , doch der Reinigungseffekt lag 2014 bei 84%. Die Anlage funktioniert einwandfrei.

Einleitbedingungen für Mikroverunreinigungen

Für die Festlegung, welche Anlagen mit einer Stufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen ausgerüstet werden müssen, hat der Bund vier Kriterien definiert. Die ARA Furt fällt in die Gruppe der ARA, bei denen das dritte Kriterium angewandt wird. Dieses gilt für ARA bei denen mehr als 8'000 Einwohnerinnen und Einwohner angeschlossen sind und die in ein Fließgewässer mit einem Abwasseranteil von mehr als 10% einleiten. Bei der ARA Furt beträgt der kumulative Abwasseranteil in der Glatt 27%.

Das Reinigungsziel bezüglich Elimination von Mikroverunreinigungen ist, im Jahresmittel mindestens 80% der Mikroverunreinigungen zu eliminieren. Weil auch die biologische Stufe einen Teil der Mikroverunreinigungen eliminiert, wird die Eliminationsrate über den Vergleich von Zulauf zur ARA zu Auslauf der ARA bestimmt.

Die Anzahl der zu messenden Substanzen soll möglichst gering gehalten werden. Daher wird die Elimination von MV anhand einer Stoffpalette von Indikatorsubstanzen gemessen und quantifiziert. Die definitive Ausgestaltung dieser Stoffpalette sowie Art und Häufigkeit der Probenahme sind noch in Vernehmlassung, dazu wird 2016 eine Departementale Verordnung des UVEK erwartet [4]. Die im Entwurf publizierte Liste umfasst zwölf Substanzen, die in zwei Kategorien eingeteilt werden:

- Kategorie 1 (sehr gut entfernbar): Amisulprid, Carbamazepin, Citalopram, Clarithromycin, Diclofenac, Hydrochlorothiazid, Metoprolol, Venlafloxin
- Kategorie 2 (gut entfernbar): Benzotriazol, Candesartan, Irbesartan, 4-Methylbenzotriazol und 5-Methylbenzotriazol als Gemisch

Zur Überprüfung der Reinigungsleistung sollen mindestens sechs dieser Stoffe bestimmt werden, vier aus der Kategorie 1 (sehr gut entfernbar) und zwei aus der Kategorie 2 (gut entfernbar). Das Verhältnis der Substanzen der Kategorie 1 zu den Substanzen der Kategorie 2 muss 2:1 betragen. Die Konzentrationen dieser Substanzen im zufließenden Abwasser müssen mindestens das Zehnfache der Bestimmungsgrenze betragen. Sind weniger als sechs Substanzen in dieser Konzentration vorhanden, legt die kantonale Behörde in Absprache mit dem Bundesamt für Umwelt soweit sinnvoll weitere Substanzen zur Berechnung des Reinigungseffekts fest.

Der massgebende Reinigungseffekt wird durch das arithmetische Mittel des Reinigungseffektes aller zur Berechnung herangezogener Substanzen ermittelt. Dadurch wird sichergestellt, dass mit der Einhaltung des Reinigungseffektes von 80% ein breites Spektrum an MV aus dem Abwasser entfernt wird und auch ein optimaler Betrieb gewährleistet ist.

5.2 Prognostiziertes Wachstum (Ausbaugrösse)

Zur Erneuerung der Betriebsbewilligung sind für den festgelegten Planungshorizont die Ausbaugrössen zusammen mit den angeschlossenen Gemeinden festzulegen. Insbesondere ist die künftige hydraulische Auslegung im Einklang mit den Erkenntnissen und Massnahmen aus den kommunalen GEP und dem Verbands-GEP festzusetzen [6]. Dazu wurde von den Verbandsgemeinden per Fragebogen zur Abwassersituation die Entwicklungsprognosen bis 2025 abgefragt [12], [13].

Die Kläranlage Furt der Stadt Bülach reinigt weiterhin das Abwasser der Anschlussgemeinden Bülach, Bachenbülach, Hochfelden, Höri und Winkel. Es ist nicht mit Anschlüssen weiterer Gemeinden bzw. ARA zu rechnen. Es wird aber voraussichtlich in den nächsten fünf Jahren ein Entwicklungsgebiet „Bülach Nord“ geschaffen. Dort soll Raum für ca. 2'000 Einwohnende und mehrere Hundert Arbeitsplätze geschaffen werden.

Die momentan an die ARA Furt Anzahl angeschlossener Einwohner (Bülach und Anschlussgemeinden) gemäss Statistischem Jahrbuch Kanton Zürich 2015 sind in Tabelle 6 gelistet:

Tabelle 6: Angeschlossene Einwohner ARA Furt, Bülach

Gemeinde	Einwohner [E]	Wachstum 2008-2013 [%]	Quelle / Bemerkungen
Bülach 2013	18'348	9.3	[Statistisches Jahrbuch Kanton Zürich 2015]
Bachenbülach 2013	4'038	6.9	[Statistisches Jahrbuch Kanton Zürich 2015]
Hochfelden 2013	2'008	7.4	[Statistisches Jahrbuch Kanton Zürich 2015]
Höri 2013	2'634	7.6	[Statistisches Jahrbuch Kanton Zürich 2015]
Winkel 2013	4'183	8.3	[Statistisches Jahrbuch Kanton Zürich 2015]
Total 2013 Effektiv angeschlossen	31'211 31'136	8.6	Ergibt 1.66% jährliche Wachstumsrate [8]
Total 2015 Effektiv angeschlossen	32'256 32'179		hochgerechnet mit 1.66% Wachstumsrate [8]

2013 waren 31'211 Einwohner in den der ARA angeschlossenen Gemeinden wohnhaft. Das gesamte Wachstum von 2008-2013 war 8.6%. Die Bevölkerung wuchs zwischen 2008 – 2013 mit einer jährlichen Wachstumsrate von 1.66%, in einer Periode mit starkem Wachstum.

Bei einer Strategiebetrachtung für 2025 und bei einem Nutzungszeitraum von 25 Jahren ist mit einem Ausbauziel für das Jahr zu 2050 rechnen. Deshalb wird nachfolgend eine Wachstumsprognose der angeschlossenen Gemeinden für das Jahr 2050 erstellt.

5.2.1 Wachstumsprognosen gestützt auf kantonale Prognosen

Für die Zukunft rechnet das Statistische Amt des Kantons Zürich mit einem deutlich schwächeren Wachstum, gemäss Wachstumsprognosen nach Tabelle 7:

Tabelle 7: Prognosen Bevölkerungswachstum [Statistisches Amt des Kantons Zürich (STAT), 2014]

Region	Zeitraum	Wachstumsrate [%]	Jährl. Wachstumsrate [%]
Kanton Zürich	2013 – 2040	19.6	0.67
Region Unterland	2013 – 2040	16.3	0.56
Bezirk Bülach	2013 – 2040	18.5	0.63

*1 Bevölkerungsprognosen weiter als 2040 gibt es momentan nicht

Zur Berechnung von Belastungsszenarien werden, abgeleitet aus den Wachstumsraten des Statistischen Amtes, die folgenden Wachstumsraten zwischen 2015 und 2050 angenommen:

- Geringes Wachstum 0.5% pro Jahr
- Mittleres erwartetes Wachstum Einzugsgebiet ARA Bülach 0.7% pro Jahr
- Starkes Wachstum 0.9% pro Jahr

Weil die Anschlussgemeinden nicht mit wachsender Belastung durch Gewerbe und Industrie rechnen, werden die Wachstumsraten nur auf die natürlichen Einwohner angewandt. Ausgehend von der momentanen Belastung 2015 und unter Berücksichtigung der verschiedenen Wachstumsraten ergeben sich für 2050 die Belastungen gemäss Tabelle 8. Für den Anschluss des Entwicklungsgebietes „Bülach Nord“ werden einmalig 2'500 EW im Jahr 2020 dazugerechnet.

Tabelle 8: Prognostizierte Entwicklung der Anlagenbelastung

Parameter	Einheit	Wert
Heutige Belastung gerundet bei 32'179 natürlichen Einwohnern (2015)	EW	40'000
Szenario geringes Wachstum (0.5% pro Jahr von 2015 – 2050)	EW	+6'100
Szenario mittleres Wachstum (0.7% pro Jahr von 2015 – 2050)	EW	+8'900
Szenario starkes Wachstum (0.9% pro Jahr von 2015 – 2050)	EW	+11'900
Entwicklungsgebiet Bülach Nord (einmalig im Jahr 2020)	EW	+2'500
Prognose Belastung 2050 bei geringem Wachstum (0.5%/a)	EW	48'600
Prognose Belastung 2050 bei mittlerem Wachstum (0.7%/a)	EW	51'400
Prognose Belastung 2050 bei starkem Wachstum (0.9%/a)	EW	54'400

Abbildung 5 stellt die prognostizierte Zunahme der Anlagenbelastung bis 2050 dar, mit Berücksichtigung des Anschlusses des Entwicklungsgebietes Bülach Nord:

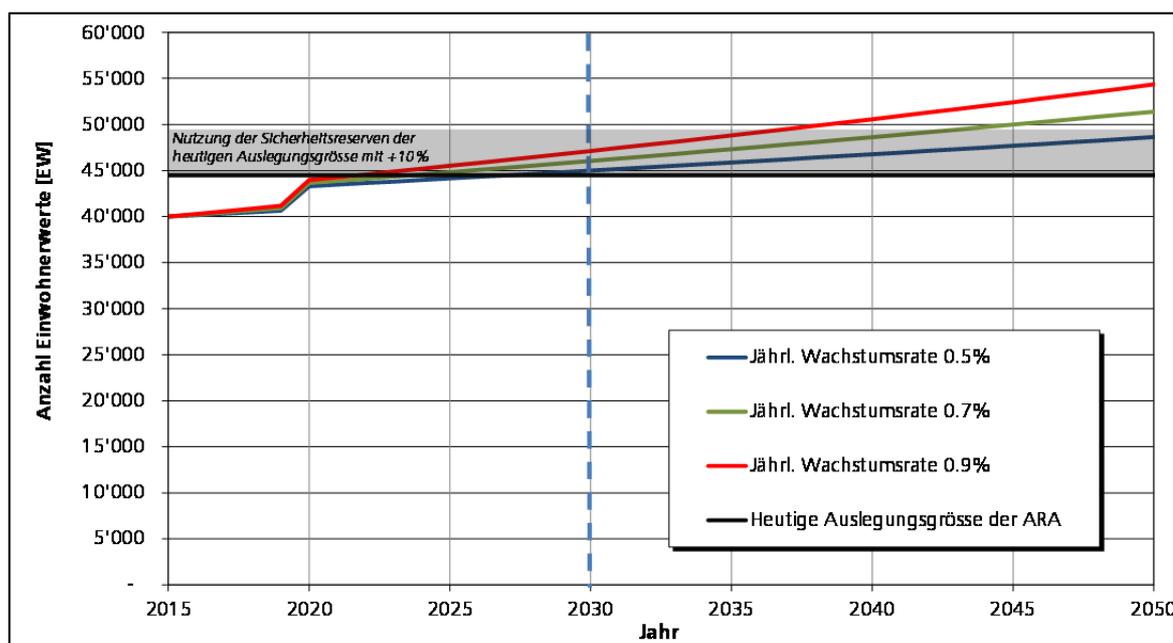


Abbildung 5: Prognostizierte Zunahme der Anlagenbelastung ARA Bülach (2015-2050)

Die Anlage kann bei gut arbeitender Biologie auch über das heutige Ausbauziel hinaus belastet werden. Die Bandbreite von max. plus 10% über das heutige Ausbauziel hinaus ist in Abbildung 5 grau dargestellt. Sogar beim Szenario „Starkes Wachstum“ wird diese Bandbreite erst deutlich nach 2030 überschritten. Aufgrund der obigen Wachstumsprognosen ist ein Ausbau erst nach 2030 nötig. Deshalb macht neben dem Ausbauziel 2050 auch eine Betrachtung des Zwischenziels 2030 Sinn. Für das Zwischenziel soll beurteilt werden, ob dies ohne Ausbau der Anlage noch bewältigt werden kann.

Gestützt auf kantonalen Prognosen ergeben sich für Zwischenziel und Ausbauziel folgende Bereiche der prognostizierten Anlagenbelastung:

- Zwischenziel: 2030 45'000 EW bis 47'100 EW
- Ausbauziel: 2050 48'600 EW bis 54'400 EW

5.2.2 Wachstumsprognosen gestützt auf Abschätzungen und Prognosen der Gemeinden

Gemäss Rückmeldungen der Anschlussgemeinden auf die Fragebögen wird mit keiner weiteren ausserordentlichen Belastung durch Gewerbe und Industrie gerechnet. Somit ist neben dem Entwicklungsgebiet „Bülach Nord“ das Bevölkerungswachstum massgebender Treiber.

Alle Anschlussgemeinden ausser Bülach prognostizierten aufgrund ihrer Baulandreserven und Prognosen zur inneren Verdichtung für 2025 Einwohnerzahlen, welche mit jährlichen Wachstumsraten zwischen 0.4 bis 0.8% erreicht werden [12]. Die auf den entsprechenden jährlichen Wachstumsraten beruhenden Bevölkerungsentwicklungen & -abschätzungen der Anschlussgemeinden an die ARA Furt, exkl. Bülach, sind in Abbildung 6 dargestellt:

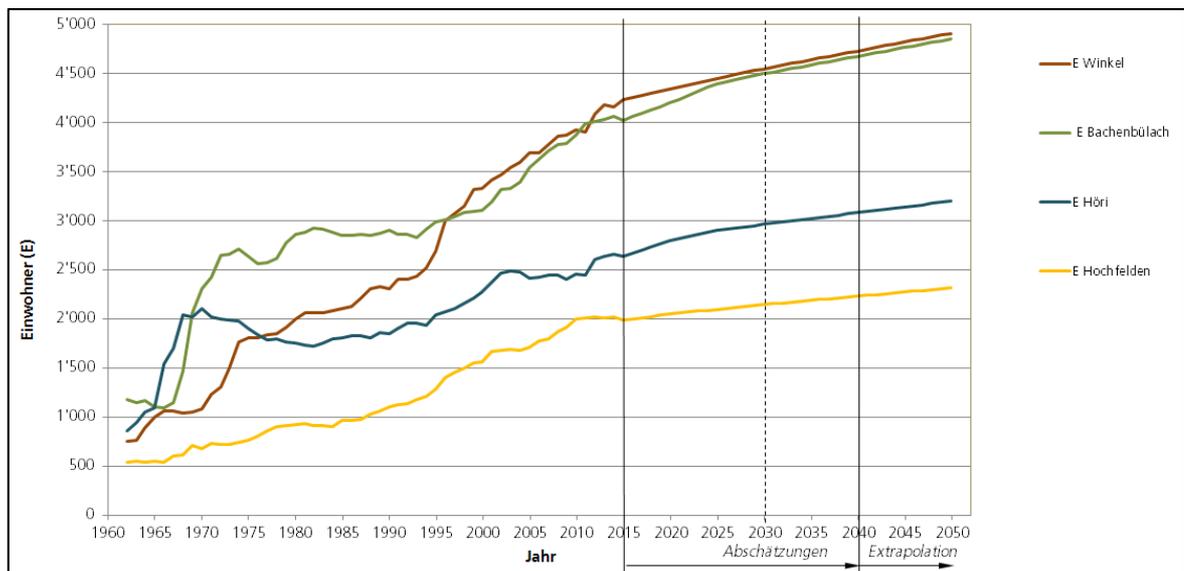


Abbildung 6: Bevölkerungsentwicklung & -abschätzung der Anschlussgemeinden an die ARA Furt, exkl. Bülach

Im Anschlussgebiet der ARA Furt ist die Stadt Bülach bezüglich angeschlossener Einwohner bestimmend. Gemäss einer Prognose bis 2040 der Stadt Bülach [13] entwickelt sich die Bevölkerung in Bülach wie folgt: Weiterhin starkes Bevölkerungswachstum bis ca. 2025, v.a. aufgrund grösserer Bauvorhaben. Dabei ist der Zuwachs durch das Entwicklungsgebiet „Bülach Nord“ in diesem Wachstum bereits enthalten. Ab 2025 geht die Wachstumsrate zurück und ist abhängig von allfälligen Umzonungen. Dies sind zusätzlich zum Entwicklungsgebiet „Bülach Nord“ erfolgende spätere Umzonungen und Aufzonungen.

In Abbildung 7 ist das Wachstum mit sowie ohne Berücksichtigung von zusätzlichen Umzonungen in Bülach dargestellt (blaue Kurven laut [13]). Nebst der Entwicklung & Prognose für Bülach zeigt Abbildung 7 auch Entwicklung & Prognose des Industrieanteils, der weiteren Anschlussgemeinden kumuliert (Summe aus Kurven von Abbildung 6) sowie Entwicklung & Prognose der Einwohner und EW für die gesamte ARA Furt:

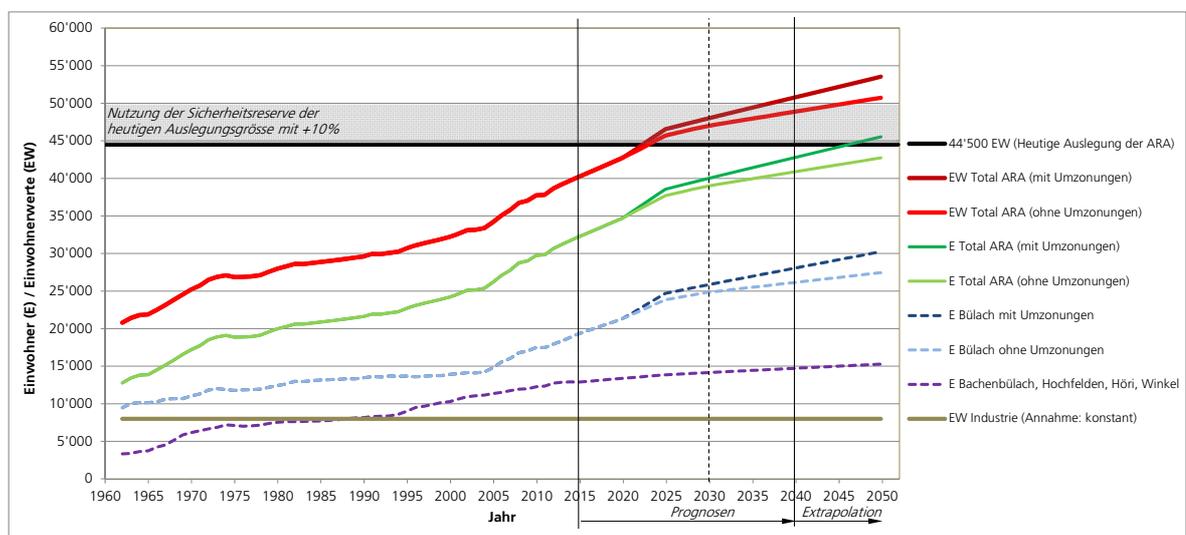


Abbildung 7: Entwicklung & Prognose der Anlagenbelastung ARA Furt (1962-2050)

Gestützt auf Abschätzungen und Prognosen der Anschlussgemeinden ergeben sich für Zwischenziel und Ausbauziel folgende Bereiche der prognostizierten Anlagenbelastung:

- **Zwischenziel:** 2030 47'000 EW bis 48'000 EW
- **Ausbauziel:** 2050 50'700 EW bis 53'300 EW

5.2.3 Fazit Ausbaugrösse

Der Vergleich zeigt, dass die Resultate obiger Wachstumsprognosen gut übereinstimmen und die Annahmen plausibel sind. Vor allem für das Zwischenziel stimmen die Resultate gut überein, aber auch für 2040 sind die Resultate gut abgestützt. Da die Kurven von 2040 bis 2050 nur auf einer linearen Extrapolation beruhen, dürften die Resultate für 2050 eher zu hoch und damit auf der sicheren Seite liegen. Zur Dimensionierungsgrundlage wird jeweils der höchste Wert verwendet, und zwar auf 1'000 EW gerundet. Als Ausbaugrösse werden somit für die Anlagenbelastung folgende zwei Werte definiert:

- **Zwischenziel:** 2030 48'000 EW
- **Ausbauziel:** 2050 54'000 EW

5.3 Hydraulische Belastung

Die hydraulische Belastung wird basierend auf der im Kapitel 5.2 für die im Zwischenziel 2030 und im Ausbauziel 2050 prognostizierten Belastungen ermittelt. Es ist nicht notwendig, die hydraulischen Kapazitäten der bestehenden Anlage (zum Beispiel durch Ausbau der Gerinne) zu erweitern. Diese Investitionen würden nicht zu einer verbesserten Reinigungsleistung beitragen.

Es kann langfristig damit gerechnet werden, dass sich die spezifischen Trinkwasserverbräuche weiter reduzieren. Der Trend über die letzten 10 Jahre für die Stadt Bülach ist deutlich, wie Abbildung 8 zeigt. Die absoluten Werte sind dabei etwas höher als die heute schweizweit mittleren spezifischen Trinkwasserverbräuche. Dies kommt daher, dass in den Zahlen für Bülach auch das Kleingewerbe erfasst ist.

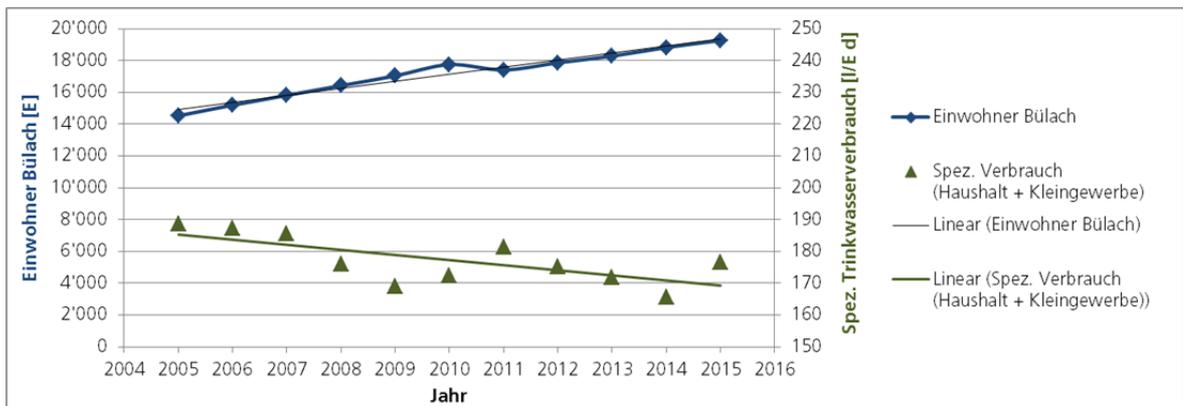


Abbildung 8: Entwicklung des spezifischen Trinkwasseranfalls Bülach (Haushalt und Kleingewerbe)

Fremdwasseranteil:

Mit den im Jahr 2011 neu erstellten Kanälen „Furtrain“ und „Hinter Volleberer“ wurden die Voraussetzungen für die Einführung eines Trennsystems in Bülach Nord geschaffen [10]. Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass der Fremdwasseranteil mittel- bis langfristig weiter reduziert wird. Diese Annahme wird durch den beobachteten Trend des abnehmenden Fremdwasseranteils über die letzten Jahre gestützt (siehe Abbildung 3).

Gemäss einer Ermittlung des Fremdwassers im Jahr 2013 [11] wurde für eine Weiterverwendung ein Fremdwasseranfall von rund 45 l/s empfohlen. Dies entsprach einem Fremdwasseranteil am Trockenwetteranfall von 43%. Während der letzten Jahre lag der abgeschätzte mittlere Fremdwasseranteil bei rund 30%. Das heisst, der effektiv anfallende Fremdwasseranfall hat gegenüber der Dimensionierung Reserven. Es ist darum zulässig, den Fremdwasseranteil für die Dimensionierung der hydraulischen Belastung im Zwischenziel und Ausbauziel zu senken. Dabei wird aber auf einen absoluten Fremdwasseranfall dimensioniert, welcher immer noch deutlich über dem zur Weiterverwendung empfohlenen Fremdwasseranfall von 45 l/s liegt.

Fazit:

Der prognostizierte Fremdwasseranteil wird für die Dimensionierung reduziert, aber liegt sowohl prozentual als auch absolut immer noch deutlich über dem ermittelten heutigen Fremdwasseranfall. Dies ermöglicht die Limitierung der hydraulischen Belastung auf die aktuelle Dimensionierung.

Aufgrund obiger Erwägungen wird vorgeschlagen, die hydraulische Bemessung bei der heutigen Dimensionierung von 370 l/s (ohne Rückläufe) zu belassen. Wie schon heute müssen zusätzlich die Rückläufe aus der Sandfiltration (Schlammwasser) berücksichtigt werden.



Tabelle 9 zeigt die hydraulische Belastung der ARA Furt in der heutigen Auslegung und die entsprechend obigen Annahmen ermittelte Belastung in Zwischenziel 2030 und Ausbauziel 2050:

Tabelle 9: Dimensionierung hydraulische Belastung ARA Furt

	Auslegung Heute	Zwischenziel 2030	Ausbauziel 2050	Einheit
Belastung				
Anzahl Einwohnerwerte	44'500	48'000	54'000	EW
Tägliche Schmutzwassermenge Q_d				
Spezifischer Trinkwasserverbrauch pro E	0.160	0.160	0.140	$m^3/E \cdot d$
Q_S	7'120	7'680	7'560	m^3/d
Q_F Fremdwasseranteil	43% 5'371	37% 4'530	37% 4'440	m^3/d
Q_d $Q_d = Q_S + Q_F$	12'491	12'210	12'000	m^3/d
Maximale Schmutzwassermenge bei Trockenwetter Q_t				
Spitzenwert im Tagesverlauf				
Q_S Stundenteiler	16	16	16	h/d
$Q_S = Q_S / \text{Stundenteiler}$	445	480	473	m^3/h
Q_F Stundenteiler	24	24	24	h/d
$Q_F = Q_F / \text{Stundenteiler}$	224	189	185	m^3/h
Q_t $Q_t = Q_S + Q_F$	62	52	51	l/s
	186	186	183	l/s
	670	670	659	m^3/h
Maximale Schmutzwassermenge bei Regenwetter Q_m - Massgebend für Bemessung				
Q_m $Q_m = 2Q_t$	370	370	370	l/s
	1'332	1'332	1'332	m^3/h
	31'968	31'968	31'968	m^3/d

5.3.1 Biologische Stufe

Die hydraulische Belastung der biologischen Stufe entspricht den oben begründeten aktuellen Dimensionierungswerten. Dazu kommen die internen Rückläufe aus dem Betrieb der Filtrationsstufe, welche ebenfalls behandelt werden müssen. Diese werden mit rund 5% der Abwassermenge angenommen. Die hydraulische Bemessung für das Ausbauziel basiert demnach auf den Abwassermengen nach Tabelle 10:

Tabelle 10: Massgebende Abwassermengen für die Dimensionierung der ARA Furt

Hydraulische Bemessung		Trockenwetter	TW-Spitzen	Max ohne RL	Max. mit RL
Parameter (Bemessung 2050)	Einheit	Q_{TW}	$Q_{TW,16}$	Q_{max}	Q_{dim}
Abwasser-Volumenstrom über Biologie	l/s	(139)	191	370	389
	m^3/h	501		1'332	1'400
	m^3/d	12'017		32'000	33'600

5.3.2 Stufe Elimination von Mikroverunreinigungen

Der VSA rät in einer Empfehlung vom 27.10.2015, die MV-Stufe grundsätzlich hydraulisch auf die Kapazität der biologischen Stufe auszulegen [26]. In begründeten Fällen kann von einer Vollstrombehandlung abgewichen werden. Sinnvoll aufgrund von Kosten/Nutzen-Überlegungen ist eine Auslegung auf 1.5 bis 2 Q_{TW} . Die bestehenden bzw. in Planung befindenden Anlagen zur Elimination von Mikroverunreinigungen im Kanton Zürich sind auf 2 x Q_{TW} ausgelegt.

Die ARA Furt leitet das gereinigte Abwasser mit einem schlechten Verdünnungsverhältnis in die Glatt ein. Bei Auslegung auf den maximalen Abwasseranfall bei Regenwetter wird die maximale Reinigungsleistung bezüglich Mikroverunreinigungen erzielt.

Basierend auf diesen Gründen wird in dieser Studie davon ausgegangen, dass die gesamte Abwassermenge über die ARA auch der Behandlung zur Elimination von Mikroverunreinigungen zugeführt wird. Hydraulisch wird die Stufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen also auf maximal 370 l/s ausgelegt. Dazu kommen wiederum die internen Rückläufe aus der Filtration. Die massgebenden Abwassermenge zur Auslegung der MV-Stufe für das Ausbauziel der ARA Furt entsprechen damit denjenigen der biologischen Stufe. In Tabelle 11 werden die massgebenden Abwassermengen für die Dimensionierung der MV-Stufe aufgelistet:

Tabelle 11: Massgebende Abwassermengen für die Dimensionierung der MV-Stufe der ARA Furt

Hydraulische Bemessung		Trockenwetter	TW-Spitzen	Max ohne RL	Max. mit RL
Parameter (Bemessung 2050)	Einheit	Q_{TW}	$Q_{TW,16}$	Q_{max}	$Q_{dim, MV}$
Abwasser-Volumenstrom über MV-Stufe	l/s	(139)	191	370	389
	m ³ /h	501		1'332	1'400
	m ³ /d	12'017		32'000	33'600

Mehrstrassigkeit und Redundanz

Eine MV-Stufe für eine Anlage der Grösse der ARA Furt muss nicht zwingend mehrstrassig ausgeführt werden. Die Auswirkungen eines geringeren Reinigungseffektes bezüglich organischer Spurenstoffe während einer zeitlich beschränkten Periode sind - aufgrund der chronischen Toxizität - nicht vergleichbar mit einem geringeren Reinigungseffekt bezüglich akut toxischer Stoffe. Deshalb sind die Anforderungen an die Ausfallsicherheit einer Stufe zur Elimination von organischen Spurenstoffen weniger hoch als für andere Anlagenteile. Es sollen aber verfahrenstechnische Redundanzen vorgesehen werden, soweit sie mit verhältnismässigem Aufwand realisierbar sind und einen signifikanten Nutzen haben. Ansonsten sind organisatorische Massnahmen vorzuziehen, um Ausfälle und Stillstandzeiten möglichst kurz zu halten (Lagerhaltung von Ersatzteilen, Serviceverträge, Planung von Revisionen etc.). [27]

Es wird in dieser Studie davon ausgegangen, dass die MV-Stufe baulich auf **eine Strasse** ausgelegt wird. Für die verfahrenstechnische Ausrüstung schlagen wir z.B. den Einsatz von zwei Ozonerzeugern vor. Somit können auch bei Ausfall bzw. Wartung eines Ozonerzeugers immer noch mindestens 1 x Q_{TW} + Rückläufe behandelt werden. Ein weiterer Vorteil ist, dass bei Teillastbetrieb dank Abschaltung einzelner Ozonerzeuger der unwirtschaftliche Betrieb in sehr tiefem Teillastbereich verhindert werden kann. Für Sauerstofftanks oder PAK-Silos ist aufgrund der geringen Ausfallwahrscheinlichkeit keine Redundanz erforderlich, aber Lagerhaltung von ausfallkritischen Komponenten empfohlen.



5.4 Schmutzstoffbelastung

Tabelle 12 zeigt die Dimensionierung der Schmutzstoffbelastung auf der ARA Furt. Die spezifischen Werte beruhen dabei auf einer Aufenthaltszeit im VKB von grösser als 1.5 h. Solange nur ein VKB betrieben wird, ist die verkürzte Aufenthaltszeit zu beachten (siehe Kapitel 4.3).

Tabelle 12: Dimensionierung Schmutzstoffbelastung ARA Furt

	Soll	Auslegung Heute	Zwischenziel 2030	Ausbauziel 2050	Einheit
Belastung					
Anzahl Einwohnerwerte		44'500	48'000	54'000	EW

Tägliche Schmutzstoff-Frachten Ablauf VKB, Aufenthaltszeit bei Q_{TW} 1.5-2.0 h

85%-Werte für die Bemessung der Anlage, inkl. Rückläufe

	Spez. Wert				
BSB ₅	40 g/EW·d	1780	1'920	2'160	kg/d
CSB _{Gesamt}	80 g/EW·d	3'560	3'840	4'320	kg/d
TS	25 g/EW·d	1'113	1'200	1'350	kg/d
TKN	11.5 g/EW·d	512	552	621	kg/d
NH ₄ -N	7.5 g/EW·d	334	360	405	kg/d
P _{Gesamt} (Mittelwert)	1.7 g/EW·d	75.7	81.6	91.8	kg/d

5.5 Dimensionen der bestehenden Verfahrensstufen

Tabelle 13 listet die Abmasse der bestehenden Becken auf.

Tabelle 13: Dimensionen und Nutzvolumen der bestehenden Becken (pro Becken)

Becken	Anzahl [-]	Nutzinhalt [m ³]	Oberfläche [m ²]	Länge [m]	Breite [m]	Tiefe [m]
Sand- und Fettfang (SF / FF)	2	74 / 32	23 / 19	13.5	1.7 / 1.4	3.2 / 1.7
Vorklärbecken	2	705	233	~31	7.5	~3
Biologiebecken total	4	1479				~5.5
<i>Belebungsbecken</i>	4	1'274.4		32.8	7.1	
<i>Nachbelebungsbecken</i>	2	408.7		5.8	14.6	
Gesamtvolumen Biologie	1	5'915				
Nachklärbecken	2	2'400	600	ø28		4.0
Sandfilterzellen	6	33.75	22.5	7.5	3.0	1.5
Faulraum	1	1'700		ø12		16.8
Nacheindicker	1	2'350		ø15		16.25
Gasometer	1	2'000		ø17.9		13.4
RL Sedimentationsbecken	1	200	50	7.4	6.8	
RL-SBR-Reaktor	1	200	50	7.4	6.8	
RL-Ablaufpuffer	1	100	30	7.4	4	

6 Beschrieb und Beurteilung bestehender Verfahrensstufen

In diesem Kapitel werden die bestehenden Verfahrensstufen und die relevanten Prozesse sowie Randbedingungen beschrieben und bewertet. Weiter werden verschiedene Alternativen aufgezeigt und beurteilt. Tabelle 14 gibt einen Überblick über das Alter der bestehenden Verfahrensstufen und verweist auf bestehende bzw. geplante Zustandsuntersuchungen sowie Projektberichte.

Tabelle 14: Zustand der betrachteten Bauwerke und der elektromechanischen Ausrüstung

Bauwerk, Ausrüstung	IBS	Alter	Bemerkungen
Rechenanlage	1998	18	2017: Sanierung geplant
Sandfang	1998	18	2015: Zustandsbeurteilung [14], 2017: Sanierung geplant
Vorklärbecken	1998	18	2012: Zustandsbeurteilung erfolgt [15]
Belüftungsbecken	1998	18	Betonuntersuchungen geplant
Nachklärbecken	1998	18	2015: Zustandsbeurteilung erfolgt [16]
Filtration	2000	16	Betonuntersuchungen geplant; anzupassen an MV-Stufe
ÜSS-Voreindickung	2014	2	Inbetriebnahme März 2014 [8], [19]
Faulraum und NED	1997	19	2009: Zustandsbeurteilung erfolgt [17]
Schlammwässerung	2013	3	2012: Abbruch der Schlammrocknungsanlage [20]
Rücklaufbehandlung	2000	16	2016: Zustandsuntersuchungen erfolgt [18]
BHKW	1996	20	2015: Revision erfolgt
EMSRL / AS&PLS	96/07	20/9	2016: Ersatz der Heizungssteuerung geplant

Tabelle 15 listet die Redundanzen bei Ausfall (Störung, Sanierung) eines Anlagenteils auf. Redundanz bedeutet das mehrfache Vorhandensein funktional gleicher Anlagenteile, um bei einer Störung den Betrieb gewährleisten zu können. Die Redundanz ist ausgedrückt in Anzahl Q_{TW} , die bei Ausfall eines Anlagenteils über die Anlage geleitet werden können.

Tabelle 15: Redundanz der Anlagenteile bei Ausfall eines Anlagenteils

Anlagenteil	Anzahl Einheiten	Redundanz
Rechenanlage und Sandfang	2	2.0 Q_{TW}
Vorklärung (heute nur 1 VKB in Betrieb)	2	2.0 Q_{TW}
Biologie und Nachklärung	2	1.5 Q_{TW}
Sandfiltration	6	1.6 Q_{TW}

Die Schlammbehandlung muss nicht redundant sein, da die Redundanz durch die Kapazität auf anderen Anlagen in der Region sichergestellt wird. Wichtige und ausfallkritische Aggregate sind auch bei der Schlammstrasse redundant ausgelegt.

6.1 Mechanische Vorbehandlung

6.1.1 Hydraulische Kapazität des Zulaufbereichs

Die hydraulische Kapazität (Q_{kap}) beträgt für den Zulaufbereich zwischen dem Regenbecken und dem Vorklärbecken mehr als $1 \text{ m}^3/\text{s}$. Ab einem Zufluss grösser als $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ist mit einem Rückstau in den Sand- und Fettfang, verursacht vom Zulaufkanal zum Vorklärbecken, zu rechnen. Eine Erhöhung der Zuflussmenge bedingt eine Anpassung des Zulaufschlebers und eine Überprüfung der Funktionsweise des Regenbeckens.

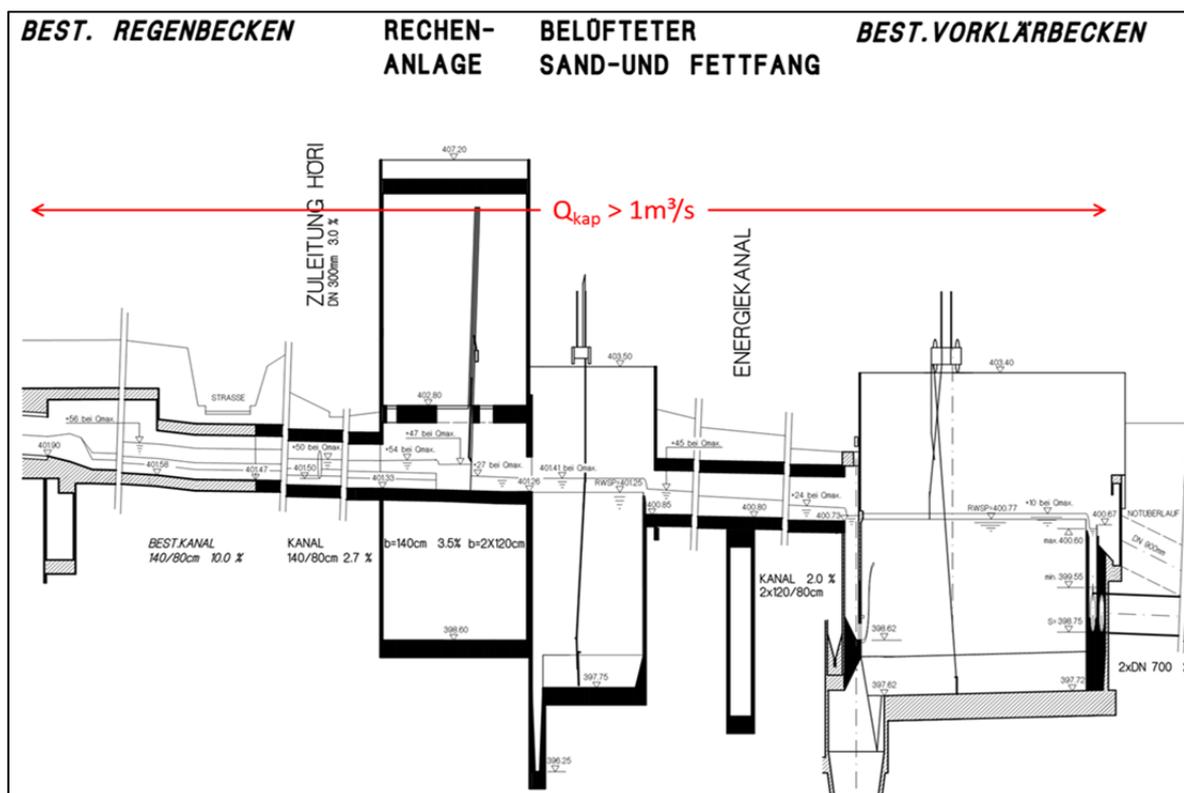


Abbildung 9: Hydraulische Kapazität des Zulaufbereichs

6.1.2 Rechen

Die Rechenanlage besteht aus zwei automatischen Feinrechen mit einem Stababstand von 10 mm, mit je einer Harke. Die Gerinnebreite beträgt je 1.20 m.

Unmittelbar vor dem Rechen wird der Zulaufkanal auf zwei Strassen aufgeteilt. Die Rechenanlage besteht aus zwei Rechen, einem gemeinsamen Förderband für das Rechengut, der Rechengutwäsche mit integrierter Presse und dem Container für das gepresste Rechengut. Die beiden Rechen arbeiten simultan über eine Niveaudifferenzsteuerung.

Beurteilung:

Die Rechenanlage wird auf den maximalen Zufluss bei Regenwetter dimensioniert. Da die hydraulische Belastung nicht erhöht wird, ist auch die hydraulische Kapazität weiterhin ausreichend. Auch für einen feineren Rechen (z.B. 6 mm Stababstand) besteht genügend hydraulische Reservekapazität. Die grosse Reserve in der hydraulischen Kapazität erlaubt es, die gesamte Abwassermenge über nur einen Rechen zu leiten.

Der Rechen ist im unteren Teil abgenutzt.

Fazit:

Eine Sanierung des Rechens ist für 2017 geplant. Im Rahmen der geplanten Sanierung soll (auch zur Entlastung der Strainpressen) der Ersatz durch einen feineren Rechen geprüft werden (z.B. 6 mm Stababstand). Weitere Massnahmen zur Kapazitätssteigerung sind nicht erforderlich.

6.1.3 Sand- und Fettfang

Es handelt sich um zwei belüftete Sandfänge mit seitlicher Fettabscheidung in einer hydraulisch ruhigen Zone. Die Belüftung erzeugt eine Walzenströmung in Längsrichtung, um die Absetzung der organischen Stoffe zu verhindern.

Beurteilung:

Die massgebende Grösse für die Dimensionierung der Sandfänge ist die Aufenthaltszeit bei Regenwetter. Diese sollte mindestens 5 min betragen und beträgt bei heutiger Auslegung (389 l/s inkl. Rückläufe) 6.7 min. Da die hydraulische Belastung nicht erhöht wird, ist auch die hydraulische Kapazität weiterhin ausreichend. Bei bestehenden Nutzvolumen der Sandfänge von 2 x 74 m³ ist die Kapazität ausreichend bis 492 l/s. Diese Verfahrensstufe wäre auch genügend gross ausgelegt, um weitere Kapazitätssteigerungen aufzunehmen. Es wird kein zusätzlicher Sand-Fettfang benötigt. Auch der Umbau zu einem reinen Sandfang ist nicht erforderlich, Optimierungen sind aber möglich.

Die einzig kritische Grösse ist die Oberflächenbeschickung des Sandfangs, welche rund doppelt so hoch ist wie der Sollwert. Da trotz hoher Oberflächenbeschickung keine Betriebsprobleme auftraten, sind keine Massnahmen notwendig.

Der Sand- und Fettfang befindet sich entsprechend dem Alter in einem relativ guten Zustand, weist jedoch lokal kleinere Schäden bzw. einen Oberflächenangriff auf. Die elektromechanische Ausrüstung ist revisionsbedürftig.

Fazit:

Eine Sanierung des Sandfangs ist für 2017 geplant. Es sind keine Massnahmen zur Kapazitätssteigerung erforderlich.

6.1.4 Vorklärung

Die Vorklärung ist mit einer Aufenthaltszeit bei Q_{TW} von rund 2 h für die momentane Belastung eher zu gross, hat also genügend Kapazitätsreserven. Es ist heute nur ein VKB in Betrieb, dadurch reduziert sich die Aufenthaltszeit bei Q_{TW} für die heutige Auslegung auf rund 1 h.

Seit 2012 wird nur noch ein Vorklärbecken betrieben, da die vorher zu lange Aufenthaltszeit zur Versauerung des Frischschlammes geführt hatte, wodurch Betriebsprobleme verursacht wurden. Durch die verkürzte Aufenthaltszeit in der Vorklärung werden seither mehr partikuläre Stoffe in die Biologie geführt. Die organische Fracht im Ablauf der Vorklärung erhöhte sich.

Tabelle 16: Dimensionierung Vorklärung (Rückläufe aus Sandfiltration sind mit +5% berücksichtigt)

	Soll	Auslegung			Auslegung			Einheit
		Heute	Zwischenziel 2030	Ausbauziel 2050	Heute	Zwischenziel 2030	Ausbauziel 2050	
Anzahl Strassen in Betrieb		1	1	1	2	2	2	
Belastung								
Anzahl Einwohnerwerte		44'500	48'000	54'000	44'500	48'000	54'000	EW
Hydraulische Belastung								
Q_t		195	195	192	195	195	192	l/s
		703	703	692	703	703	692	m ³ /h
Q_m		389	389	389	389	389	389	l/s
		1399	1399	1399	1399	1399	1399	m ³ /h
Beckengeometrie								
Länge		31.1	31.1	31.1	31.1	31.1	31.1	m
Breite		7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	m
Tiefe	2-3	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	m
Querschnittsfläche		23	23	23	23	23	23	m ²
Oberfläche		233	233	233	233	233	233	m ²
Volumen		705	705	705	705	705	705	m ³
Anzahl Strassen		1	1	1	2	2	2	-
Querschnittsfläche Total		23	23	23	45	45	45	m ²
Oberfläche Total		233	233	233	466	466	466	m ²
Nutzvolumen Total		705	705	705	1410	1410	1410	m ³
Geometrische Verhältnisse								
L/B	5-10:1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	-
L/T	10-30:1	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	-
Oberflächenbeschickung								
bei Q_t	2.5-4	3.0	3.0	3.0	1.5	1.5	1.5	m/h
bei Q_m		6.0	6.0	6.0	3.0	3.0	3.0	m/h
Aufenthaltszeit								
bei Q_t	40-60	60.2	60.2	61.2	120.3	120.3	122.3	min
bei Q_m	20-30	30.2	30.2	30.2	60.5	60.5	60.5	min
Mittlere horizontale Geschwindigkeit								
bei Q_t	1.0	0.9	0.9	0.8	0.4	0.4	0.4	cm/s
bei Q_m		1.7	1.7	1.7	0.9	0.9	0.9	cm/s

Beurteilung:

Allgemein befinden sich die VKB in einem guten Zustand. Massgebende Grösse für die Auslegung der VKB ist die Aufenthaltszeit bei Trockenwetter. Diese sollte ≥ 40 min sein, bzw. mindestens 60 min betragen, wenn der ÜSS über die Vorklärung geführt wird. Da immer noch ein Teil des ÜSS über die Vorklärung geführt wird ist die Trockenwetter-Aufenthaltszeit bei Betrieb von einer Strasse mit 60 min gut. Bei Inbetriebnahme der zweiten Strasse würde sich die Aufenthaltszeit auf 120 min verdoppeln. Vor Belebtschlammverfahren ist eine starke Sedimentation nicht zwingend erforderlich, da die schweren partikulären Stoffe die Absetzung des Belebtschlammes im NKB unterstützen.

Fazit:

An den Vorklärbecken sind abgesehen von einigen kleinen Sanierungsmassnahmen keine Massnahmen vonnöten. Es bestehen genügend Leistungsreserven. Bei Erreichen der heutigen Dimensionierungsbelastung bzw. wenn die organische Belastung für die biologische Stufe zu hoch wird, kann das zweite VKB wieder in Betrieb genommen werden. Solange die Reinigungsleistung bei Betrieb nur eines Vorklärbeckens problemlos erreicht wird, ist dies nicht notwendig.

6.2 Biologie und Nachklärung

Die biologische Stufe der ARA Furt lässt sich ganzjährig im AVI-Verfahren betreiben, die Prozesse der Nitrifikation und Denitrifikation bleiben stabil. Die biologische Stufe erreicht heute hervorragende Ablaufwerte. Saisonal bildet sich Blähschlamm, welcher bei Regenwetter vereinzelt zu Schlammabtrieb aus der Nachklärung führt.

Die ARA Furt hat einen mässigen Schlammvolumenindex (SVI), welcher einem Jahresgang, respektive der Abwassertemperatur folgt. Er steigt im Winter an, mit einem Maximum im Frühjahr und sinkt im Sommer wieder ab. 2015 wurden ein Maximum von 300 ml/g im März und ein Minimum von 83 ml/g im Juli gemessen.

Die Biologie wird mit feinblasiger Tiefenbelüftung mit diskontinuierlicher Arbeitsweise betrieben. 2016 wird der Betrieb der Belüftung optimiert. Der Sollwert für die Sauerstoffkonzentration in der Belebung wird von 2.0 auf 1.5 mg/l reduziert und sanfter angefahren.

Der Phosphor wird mittels chemischer Simultanfällung durch Zugabe von Eisen(III)-Chloridsulfat-Lösung (Sedifos®) eliminiert. Das Fällmittel wird vor der Nachbelüftung zudosiert.

Die Nachklärung erfolgt in runden, querdurchströmten Absetzbecken. Die Schlammentnahme erfolgt mittels Schildräumsystems.

Beurteilung:

Kapazität Biologie und Nachklärung: Beim Belebungsverfahren bilden Belebungs- und Nachklärbecken eine verfahrenstechnische Einheit. Das Absetzverhalten, gekennzeichnet durch den Schlammvolumenindex, beeinflusst in Verbindung mit dem TS-Gehalt die Beckengrösse massgeblich.

Heute wird bei einem guten Schlammindex die Nachklärung mit einem Schlammindex von 100 l/kg dimensioniert und bei einem schlechten Schlammindex mit 120 bis 150 l/kg. Gemäss Erfahrungen kann ein hoher SVI toleriert werden, solange die GUS-Ablaufwerte nach der Nachklärung < 15 mg/l sind. 2015 waren die GUS-Werte im Ablauf der Nachklärung trotz des hohen SVI abgesehen von zwei Ausreissern immer unterhalb von 5 mg/l. Sie lagen im Mittel bei 3.4 mg/l.

Die Kapazität der Belüftungsbecken ist davon abhängig, wieviel Schlamm bei welcher Wassermenge und welchem Schlammindex mit dem Nachklärbecken im System gehalten werden kann. Die Kapazität der bestehenden Belüftungsbecken ist für die verschiedenen Szenarien und Schlammindices in Tabelle 17 bis Tabelle 19 dargestellt.

Es steht ein Biologievolumen von 5'915 m³ zur Verfügung. Bei der hydraulischen Dimensionierungsbelastung von 389 l/s (inkl. Rückläufe) und einem SVI von 120 l/kg, können damit 3.0 g/l Belebtschlamm zurückgehalten werden. Die Kapazität ist für die heutige Dimensionierungsbelastung ausreichend. Bis zum Erreichen des heutigen Auslegungsziels ist das zur Verfügung stehende Beckenvolumen bis zu einem SVI von 120 l/kg ausreichend.

Im Zwischenziel 2030 können für die hydraulische Auslegung von 389 l/s (inkl. Rückläufe) mit den bestehenden Beckenvolumen 3.2 g/l Belebtschlamm zurückgehalten werden, was einem SVI von gut 110 l/kg entspricht. Falls ein SVI von 100 l/kg erreicht werden kann, können 3.6 g/l Belebtschlamm zurückgehalten werden. Die Kapazität ist bis zum Zwischenziel 2030 ausreichend und sogar für das Ausbauziel 2050 noch knapp ausreichend.

Das heisst, durch leistungssteigernde Massnahmen kann innerhalb der bestehenden Biologie das Wachstum mindestens bis zum Zwischenziel 2030 abgedeckt werden. Die vorhandenen Beckenvolumen und die Oberflächen der Nachklärbecken zur Absetzung reichen bis zum Zwischenziel 2030 aus, wenn Massnahmen zur Optimierung des SVI ergriffen werden.

Tabelle 17: Beurteilung der Kapazität der bestehenden Biologie und Nachklärung (44'500 EW)

Belastung	Einheit	Auslegung heute		
Belastung	[EW]	44'500		
Q _{max} (inkl. 5% Rückläufe aus Filtration)	[l/s]	389		
Schlammvolumenindex (SVI)	[l/kg]	100	120	150
Maximaler TS-Gehalt BB-NKB	[g/l]	3.6	3.0	2.4
Schlammproduktion	[kg _{TS} /d]	1'745		
Vorhandenes Beckenvolumen Biologie	[m ³]	5'915		
Erforderliches Beckenvolumen Biologie	[m ³]	4'846	5'815	7'269

Beurteilung: grün – ausreichend, rot – nicht ausreichend

Tabelle 18: Beurteilung der Kapazität der bestehenden Biologie und Nachklärung (48'000 EW)

Belastung	Einheit	Zwischenziel 2030		
Belastung	[EW]	48'000		
Q _{max} (inkl. 5% Rückläufe aus Filtration)	[l/s]	389		
Schlammvolumenindex (SVI)	[l/kg]	100	120	150
Maximaler TS-Gehalt BB-NKB	[g/l]	3.6	3.0	2.4
Schlammproduktion	[kg _{TS} /d]	1'886		
Vorhandenes Beckenvolumen Biologie	[m ³]	5'915		
Erforderliches Beckenvolumen Biologie	[m ³]	5'239	6'287	7'858

Beurteilung: grün – ausreichend, rot – nicht ausreichend

Tabelle 19: Beurteilung der Kapazität der bestehenden Biologie und Nachklärung (54'000 EW)

Belastung	Einheit	Ausbauziel 2050		
Belastung	[EW]	54'000		
Q _{max} (inkl. 5% Rückläufe aus Filtration)	[l/s]	389		
Schlammvolumenindex (SVI)	[l/kg]	100	120	150
Maximaler TS-Gehalt BB-NKB	[g/l]	3.6	3.0	2.4
Schlammproduktion	[kg _{TS} /d]	2'132		
Vorhandenes Beckenvolumen Biologie	[m ³]	5'915		
Erforderliches Beckenvolumen Biologie	[m ³]	5'921	7'106	8'882

Beurteilung: grün – ausreichend, rot – nicht ausreichend

Kapazität Stickstoffelimination: Die ARA Furt muss ganzjährig und vollständig nitrifizieren. Zusätzlich ist ab 2019 eine Stickstoffelimination von 60% gefordert. Obwohl es bisher keine Anforderung an die Stickstoffelimination gab, lag diese 2015 bei 84%. Die geforderte Stickstoffelimination muss nicht bei der Dimensionierungsbelastung gewährleistet sein, sondern im Jahresmittel eingehalten werden. Deshalb wird für die Beurteilung mit der mittleren Frachtbelastung gerechnet. Die Kapazität zur Stickstoffelimination ist abhängig von der Abwassertemperatur je nach Jahreszeit unterschiedlich. Deshalb wurden zur Berechnung der Kapazität zur Stickstoffelimination verschiedene Jahreszeiten berücksichtigt.

In Abbildung 10 ist der Jahresgang der Wassertemperatur im Zulauf der ARA Bülach dargestellt. Da der Jahresgang witterungsabhängig ist, wurde dieser gemittelt über 5 Jahre (2010 bis 2014) ausgewertet. Daraus ergeben sich drei Szenarien für die Berechnung:

- Winter (Januar bis März): 3 Monate, Temperatur ca. 12° C
- Herbst / Frühling (April bis Juni und Oktober bis Dezember): 6 Monate, Temperatur ca. 16° C
- Sommer (Juli bis September): 3 Monate, Temperatur ca. 20° C

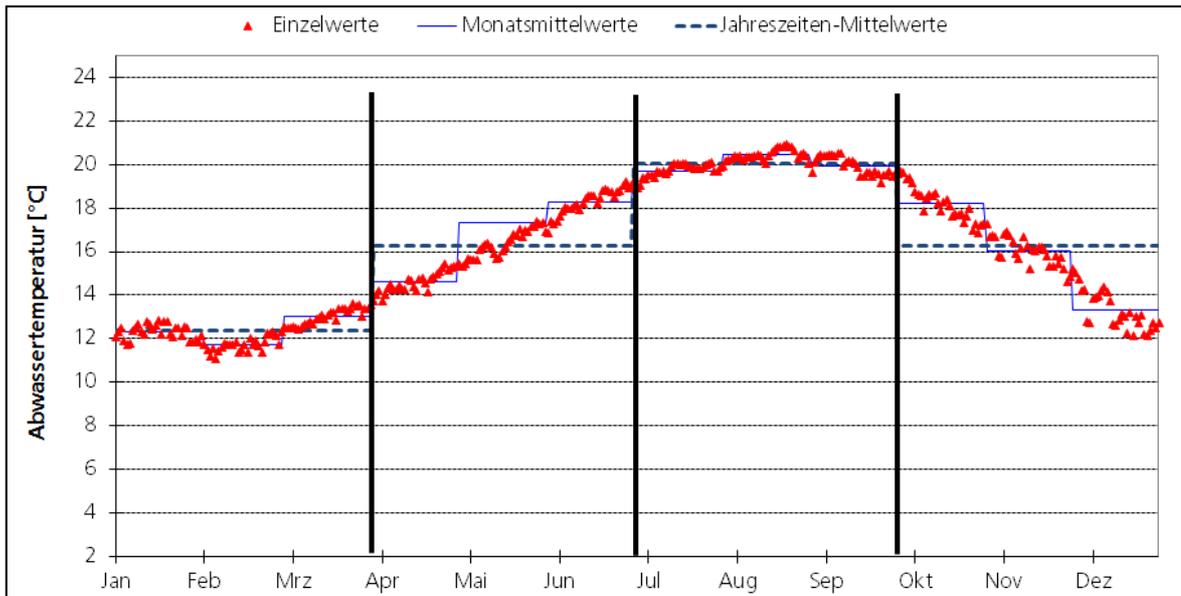


Abbildung 10: Mittlere Abwassertemperatur im Zulauf der ARA Bülach, gemittelt über die Jahre 2010 bis 2014

Die Resultate der abgeschätzten Stickstoffwerte im Ablauf im Jahresmittel sind in Tabelle 20 dargestellt:

Tabelle 20: Abschätzung der Stickstoffkonzentration im Jahresmittel aus Mittelwerten

Stickstoff im Ablauf aus Mittelwerten						Auslegung	Zwischenziel	Ausbauziel	Einheit
Szenario	Jahreszeit	Gewichtung	T _{Abwasser} °C	SA aerob d	SA total d	Heute 44'500	2030 48'000	2050 54'000	EW
Dimensionierung						26.7	28.3	32.2	g/m ³
Zulässig für 60% Elimination im im Jahresmittel (Richtwert 15 mg/l)						12.0	12.7	14.6	g/m ³
<i>Spezifischer Wert zulässig für 60% Elimination im Jahresmittel</i>						3.40	3.40	3.40	g/(EW*d)
1	Jan bis März	0.25	12	6.2	10	16.6	17.7	19.8	g/m ³
2	April-Juni, Okt -Dez	0.5	16	4.2	10	11.2	11.8	13.2	g/m ³
3	Juli bis Aug.	0.25	20	2.8	10	7.5	7.9	9.0	g/m ³
Ø Jahresmittel		1	16	4.35	10	11.7	12.3	13.8	g/m³
<i>Spezifischer Wert im Jahresmittel</i>						3.31	3.27	3.23	g/(EW*d)

Bezüglich Stickstoffelimination kann die bestehende im A/I-Verfahren betriebene Biologie die geforderte Reinigungsleistung bis zum Ausbauziel gewährleisten. Die Stickstoffwerte im Ablauf der ARA Furt bleiben im Jahresmittel sowohl unter den zulässigen Ablaufwerten für eine 60%-Elimination als auch unterhalb des Richtwerts von 15 mg/l. Die empfohlene Erneuerung der Rücklaufbehandlung (Vollstrombehandlung) ist dabei noch nicht berücksichtigt (siehe Kapitel 6.5). Dies bringt eine zusätzliche Entlastung.

Fazit:

Der Ausbau der Biologie drängt sich gemäss Wachstumsszenarien, abgesehen von entlastenden Massnahmen und Zuschalten des zweiten VKB, nicht akut auf. Mit leistungssteigernden Massnahmen der bestehenden Biologie können mindestens bis zum Zwischenziel 2030 auch mit der bestehenden Biologie die Ablaufwerte eingehalten werden. Dabei ist die zusätzlich mögliche Nutzung der Sicherheitsreserven in der Dimensionierung noch gar nicht berücksichtigt. Folgende Massnahmen kommen zur Optimierung bzw. zum Ausschöpfen der vollen Kapazität der bestehenden Biologie in Frage:

- Vorfällung
- Einsatz von Utopur® und Flockungshilfsmitteln
- Erneuerung der Rücklaufbehandlung (Vollstrombehandlung)

Beweggrund für die **Vorfällung** ist nicht die Phosphatfällung selbst, sondern die Entlastung der biologischen Stufe. Wird die Fällung vor der biologischen Stufe vorgenommen, kann das Vorklärbecken zum Absetzen verwendet werden, dieses hat genügend Kapazität. Die Vorfällung erhöht die Menge an Primärschlamm, was sich positiv auf den Gasertrag in der Faulung auswirkt. Zudem wird für die Belegung weniger Sauerstoff benötigt. Bei richtigem Betrieb erhöht sich der Bedarf an Fällmitteln nicht. Falls eine hohe Entlastung der Biologie gewünscht ist kann eine Fällung/Flockung Sinn machen, was den Einsatz von Flockungshilfsmitteln in Form 3- und höherwertiger Metallsalze rechtfertigt. Gegenüber einem frühzeitigen Ausbau von Beckenvolumen sind aber erhöhte Betriebskosten infolge Mehrverbrauchs von zusätzlichen Betriebsmitteln immer noch wirtschaftlicher.

Mit dem Einsatz von **Utopur®** lässt sich der bei *AI*-Verfahren generell eher schlechte Schlammvolumenindex verringern. Utopur® ist ein Gemisch von Aluminiumsulfat, Eisensulfatchlorid und speziellen Additiven, welches sich sehr gut zur akuten und präventiven Behandlung von Bläh- und Schwimmschlamm eignet. Es kann zur Verbesserung der Absetzeigenschaften des Belebtschlammes in der Nachklärung und des Schlammvolumenindex verwendet werden. Zusätzlich können Flockungshilfsmittel eingesetzt werden.

Mit der **Erneuerung der Rücklaufbehandlung** (Vollstrombehandlung) kann die Biologie vor allem bezüglich Stickstoffs weiter entlastet werden (siehe Kapitel 6.5). Es wurde auch geprüft, ob für die Rücklaufbehandlung Rohabwasser als Kohlenstoffquelle in Frage käme. Nebst den Einsparungen an Methanol könnte dadurch die Biologie weiter entlastet werden. Eine Überprüfung anhand der Betriebsdaten zeigt aber, dass dies für die ARA Furt nicht in Frage kommt (siehe Kapitel 6.5).

Es wird empfohlen, vor Erreichen des Zwischenziels (zwischen 2025 und 2030) erneut zu prüfen ob zusätzliches Beckenvolumen zur Verfügung gestellt werden muss oder ein Verfahrenswechsel in Frage kommt. Dies soll basierend auf dem bis dahin real erfolgten Wachstum sowie aktualisierten Wachstumsprognosen erfolgen. Eine mögliche Variante wird dann sein, das bestehende Belebtschlammverfahren im *AI*-Betrieb beizubehalten und mit einer zusätzlichen Strasse resp. einem dritten Beckenblock zu ergänzen. Es kämen also zwei Belebtschlammbecken und/oder ein Nachklärbecken hinzu. Bei einem Ausbau des bestehenden Verfahrens mit einer dritten, identischen Strasse würde sich die Kapazität auf 67'000 EW erhöhen, was weit über dem Bedarf für 2030 liegt. Es wird nicht als zielführend erachtet, bereits zum jetzigen Zeitpunkt basierend auf einem Szenario mit relativ hohem Wachstum auszubauen. Falls ein Szenario mit eher geringem Wachstum eintritt, wird die Anlagenbelastung im Jahr 2030 gerade mal leicht über dem heutigen Ausbauziel liegen.

Sanierung: Gemäss Zustandsbeurteilung von 2015 sind die Nachklärbecken in einem mässigen Zustand. Eine Sanierung inklusive vorgängiger Untersuchung mit Bohrkernentnahme ist ungefähr im Jahr 2020 empfohlen. Für die Belüftungsbecken sind Betonuntersuchungen geplant, deren Sanierung soll entsprechend den daraus resultierenden Empfehlungen geplant werden. Diese Sanierungsmassnahmen werden im Rahmen des ordentlichen Werterhalts umgesetzt.

6.3 Filtration

Bei der Filteranlage handelt es sich um eine Zweischicht-Raumfiltration mit Fällung/Flockung (Flockungsfiltration).

Das Fällmittel wird direkt dem Filter-Verteilkanal zugegeben. Dieser Verteilkanal ist mit einem Rührwerk ausgestattet. Am Boden des Kanals ist ein gelochtes Rohr zur Belüftung verlegt. Damit wird verhindert, dass sich Feststoffe aus dem mit Fällmittel behandelten Abwasser absetzen.

Die Filtermaterialien sind Quarzsand und Anthrazit. Je nach Belastung sind 1 bis max. 6 Filterelemente in Betrieb (6 x 22.5 m²; GesamtfILTERfläche: 135 m²). Nach der Filtration fließt das Wasser ins Reinwasserbecken. Von dort wird es in die Glatt abgeleitet, bzw. zum Teil als Spülwasser für Filterrückspülungen verwendet.

Das Schlammwasser wird in einem Schlammwasserbecken (225 m³) gespeichert und von dort in den Zulauf der ARA (vor Rechen/Sandfang) zurückgepumpt. Diese Rückläufe müssen zur Dimensionierung der Abwasserstrasse berücksichtigt werden.

Beurteilung:

Die massgebende Grösse für die Dimensionierung der Sandfiltration ist die Filtergeschwindigkeit bei Q_{max} . Diese sollte kleiner 15 m/h sein, und zwar bei Betrieb von 5 der 6 Filterzellen (weil 1 Filterzelle im Spülbetrieb sein kann). Da vorgeschlagen wird, die hydraulische Bemessung bei der heutigen Dimensionierung zu belassen, verändert sich auch die benötigte Filterfläche nicht.

Tabelle 21: Dimensionierung Sandfiltration (Rückläufe sind mit +5% berücksichtigt)

Belastung	Soll	Auslegung	Zwischenziel	Ausbauziel	Einheit
		Heute	2030	2050	
Anzahl Einwohnerwerte		44'500	48'000	54'000	EW
Parameter					
Massgebende Wassermenge Q_m		389	389	389	l/s
		1399	1399	1399	m ³ /h
Maximale Filtergeschwindigkeit bei Q_m	15.0	12.4	12.4	12.4	m/h
Berechnungen					
Berechnete Filterfläche		113	113	113	m ²
Anzahl Kompartimente		6	6	6	-
Erforderliche Filterfläche		135	135	135	m ²
Filterfläche je Kompartiment		22.5	22.5	22.5	m ²

Die Filtration soll in Zukunft in Zusammenhang mit der neuen Stufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen neue Aufgaben übernehmen. Diese sind abhängig vom gewählten Verfahren zur Elimination von Mikroverunreinigungen. Für Verfahren, welche die bestehende Sandfiltration umnutzen würden, wird berechnet, ob die bestehenden Filterflächen, Filtervolumina sowie Flockungsreaktoren zur Umnutzung ausreichend dimensioniert wären (siehe Kapitel 7.4).

Fazit: Die Sandfiltration bietet genügend Reserven und kann an sich zurzeit belassen werden. Je nach gewählter Variante für die MV-Stufe sind mehr oder weniger umfangreiche Anpassungen notwendig. Diese sind in der Variantenstudie für die Stufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen im Kapitel 7 beschrieben und werden dort bewertet. Es wird empfohlen, die Sandfiltration im Rahmen des Ausbaus der ARA mit einer MV-Stufe zu sanieren bzw. die Funktion anzupassen.

6.4 Schlammbehandlung

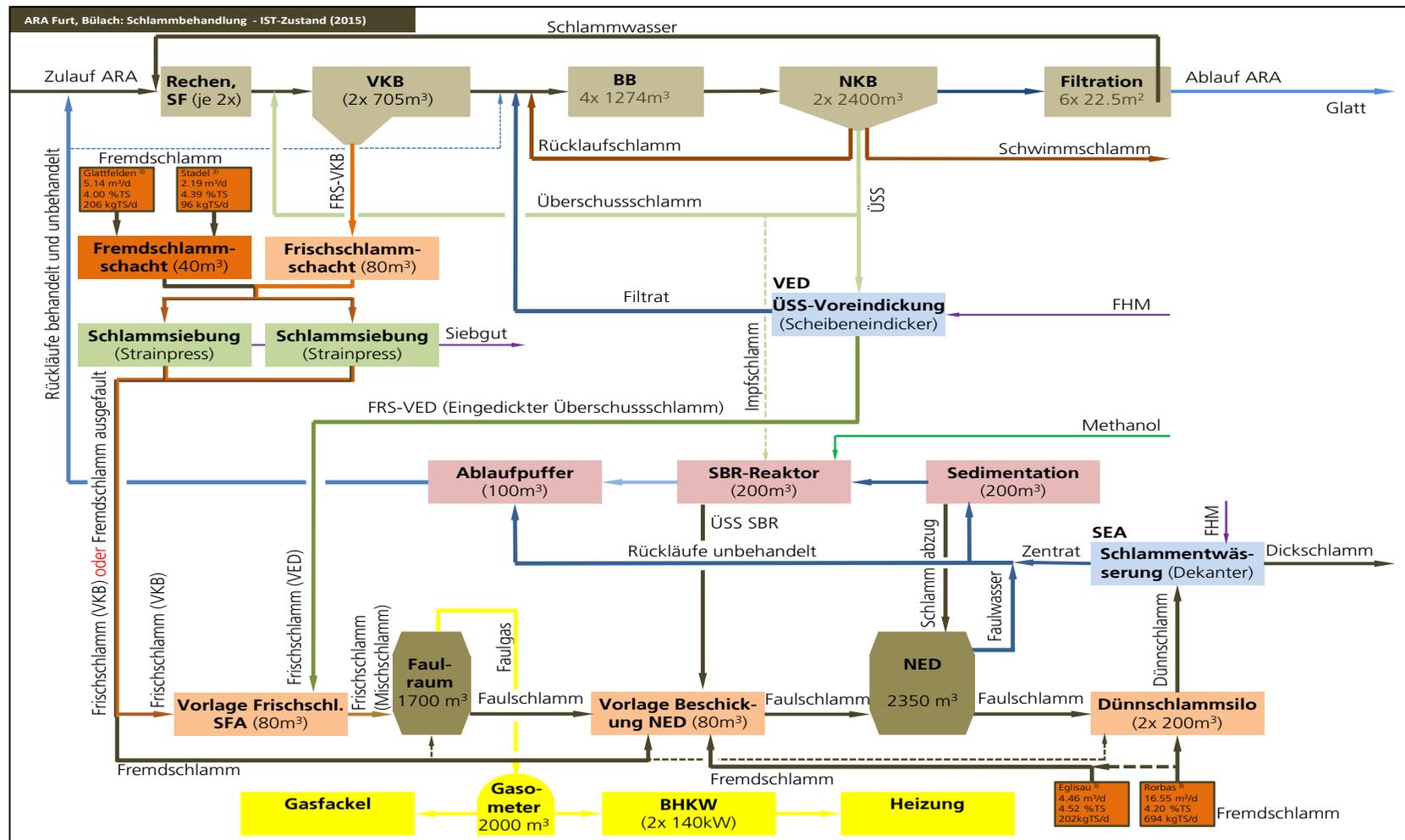


Abbildung 11: Verfahrensschema der Schlammbehandlung auf der ARA Furt - IST-Zustand (2015)

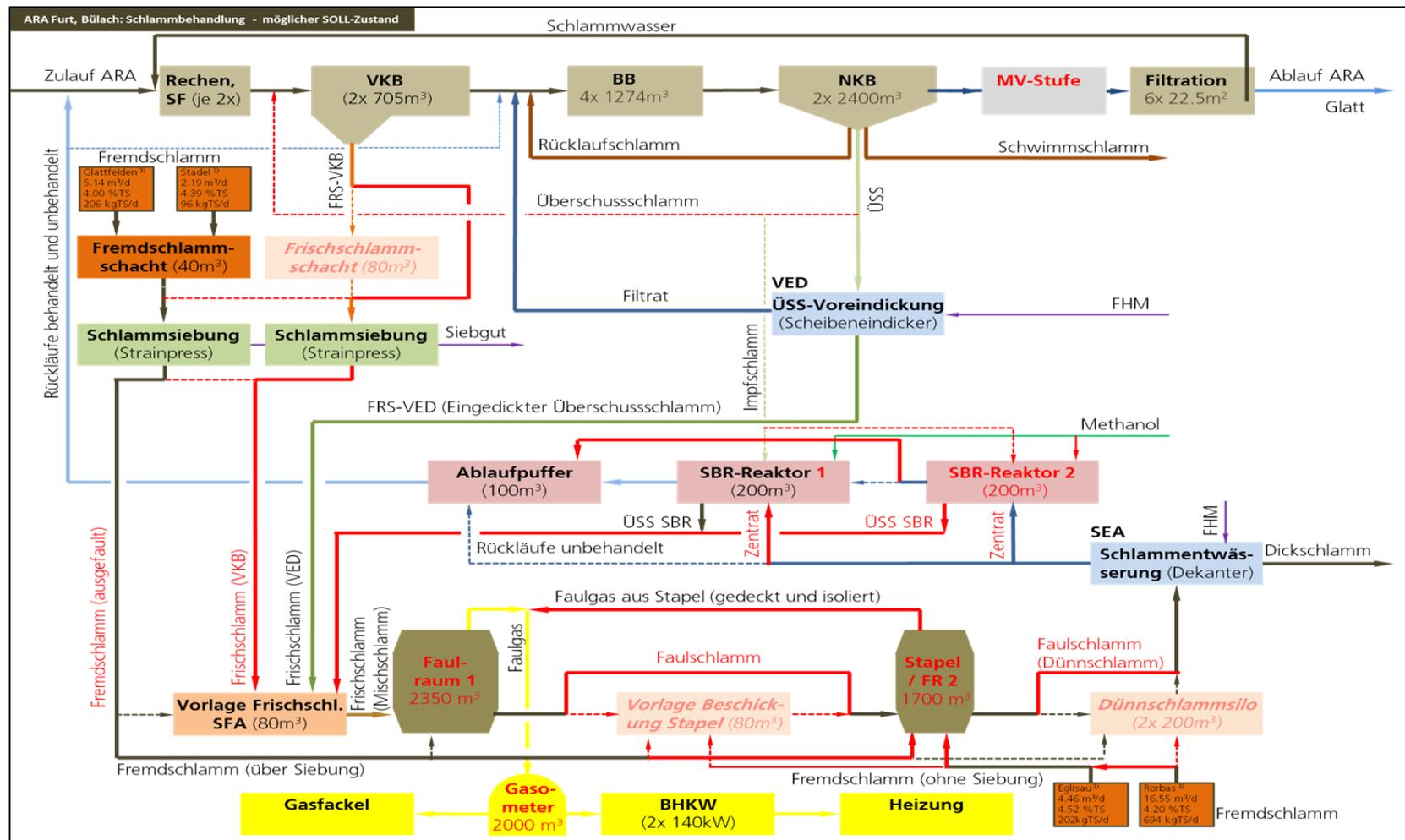


Abbildung 12: Verfahrensschema der Schlammbehandlung auf der ARA Furt – SOLL-Zustand

Bemerkungen: Die zu ändernden Leitungsführungen sind in rot dargestellt. Leitungsführungen, welche nur für Ausnahmebetrieb aufrechterhalten werden, sind gestrichelt dargestellt. Pufferbecken, welche im Normalbetrieb nicht mehr genutzt werden sollen, sind schwächer eingefärbt und kursiv beschriftet.

In den nachfolgenden Unterkapiteln wird die gesamte Schlammstrasse beschrieben und beurteilt. An einer Strategiesitzung am 25. Februar 2016 wurden zusammen mit dem Betrieb Kapazitäten, Engpässe und Redundanzen der bestehenden Schlammstrasse aufgezeigt. Daraus wurden gemeinsam Massnahmen und Prioritäten abgeleitet, welche zum gezeigten Soll-Zustand führen würden [21].

Das Verfahrensschema in Abbildung 11 zeigt vereinfacht den heutigen Zustand auf der ARA Furt und veranschaulicht, was im Folgenden als Text beschrieben und beurteilt wird.

Das Verfahrensschema in Abbildung 12 zeigt den in dieser Strategiestudie aufgezeigten möglichen Soll-Zustand auf. Die Realisierung der empfohlenen Massnahmen würde zu diesem Zustand führen.

6.4.1 Frischschlammbehandlung

Der Frischschlamm setzt sich aus Primärschlamm aus dem Vorklärbecken und Überschussschlamm aus dem Nachklärbecken zusammen.

Frischschlammmentnahme ab VKB Ein Teil des ÜSS wird zur Verdünnung des Primärschlammes über das Vorklärbecken geleitet und zusammen mit dem Primärschlamm entnommen. Heute wird ca. 12 x pro Tag Frischschlamm aus dem VKB abgezogen. Der den VKB entnommene Frischschlamm wird mit Exzenterpumpen zum **Frischschlammloch** (80 m³) gefördert.

Schlamm Siebung: Der Frischschlamm aus dem VKB bzw. dem Frischschlammloch wird über zwei parallele Strainpressen geführt. Der Frischschlamm wird chargenweise gesiebt, während 2 x 1 h/d. Auch ein Teil des ausgefaulten Fremdschlammes wird gesiebt, separat vom Frischschlamm (1-2 x pro Monat). Die Beschickung erfolgt aus dem **Fremdschlammloch** (40 m³). Der gesiebte Fremdschlamm wird über die gleiche Leitung wie der Frischschlamm direkt zur Vorlage Beschickung NED geführt.

Überschussschlamm-Voreindickung: Heute wird nur ein Teil des ÜSS mit einem Scheibeneindicker voreindickt. Die Voreindickung läuft während 2 x 4 h/d.

Vorlage Frischschlamm SFA: Der gesiebte Frischschlamm und der voreindickte ÜSS werden in die Frischschlammvorlage geführt. Mit diesem Mischschlamm wird der Faulraum beschickt.

Wärmerückgewinnung: Der ARA Furt steht für die Wärmerückgewinnung aus dem Faulschlamm ein Spiralwärmetauscher zur Verfügung. Mit diesem Schlamm/Schlamm-Wärmetauscher könnte der Frischschlamm mit dem Faulschlamm vorgewärmt werden. Dieser Wärmetauscher ist aber aufgrund von Betriebsproblemen nicht in Betrieb. Trotz **CIP-Anlage** (Cleaning in Place bzw. ortsgebundene Reinigung) kam es wiederkehrend zu hartnäckigen Verschmutzungen und Verkrustungen.

Beurteilung:

Heute ist der Frischschlamm im Mittel dünn, aber mit stark variierendem TS-Gehalt. Wenn nicht ein Teil des ÜSS zur Verdünnung des Primärschlammes über die Vorklärbecken geführt wird, treten Schwierigkeiten bei der Schlamm Siebung auf (Druckverlust bis Verstopfen der Strainpressen).

Aufgrund der in der Vergangenheit bereits zu knappen Aufenthaltszeit im Faulraum wurde 2014 eine ÜSS-Voreindickung in Betrieb genommen. Die ÜSS-VED soll durch Erhöhung des TS-Gehalts die Faulzeit verlängern und somit die Faulung verbessern. Diese ÜSS-Voreindickung funktioniert gut. Da weiterhin ÜSS über die Vorklärung geführt werden muss, werden die erwartete Steigerung des TS-Gehalts im Mischschlamm sowie die Reduzierung der Mischschlammmenge noch nicht erreicht.

Die ÜSS-Voreindickung hat eine Kapazität bis 30 m³/h [7] (von TS 3 g/l auf ca. 70 g/l) und hätte somit genügend Kapazitätsreserven zur Behandlung von deutlich mehr Menge. Die Menge des FRS-Anteils aus der ÜSS-VED wird nicht direkt gemessen. Sie muss anhand des Verhältnisses der TS-Konzentrationen von Dünn- und Dickschlamm abgeschätzt werden und ist dadurch fehlerbehaftet.

Um das Potential der ÜSS-Voreindickung besser zu nutzen und den tiefen TS-Gehalt des Frischschlammes zu erhöhen, soll die bestehende Frischschlammbehandlung optimiert werden. Die Optimierungen auf der Seite Primärschlamm sollen zulassen, dass Primärschlamm ohne Verdünnung mit ÜSS entnommen werden kann. Dies soll die Eindickung des gesamten ÜSS ermöglichen. Auch eine Eindickung des gesamten Frischschlammes (ÜSS und Primärschlamm) wäre im Prinzip machbar, aber mit hygienischen Bedenken verbunden.

Der Primärschlamm soll nicht zu lange im Trichter des VKB liegen bleiben, da er sonst zu stark eindickt. Ein regelmässiger Frischschlammabzug, wenn möglich automatisiert über eine TS-Messung gesteuert, würde dem entgegenwirken.

Es ist prüfenswert, ob ein zu hoher Eindickgrad des Primärschlammes durch einen selteneren Betrieb des Krählwerks erreicht werden kann. Ein sporadischer Betrieb des Krählwerks ist vermutlich unumgänglich, damit keine Ablagerungen entstehen und die Brückenbildung aus Frischschlamm ausgeschlossen werden kann.

Der Frischschlamm soll direkt nach der Entnahme ab VKB über die Strainpressen geführt werden, damit er im Frischschlammeschacht nicht eindickt. Wegen diskontinuierlichen Betriebs und Engpässen sind heute mehrere Zwischenpuffer nötig, wo es zu Trenn- / Faulprozessen kommen kann. Dies erschwert das Ziel, einen homogenen Schlamm zu erreichen. Auch in Transportleitungen führt stehender Frischschlamm zu Ablagerungen.

Heute ist nur eine Sammelleitung zu und ab den zwei parallelen Strainpressen installiert. So kann nur entweder Frischschlamm oder (ausgefaulter) Fremdschlamm gesiebt werden. Engpass ist vor allem die ca. 200 m lange Ableitung in die Vorlage Frischschlamm SFA, wo abwechselnd Frischschlamm und Faulschlamm transportiert werden. Bei jedem Wechsel muss die lange Leitung gespült werden, bzw. muss manuell zeitgesteuert umgeschaltet werden, wenn das neue Medium abgeschätzt am Ende angekommen ist. Diese Spülungen verdünnen den Frischschlamm. Da die Frischschlammleitungen möglichst kurz gehalten werden sollten, ist die lange Transportleitung nicht ideal. Der Engpass lässt sich durch eine zweite Leitung beheben. Auch die Installation einer separaten Strainpress für die Fremdschlämme in der Nähe des Faulschlammstapels wäre möglich. Diese Lösung ist aber betrieblich nicht erwünscht, da man die ganze Infrastruktur zur Schlamm-siebung an zwei Standorten einrichten müsste.

In der Vorlage Frischschlamm soll immer eine bestimmte Mindestmenge an Frischschlamm verfügbar sein (z.B. niveaugesteuerte Entnahme). Es muss vermieden werden, dass eingedickter ÜSS in die leere Vorlage eingebracht wird, sich dort anhäuft und sich später nur schlecht in den Frischschlamm einmischen lässt. Mittels kontinuierlicher Betriebsweise und Rührwerks soll eine stete gute Einmischung des eingedickten ÜSS gewährleistet sein.

Der regelmässige Frischschlammabzug ermöglicht eine kontinuierliche Beschickung der Faulung. Diese wird heute nur in zwei Chargen pro Tag beschickt. Für eine gute Einmischung wird der Frischschlamm am besten vor der Pumpe des Faulturm-Umwälzkreislaufs dem Faulschlamm zugegeben.

Der Spiral-Wärmetauscher neigt bei chargenweiser Beschickung, insbesondere in Kombination mit einer ungünstigen Geometrie, zu Verstopfungen. Frischschlamm neigt zu problematischen Ablagerungen (Fette), vor allem wenn er in einem Wärmetauscher erwärmt wird. Bei diskontinuierlichem Betrieb entstehen Ablagerungen und Gas, sowie grosse Drücke infolge Leistungsspitzen. Bei kontinuierlichem Betrieb werden weniger Betriebsprobleme erwartet.

Falls Spiral-Wärmetauscher trotz konstantem Durchfluss zu Verstopfungen tendieren (z.B. wegen Einbauten wie Stützen, Ösen, scharfe Umlenkungen etc.), sind bessere Betriebsergebnisse zu erwarten, wenn diese durch Doppelrohrwärmetauscher ersetzt werden. Doppelrohrwärmetauscher werden im Aussenrohr mit Wasser betrieben, das heisst, der Schlamm-Schlamm-Wärmetauscher müsste mit zwei Schlamm-Wasser-Wärmetauschern ersetzt werden, wobei Wasser in einem geschlossenen separaten Wasserkreislauf gepumpt wird. Dieses System hat einen ungünstigeren Wirkungsgrad, ist dafür deutlich zuverlässiger.

Fazit:

Übergeordnetes Ziel der Optimierung der Schlammstrasse ist es, durch eine gleichmässiger, kontinuierliche Betriebsweise homogenere Schlämme mit höherem TS-Gehalt zu erreichen. Dazu sollen Engpässe behoben und Zwischenpuffer reduziert werden. Die Frischschlammbehandlung soll insbesondere durch kontinuierlichere Entnahmen und Beschickungen sowie zuverlässige Einmischungen optimiert werden. Jeder Zwischenbehälter fördert ein Entmischen des Schlammes und biologische Prozesse. Durch eine kontinuierlichere Fahrweise soll dies möglichst konsequent vermindert werden. Dazu werden folgende Massnahmen empfohlen:

- Kontinuierlicher Primärschlammabzug aus VKB, z.B. getaktet mit Räumzyklus (gesamte Tagesmenge aufteilen auf Anzahl Räumzyklen/d; Entnahme TS-abhängig, druckgesteuert)
- Gesamter ÜSS voreindicken und ÜSS-VED kontinuierlicher betreiben
- Direkte kontinuierliche Siebung nach FRS-Abzug (nur noch Primärschlamm) unter Umgehung des Frischschlammes
- Neue / separate Leitung vom Fremdschlammes auf die Schlammesiebung. So wird auch bei Behandlung des Fremdschlammes die kontinuierliche Förderung und Siebung des Frischschlammes nicht gestört.
- Der wichtigste Engpass auf der Frischschlammseite soll durch eine neue / separate Leitung für den hauseigenen Frischschlamm von der Schlammesiebung in die Vorlage Frischschlamm SFA behoben werden. Die Leitungen dürfen dabei nicht überdimensioniert werden, damit sich diese nicht aufgrund zu tiefer Geschwindigkeiten zusetzen.

Weiter sind folgende Massnahmen von untergeordneter Wichtigkeit prüfenswert:

- Andere Siebgrösse bzw. Lochgeometrie der Strainpressen prüfen
- Frischschlammeschacht wegen grösseren Volumens für Fremdschlamm umnutzen (oder beide Schächte verbinden)
- Die CIP-Anlage lässt sich allenfalls zur Reinigung der Frischschlammleitungen mit Lauge umnutzen.

Um Heizenergie einsparen zu können, ist eine Wärmerückgewinnung des Faulschlammes sinnvoll. Nach einer Umstellung auf einen kontinuierlichen Betrieb soll eine Wiederinbetriebnahme des Wärmetauschers erwogen werden. Die Möglichkeit zur Reinigung mit der CIP-Anlage müsste dafür beibehalten werden. Gute Voraussetzungen für den Betrieb der Wärmerückgewinnung sind konstanter Durchfluss und möglichst wenig Einbauten im Wärmetauscher. In diesem Zusammenhang kann der Ersatz durch Doppelrohrwärmetauscher (zwei Schlamm-Wasser-WT) erwogen werden. Eventuell könnten die beiden Transportleitungen für Frischschlamm und Faulschlamm teilweise als Doppelrohr-WT ausgeführt werden.

Zwecks Fremdstoffentfernung soll an der Schlammesiebung der ausgefaulten Fremdschlammes von Glattfelden und Stadel festgehalten werden.

6.4.2 Schlammfäulung

Der Frischschlamm auf der ARA Furt wird mittels anaerob mesophiler Fäulung in einem Faulturm mit einem Volumen von 1'700 m³ stabilisiert. Der Faulturm wird über einen aussenliegenden Umwälzkreislauf durch Aufheizung des umgewälzten Faulschlammes in einem Schlamm/Wasser-Wärmetauscher auf Betriebstemperatur gehalten. Die Fäulung wird heute in zwei Chargen pro Tag aus der Vorlage Frischschlamm SFA mit Mischschlamm beschickt

Beurteilung:

2015 wurden rund 96 m³/d Schlamm der Fäulung zugegeben. Wegen Schaumbildung kann heute nicht der gesamte Inhalt von 1'700 m³ genutzt werden. So wird zurzeit mit einem nutzbaren Inhalt von 1'600 m³ gerechnet. Somit ergibt sich heute eine Aufenthaltszeit von nur noch 17 d. Um die Aufenthaltszeit zu verlängern, muss bei gegebenem Faulraumvolumen die hydraulische Belastung durch Steigerung des TS-Gehalts des Frischschlammes reduziert werden. Die resultierende Volumenreduktion senkt zudem den Wärmebedarf für die Schlammwärmehaltung. Die resultierenden Aufenthaltszeiten aus unterschiedlichen Massnahmen sind in Tabelle 22 aufgelistet.

Tabelle 22: Abschätzung der Aufenthaltszeit im Faulraum bzw. Nacheindicker (als Faulraum) in Abhängigkeit der Massnahmen bei der Frischschlammbehandlung (ohne Berücksichtigung allfälliger PAK-Dosierung einer MV-Stufe)

Behandlung Frischschlamm	Parameter	Einheit	Ist	Auslegung	Zwischen-	Ausbau-
			BTB 2015	heute	ziel 2030	ziel 2050
			39'813 EW	44'500 EW	48'000 EW	54'000 EW
Teileindickung ÜSS, Rest über VKB (wie bisher)	TS PS / ÜSS / Total	[%]	3.1 / 3.2 / 3.2			
	Aufenthaltszeit FR*	[d]	17	15	14	12
	Aufenthaltszeit NED*	[d]	24	21	19	17
Eindickung gesamter ÜSS plus Optimierungen	TS PS / ÜSS / Total	[%]	3.5 / 5.0 / 4.2			
	Aufenthaltszeit FR*	[d]	22	19	18	16
	Aufenthaltszeit NED*	[d]	32	27	25	22

Beurteilung: grün – ausreichend, rot – nicht ausreichend, orange – knapp ausreichend

* Nutzinhalt Faulraum: 1'600 m³, Nutzinhalt NED: 2'250 m³ (Gesamtvolumen ebenfalls reduziert um 100 m³)

Für eine Anlage der Grösse der ARA Furt ist nach Stand der Technik der bestehende Faulturm knapp. Mit nur diesem Faulbehälter stösst man bei weiterem Wachstum an Kapazitätsgrenzen. Falls für die MV-Stufe ein PAK-Verfahren gewählt wird, erhöht sich die Schlammmenge weiter. Auch betriebliche Gründe und die fehlenden Redundanzen sprechen für einen zusätzlichen bzw. grösseren Faulbehälter.

Die weitere Erhöhung des Schlammalters bei bestehendem Faulturm ist durch zusätzliche Eindickung des ÜSS oder des gesamten Frischschlammes möglich. Das Rührwerk des Faulturms wurde 1994 auf eine Feststoffkonzentration von 5% ausgelegt [19], es hätte also genügend Reserve, um auch Frischschlamm mit einem höheren TS zu behandeln. Durch eine Verringerung des Volumenstroms zum Faulraum, verringert sich zudem auch der nötige Wärmebedarf zur Aufheizung des Frischschlammes auf die Betriebstemperatur des Faulraums. Der Ölverbrauch könnte weiter gesenkt werden.

Ohne zusätzliche Eindickung ist ein weiteres Wachstum über die heutige Auslegung hinaus nur mit zusätzlichen Massnahmen möglich; diese sind:

- Bau eines neuen zweiten Faulturms
- Umnutzung des Nacheindickers zu einem zweiten Faulturm
- Funktionstausch von Faulraum und Nacheindicker, um grösseres Volumen für Faulraum zu nutzen
- Nur Abdeckung des Nacheindickers (ohne Isolation)

Die Vor- und Nachteile der betrachteten Konzepte sind in Tabelle 23 aufgelistet.



Tabelle 23: Beurteilung unterschiedlicher Konzepte für die Schlammbehandlung auf der ARA Furt

Konzept	Vorteile / Argumente für Konzept	Nachteile/ Argumente gegen Konzept
Belassen	<ul style="list-style-type: none"> - Keine Investitionskosten - Kein zusätzlicher Platzbedarf - Kapazität kann bereits mit verbesserter Frischschlamm-eindickung gesteigert werden 	<ul style="list-style-type: none"> - Bereits heute an Kapazitätsgrenze - Keine Marge für Belastungsspitzen (z.B. Entleerung des Regenbeckens) - ungünstige Verweilzeitverteilung (nicht optimale Faulung und Gasproduktion, dadurch höhere Entsorgungskosten) - Keine Redundanz, unflexibler Betrieb - Entleerung nur mit Provisorien möglich - Keine Reserven für MV-Stufe mit PAK
Zusätzlicher Faulraum	<ul style="list-style-type: none"> - Höhere Verweilzeit im Faulraum - Günstigere Verweilzeitverteilung in den Reaktoren bei Seriebetrieb - Reserven für Belastungszunahme und MV-Stufe mit PAK - Redundanz - Flexibilität in Betrieb und Wartung 	<ul style="list-style-type: none"> - Kosten - Platzbedarf - Aufwändige Umbauarbeiten - Mehr Wärmeleistung zur Heizung von zwei Faulräumen (evtl. könnte der zweite Nach-Faulraum im Seriebetrieb unbeheizt bleiben)
Umnutzung Nacheindicker zu Faulraum (bzw. Nach-faulraum)	<p><i>Zusätzlich zu vorigen Punkten:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Günstiger als zusätzlichen Faulraum - Wenig zusätzlichen Platzbedarf - Keine Auskühlung in NED, daher bessere Entwässerbarkeit des FAS - Biologie wird ohne Faulwasserzufuhr weniger belastet (durch störende FAS-Bakterien) 	<ul style="list-style-type: none"> - Keine statische Eindickung (NED) mehr - Wenig unabhängiges Puffervolumen, aber Nachfaulraum stellt den Puffer dar - Mehrleistung Schammentwässerungsanlage gefordert (Kapazität vorhanden) - Mehr Wärmeleistung zur Heizung von zwei Faulräumen (Nach-Faulraum könnte im Seriebetrieb evtl. unbeheizt bleiben)
Funktions-tausch von Faulraum und Nacheindicker (→ Stapel)	<ul style="list-style-type: none"> - Höhere Verweilzeit im Faulraum - Kein zusätzlicher Platzbedarf - Redundanz, da beide Reaktoren als Faulraum nutzbar sind - Stapel als Puffervolumen nutzbar - bessere Entwässerbarkeit des FAS - Biologie wird ohne Faulwasserzufuhr weniger belastet. - Gutes Kosten/Nutzen-Verhältnis 	<ul style="list-style-type: none"> - Keine Nacheindickung im Stapel (heutiger Faulraum), da isoliert (mit Wärmerückgewinnung würde der Schlamm sowieso kälter). - Mehrleistung Schammentwässerungsanlage gefordert (Kapazität vorhanden) - Redundanz nur unter Einbusse von Aufenthaltszeit
Abdeckung Nacheindicker (ohne Isolation)	<ul style="list-style-type: none"> - Im Sommer als provisorischen Faulraum nutzbar (während Revision Faulraum) - reduziert Methanschlupf (evtl. berechtigt für CO₂-Kompensationsbeiträge („KliK“)) - Weiterhin als NED nutzbar - Kosten 	<ul style="list-style-type: none"> - Bereits heute an Kapazitätsgrenze - Keine Marge für Belastungsspitzen (z.B. Entleerung des Regenbeckens) - Keine Redundanz, unflexibler Betrieb - Keine Reserven für MV-Stufe mit PAK

Weitere Alternativen zur Optimierung der Faulung werden in Anhang 1 erwogen. Falls ein zweiter Faulturm erstellt wird, könnten die beiden Faultürme in einem einstufigen oder zweistufigen Verfahren betrieben werden. Das heisst, die Faulbehälter werden parallel oder in Serie betrieben. Tabelle 24 listet die Vor- und Nachteile der einstufigen und zweistufigen Verfahren auf:

Tabelle 24: Varianten des Betriebs zweier Faulbehälter, Beurteilung für Betrieb auf der ARA Furt

	Einstufiges Verfahren (Parallelbetrieb)	Zweistufiges Verfahren (Seriebetrieb)
Beschrieb	Die Faulbehälter werden parallel betrieben und anteilig mit Frischschlamm beschickt.	Die Faulbehälter werden in Serie betrieben. Der Ablauf des 1. Faulbehälters ist der Zulauf des 2. Faulbehälters respektive Nachfaulbehälters mit variablem Niveau.
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - einfachere Ausserbetriebnahme eines Faulturms) - Einfache Vergleichbarkeit der beiden Faultürme bei Betriebsproblemen erleichtert Diagnose 	<ul style="list-style-type: none"> - Günstigere Verweilzeitverteilung in den Reaktoren (näher am Röhrenreaktor, Reduktion des Anteils an Kurzschlussströmungen) - Besserer Abbauwirkungsgrad - Mehr Gasproduktion
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - Schlechtere Verweilzeitverteilung - Geringerer Abbauwirkungsgrad - Weniger Gasproduktion 	<ul style="list-style-type: none"> - Unterschiedliche Betriebsbedingungen

Fazit:

Es wird empfohlen, die Faulung quasikontinuierlich über 24 h zu beschicken, was durch die in Kapitel 6.4.1 vorgeschlagenen Massnahmen auf der Seite Frischschlamm ermöglicht wird. Dies reduziert Kurzschlussströme durch Verdrängungseffekte, was eine bessere Faulung zur Folge hat. Zudem lässt sich bei kontinuierlichem Betrieb die Schlammwärmehintergewinnung effizienter betreiben und die Schlammwärmehintergewinnung funktioniert besser.

Aufgrund der unzureichenden Leistung der Faulung und der fehlenden Redundanz wird ein Umbau des Nacheindickers (2'350 m³) zu einem Faulturm und eine Umnutzung des Faulturms (1'700 m³) zu einem Nachfaulraum empfohlen. Der Nachfaulraum bzw. zweite Faulraum in Serie soll dabei gleichzeitig auch als Stapel genutzt werden können, mit variablem Niveau als Stapelvolumen. Der zum Nachfaulraum umgebaute Faulraum ist weiterhin als Hauptfaulraum nutzbar (z.B. im Revisionsfall).

Das grössere Faulvolumen ergibt alleine durch den ersten Faulraum eine von rund 17 d auf rund 24 d gesteigerte Aufenthaltszeit. Der Nachfaulraum trägt zu einer weiteren Steigerung der Aufenthaltszeit bei. Die Steigerung der Aufenthaltszeit wird einen weitergehenden Abbau bzw. eine grössere Klärgasausbeute bewirken. Mit dem weitergehenden Organikabbau verbessern sich auch die Entwässerungseigenschaften des Klärschlammes, was die Entsorgungskosten senkt.

Es wird folgendes Vorgehen bzw. folgende Priorisierung vorgeschlagen:

1. Umstellung auf kontinuierliche Beschickung mit Frischschlamm (→ optimierte Faulung)
2. Totalsanierung und Umbau des Nacheindickers zu einem Faulraum (→ Kapazität gesteigert)
3. Totalsanierung des bestehenden Faulraums (→ Integration in den Faulprozess als Nachfaulraum bei gleichzeitiger Nutzung als Stapel)
4. Umstellung auf kontinuierlichen Betrieb auch auf Seite Faulschlamm (→ Umfahren der Vorlage Beschickung Stapel und der Dünnschlammstillen)

6.4.3 Nacheindickung bzw. Schlammstapelung

Der stabilisierte Faulschlamm wird via Vorlage Beschickung NED dem Nacheindicker mit einem Volumen von 2'350 m³ zugeführt. Auch der abgezogene Schlamm aus dem Sedimentationsbecken der Rücklaufbehandlung wird heute in den Nacheindicker geleitet. Der Nacheindicker ermöglicht eine Restausgasung und statische Nacheindickung vor der maschinellen Entwässerung. Das Faulwasser aus dem NED wird heute manuell abgezogen und direkt in die Vorlage (Sedimentationsbecken) des SBR-Reaktors geführt.

Der Faulschlamm aus dem NED wird in zwei Dünnschlammstillen gestapelt, bevor er der maschinellen Schlammabwässerung (Kapitel 6.4.4) zugeführt wird. Das abgezogene Faulwasser wird in die Rücklaufbehandlung (Kapitel 6.5) geleitet. Während die Schlammabwässerung läuft, kann kein Faulwasser aus dem NED abgezogen werden, weil die Behandlungskapazität des SBR-Reaktors zu klein ist.

Beurteilung:

Heute besteht auf der ARA Furt ein hoher Bedarf an Puffervolumen, insbesondere für das Handling der (ausgefauten) Fremdschlämme. Der chargenweise Betrieb mit sporadischer Einmischung des Fremdschlammes über mehrere Pufferbecken erschwert die Bildung eines homogenen Schlammes und verunmöglicht einen kontinuierlichen Betrieb.

Die Zwischenspeicherung des stabilisierten Faulschlammes im Nacheindicker sowie in den Dünnschlammstillen führt zu einer Abkühlung des Faulschlammes in Abhängigkeit von der Aussentemperatur. Mit sinkender Temperatur erhöht sich die Viskosität des Schlammes, was zu einem schlechteren Entwässerungsergebnis führt. Ist eine längere Stapelung des ausgefauten Schlammes betrieblich nicht unbedingt nötig, so ist eine direkte Entwässerung ohne starke Abkühlung, jedoch mit gezielter Ausgasung in einem isolierten Stapelbehälter zu erwägen. Kann damit die Auskühlung des Schlammes nach der Faulung soweit unterdrückt werden, dass der Faulschlamm stets mit 35°C entwässert wird, so könnte ein um bis zu 2% TR besseres Entwässerungsergebnis erreicht werden. [22]

Im Anhang 2 wird grob erwogen, ob eine Abdeckung des Nacheindickers im Rahmen des „KliK“-Förderprogramms für die ARA Bülach und für den Klimaschutz als übergeordnetes Ziel lohnt.

Fazit:

Bei Ausbau des Nacheindickers zum Hauptfaulraum gemäss Empfehlung in Kapitel 6.4.2 (siehe auch dort) würde in Zukunft der heutige Faulraum als Nachfaulraum und als isolierter Stapel dienen. Der Schlammpegel im neuen Nachfaulraum (1'700 m³) würde variabel gehalten, was ein Stapelvolumen von mehreren 100 m³ zur Pufferung schafft. Auch die Fremdschlämme sollen direkt hier eingemischt werden, was einen gegenüber heute homogeneren Schlamm ermöglicht.

Auch auf der Faulschlammseite ist das übergeordnete Ziel, einen gleichmässigeren, kontinuierlichen Betrieb und dadurch homogenere Schlämme zu erreichen. Zusammen mit dem Funktionstausch von Faulraum und Nacheindicker sollen auch hier Zwischenpuffer im Normalbetrieb soweit möglich umfahren werden. Dies betrifft in diesem Bereich die Vorlage Beschickung Stapel und die Dünnschlammstillen. Die Puffer sollen im Notfall/Ausnahmebetrieb weiter nutzbar bleiben.

Durch den Wegfall der Nacheindickung und des Faulwasserabzugs wird zwar mehr Wasser auf die Entwässerung geführt, dafür aber wärmerer Schlamm, welcher sich besser entwässern lässt. Zudem verringern sich störende Einflüsse auf die Biologie, weil aufgrund der wegfallenden Faulwasser-Rückläufe die biologische Reinigungsstufe von Faulschlamm-Bakterien entlastet wird.

Eine vorgezogene Abdeckung des Nacheindickers im Rahmen des „KliK“-Förderprogramms ist nicht geplant. Die Kompensationszahlungen würden durch Optimierungen der Faulung geschmälert. Mit dem vorgeschlagenen Funktionstausch der beiden Behälter (Faulraum und Nacheindicker) wird im Stapel bzw. Nachfaulraum das Gas ebenfalls gefasst werden.

6.4.4 Schlammmentwässerung und Schlamm Entsorgung

Bei der Schlammmentwässerung handelt es sich um eine regionale Anlage für den Eigenbedarf der ARA Furt und den Bedarf der Vertragsgemeinden: Eglisau, Glattfelden, Stadel, sowie dem Abwasserverbund Embrachertal in Rorbas. Glattfelden wird in Zukunft an Eglisau angeschlossen. Da der von Glattfelden wegfallende Fremdschlamm durch mehr Schlamm von Eglisau kompensiert wird, hat dies keine wesentlichen Konsequenzen für die ARA Furt. Auch Stadel hat den Anschluss der eigenen Kläranlage an eine andere Anlage geprüft, sich aber dagegen entschieden.

Der Fremdschlamm wird von den benachbarten Kläranlagen ausgefault und in flüssiger Form angeliefert. Die Fremdschlämme werden heute an unterschiedlichen Stellen wie folgt zugegeben:

- FAS von Glattfelden und Stadel: in den Fremdschlammschacht (via Schlammsiebung)
- FAS von Eglisau: in die Vorlage Beschickung NED
- FAS von Rorbas: in die Vorlage Beschickung NED oder in die Dünnschlammsilos

Die Fremdschlämme von Glattfelden und Stadel sind mit Fremdstoffen belastet (keine eigene Schlammsiebung) und werden darum über die Schlammsiebung geführt. Für die Fremdschlämme von Eglisau und Rorbas ist dies nicht notwendig. Der Teil des Fremdschlammes, welcher dem Fremdschlammschacht (40 m³) zugegeben wird, wird separat über die Schlammsiebung geführt. Der Fremdschlamm wird an der Faulung vorbei in die Vorlage Beschickung NED geführt. Die Fremdschlämme werden mit dem betriebseigenen ausgefaulten Schlamm vermischt und der Entwässerung zugeführt.

Der Faulschlamm wird aus den Dünnschlammsilos der Schlammmentwässerung zugeführt. Dabei wird in einer Dekanterzentrifuge unter Zugabe von Flockungshilfsmitteln der Dünnschlamm auf einen TS-Gehalt im Bereich von 30% entwässert. Die Schlammmentwässerungsanlage wird heute während 5d/wo tagsüber betrieben. Das Zentratwasser aus der Schlammmentwässerung gelangt in die Rücklaufbehandlung (Kapitel 6.5).

Der entwässerte Klärschlamm wird anschliessend in der zentralen Klärschlammverwertungsanlage auf dem Areal des Klärwerks Werdhölzli in Zürich verwertet. Die sortenreine Asche aus der Monoverbrennung soll eine spätere Rückgewinnung des Phosphors ermöglichen.

Beurteilung:

Die Schlammmentwässerung hat eine Kapazität von 20 m³/h (von 3% TS auf ca. 30% TS) [7] und hätte somit genügend Kapazitätsreserven zur Behandlung von deutlich mehr als der heutigen Menge (2015: 74 m³/d). Ein möglichst kontinuierlicher Betrieb soll angestrebt werden.

Bei einem Funktionstausch von Faulraum und Nacheindicker gemäss Empfehlung in Kapitel 6.4.1 würde in Zukunft zwar ein isolierter Stapel aber kein Nacheindicker mehr bestehen. Dadurch würde auch das heute direkt abgezogene Faulwasser über die Schlammmentwässerung geführt. Dies erhöht zwar den Energiebedarf des Dekanters, aber nicht den Bedarf an Flockungshilfsmitteln. Auch ist warmer Schlamm grundsätzlich besser entwässerbar.

Fazit:

Die Schlammmentwässerungsanlage weist genügend grosse Reserven für weitere Zunahmen der Schlammmenge auf. Es sind heute keine Massnahmen notwendig bzw. vorgesehen. Wenn durch Umnutzung des bestehenden NED keine statische Eindickung mehr verfügbar ist, fällt mehr bzw. dünnerer Schlamm an, dafür reichen aber die Reserve der Schlammmentwässerungsanlage aus.



6.5 Rücklaufbehandlung

Die Rückläufe aus der Schlammbehandlung (Faulwasser) und Schlamm entwässerung (Zentrat) werden vor der Rückgabe in den Abwasserkreislauf zum Teil separat behandelt. So wird die Rückbelastung, vor allem durch Ammonium, reduziert.

Die Rückläufe (Faulwasser aus dem Nacheindicker sowie Zentrat aus der Schlamm entwässerung) werden in einem **Sedimentationsbecken** gesammelt. Abgesetzter Schlamm wird abgezogen und dem Nacheindicker zugeführt. Zudem dient dieser Behälter als Pufferbecken bzw. Vorlagenstapel für den SBR-Reaktor.

Ein Teil der Rückläufe wird in einem **SBR-Reaktor** separat behandelt. Die Behandlung der Rückläufe geschieht heute mittels konventioneller Nitrifikation / Denitrifikation. Das Ammonium wird zu Nitrat und unter Verwendung von Methanol als Kohlenstoffquelle in molekularen Stickstoff umgewandelt. Heute wird der SBR mit 8 Chargen/d à 15m³/Charge betrieben.

Die behandelten und unbehandelten Rückläufe werden im **Ablaufpuffer** gesammelt und im Normalbetrieb in den Hauptzulauf vor den Rechen zurückgeführt. Die Rückläufe können auch direkt in die Biologie zurückgeführt werden.

Das Filtrat aus der ÜSS-Voreindickung wird direkt und unbehandelt in die Biologie zurückgeführt.

Der Überschussschlamm aus dem SBR wird heute in die Vorlage Beschickung NED zurückgeführt.

Beurteilung:

Laut der Zustandsbeurteilung im Jahr 2016 [18] weist der SBR Sanierungsbedarf auf, aber nicht dringend.

Im behandelten Anteil an den Rückläufen wird die zugeführte Stickstofffracht fast vollständig eliminiert, wie Tabelle 25 zeigt. Die N-Elimination betrug 2012-2015 im Schnitt sehr gute 98%.

Tabelle 25: Betriebsparameter des SBR und NH₄-N-Fracht der unbehandelten Rückläufe

Parameter (Mittelwerte)	Einheit	2012	2013	2014	2015
Menge SBR RL zu Biologie total	[m ³ /d]	132.1	133.2	139.9	152.5
Menge SBR-Zulauf	[m ³ /d]	96.5	92.7	106.7	97.9
Rückläufe unbehandelt	[m ³ /d]	35.6	40.5	33.2	54.6
Anteil der RL behandelt	[%]	73.1	69.6	76.2	64.1
NH ₄ -N Konz. SBR-Zulauf	[mg/l]	447	451	445	425
NH ₄ -N Fracht SBR-Zulauf	[kg/d]	44	43	50	43
N-Elimination SBR	[%]	99	99	97	97
	[mg/l]	441	445	430	413
	[kg/d]	42.6	41.3	45.9	40.4

Die Leistung der bestehenden Rücklaufbehandlung ist zwar ausgezeichnet, aber die bestehende Kapazität ist limitiert (Teilstrombehandlung). Mit der bestehenden Kapazität des SBR und des Vorlagebehälters können laut Betriebsdaten im Mittel ca. 70% der Rückläufe im SBR behandelt werden.

Tabelle 26: Potential zur zusätzlichen Entlastung der Biologie bezüglich NH₄-N durch Rücklaufbehandlung

Parameter (Mittelwerte)	Einheit	2012	2013	2014	2015
NH ₄ -N Fracht Zulauf ARA (inkl. RL)	[kg/d]	233	243	264	267
NH ₄ -N Fracht aus RL unbehandelt	[kg/d]	15.9	18.3	14.8	23.2
NH₄-N-Anteil der RL an Zulauf ARA	%	6.8	7.5	5.6	8.7

Falls heute der SBR ausfällt, hat das Auswirkungen auf die Hauptbiologie, welche dann mit gut 40 kg/d (2015) mehr NH₄-N belastet würde. Dies entspricht etwa einem Plus von 15% der Fracht bezogen auf den Zulauf der ARA. Abhängig von der Jahreszeit kann dies die Kapazität zur Stickstoffelimination (Denitrifikation) signifikant reduzieren. Bei einem Ausbau mit einem zweiten SBR-Reaktor erhöht sich die Ausfallsicherheit infolge zusätzlicher Redundanz. Fällt dann ein SBR-Reaktor aus, reduziert sich die Reinigungsleistung der Rücklaufbehandlung nicht mehr auf Null, sondern auf heutiges Niveau.

Die Rückführung der unbehandelten Rückläufe kann die Biologie momentan problemlos verkraften. Es zeichnet sich ab, dass die Belastung den Auslegungswert mittelfristig erreicht. Durch zielführende Massnahmen kann die Anlage aber mindestens 10% über das heutige Ausbauziel hinaus betrieben werden. Darum wird hier eine Leistungssteigerung der Rücklaufbehandlung geprüft. Nebst der bisherigen Teilstrombehandlung kommen für die ARA Furt folgende Konzepte grundsätzlich in Frage:

- **Leistungssteigerung der Rücklaufbehandlung im bestehenden SBR-Verfahren:**

Die Leistung des bestehenden SBR-Verfahrens lässt sich am einfachsten durch einen zweiten SBR-Reaktor steigern. Dazu kann das bestehende Sedimentationsbecken, welches heute als Zulaufpuffer dient, zu einem baugleichen SBR-Reaktor umgebaut werden. Dies ermöglicht eine Vollstrombehandlung der Rückläufe, was die Biologie bezüglich Stickstoffs zusätzlich entlastet. Wie Tabelle 26 zeigt wären schon unter heutigen Bedingungen Entlastungen von rund 5 bis 9% möglich. Aufgrund der künftigen Reservekapazität wäre die Entlastung bei wachsender Belastung noch höher.

Es wurde auch geprüft, ob sich für die Rücklaufbehandlung die Kohlenstoffquelle Methanol durch Rohabwasser substituieren liesse. Dies würde die Betriebskosten senken. Die Zusammensetzung des Rohabwassers gemäss Betriebsdaten zeigt aber dass dafür der Anteil an gut abbaubarem und rasch verfügbarem CSB im Rohabwasser im Vergleich zu Methanol viel zu gering ist. Man müsste grosse Mengen Rohabwasser zugeben und die Denitrifikation wäre deutlich langsamer. In der Grössenordnung würden 800 m³ Rohwasser pro Tag für die heutige Teilstrombehandlung benötigt, gegenüber rund 200 l Methanol pro Tag. Damit würden die Reaktoren wesentlich grösser und Zyklen wesentlich länger. Die bestehenden Beckenvolumen der Rücklaufbehandlung würden bei Weitem nicht ausreichen. Für die ARA Furt kommt der Einsatz von Rohabwasser als Kohlenstoffquelle für die Rücklaufbehandlung deshalb nicht in Frage.

- **Leistungssteigerung der Hauptbiologie hinsichtlich Belüftungsausrüstung:**

Diese Vorgehensweise wird nicht empfohlen, da die bestehende Biologie nicht zusätzlich belastet werden soll. Dies ist im Zusammenhang mit den Beckenvolumen, Schlammalter, Nitrifikation und Stickstoffelimination zu sehen, denn die Kapazität zur Belüftung wäre beim AVI-Verfahren prinzipiell vorhanden. Der Ausbau der Rücklaufbehandlung lässt einen Ausbau der Biologie in untergeordneter Priorität zu.

- **Verfahrenswechsel der Rücklaufbehandlung (z.B. Deammonifikation):**

Zur Verringerung des Energie- und Ressourcenverbrauchs soll auch ein Wechsel zu einem Verfahren mittels Nitritation-Denitritation oder Deammonifikation in Betracht gezogen werden. Im Anhang 3 sind diese Verfahrensvarianten detailliert beschrieben:

In Tabelle 27 werden die Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Konzepte für die Rücklaufbehandlung zusammenfassend dargestellt:

Tabelle 27: Beurteilung der unterschiedlichen Konzepte für die Rücklaufbehandlung

Konzept	Vorteile	Nachteile
Bestehendes SBR-Verfahren belassen (Teilstrombehandlung)	<ul style="list-style-type: none"> - Bestehend - Betriebserfahrungen positiv 	<ul style="list-style-type: none"> - Nur Teilstrom wird behandelt - Belastung Biologie mit unbehandeltem Teil der Rückläufe
Leistungssteigerung der Rücklaufbehandlung im bestehenden SBR-Verfahren (Vollstrombehandlung)	<ul style="list-style-type: none"> - Zusätzliche Entlastung Biologie - Nutzen der positiven Betriebserfahrungen - Einfacher Umbau möglich 	<ul style="list-style-type: none"> - Zusätzliches SBR notwendig - Mehrbedarf an Methanol - Kosten für Betriebsmittel - Wegfall Sedimentationsbecken
Leistungssteigerung der Hauptbiologie (Rücklaufbehandlung ausser Betrieb nehmen)	<ul style="list-style-type: none"> - Vereinfachter Betrieb (Stilllegung RL-Behandlung) - Platz wird frei 	<ul style="list-style-type: none"> - Mehrbelastung Biologie - Ausserbetriebnahme eines gut funktionierenden Prozesses
Verfahrenswechsel der Rücklaufbehandlung (Nitritation / Denitritation)	<ul style="list-style-type: none"> - Einsparung von ca. 40% des zusätzlichen Kohlenstoffbedarfs - Einsparung von ca. 25% des Sauerstoffbedarfs - weniger ÜSS-Produktion - mittlerer Energie- und Ressourcenverbrauch 	<ul style="list-style-type: none"> - Anpassungen insbesondere bei der maschinellen Ausrüstung - Spezielle, langsam wachsende, empfindliche Mikroorganismen erforderlich - Aufwendige Überwachung, Steuerung - Komplexerer Betrieb
Verfahrenswechsel der Rücklaufbehandlung (Deammonifikation, z.B. „DEMON®“-Verfahren)	<ul style="list-style-type: none"> - keine zusätzliche Kohlenstoffquelle nötig - Einsparung von ca. 60 % des Sauerstoffbedarfs - geringe ÜSS-Produktion - geringer Energie- und Ressourcenverbrauch 	<ul style="list-style-type: none"> - Anpassungen insbesondere bei der maschinellen Ausrüstung - Spezielle, langsam wachsende, empfindliche Mikroorganismen erforderlich - Heiklerer Betrieb - Komplexere Regelungstechnik

Fazit:

Um den verschärften Anforderungen an die Stickstoffelimination gerecht zu werden, bietet sich ein Weiterbetrieb der Rücklaufbehandlung an, mindestens bis zum Ausbau der Biologie. Am SBR-Verfahren kann grundsätzlich festgehalten werden. Der Wechsel zu einem anderen Verfahren ist nicht zwingend. Trotzdem empfiehlt die Hunziker Betatech AG, einen Wechsel zum Deammonifikations-Verfahren „DEMON®“ vertieft zu prüfen. Dieses Verfahren ist mittlerweile Stand der Technik und lässt grosse Einsparungen bei den Betriebskosten zu.

Es wird empfohlen, zur weiteren Entlastung der Hauptbiologie die Kapazität der bestehenden Rücklaufbehandlung zu steigern. Dafür soll das Sedimentationsbecken zu einem zweiten Reaktor umgebaut werden. Danach kann der bestehende SBR saniert werden. Gemäss Zustandsuntersuchung ist eine Sanierung des bestehenden SBR nicht dringend. Da beim künftigen Betrieb ohne NED kein Faulwasser mehr abgezogen wird, gelangt kein Faulschlamm mehr auf die Rücklaufbehandlung, weshalb auf das Sedimentationsbecken verzichtet werden kann. Die Beschickung mit Zentrat aus der Schlammmentwässerung erfolgt zeitgesteuert wechselweise, deshalb ist auch kein Pufferbecken notwendig. Die Belüftung wird wie beim bestehenden SBR-Reaktor über die Messung der NH₄-N- oder der O₂-Konzentration gesteuert. Die ÜSS-Abzüge aus den SBR sollen künftig in die Vorlage Frischschlamm SFA geführt werden.

6.6 Gasverwertung

Im Gasometer mit einem Volumen von 2'000 m³ wird das im Faulraum erzeugte Faulgas bzw. Klärgas zur späteren Verwertung gespeichert.

Die ARA Furt verwertet ihr Klärgas in einer Wärme-Kraft-Kopplungs-Anlage (WKK). In zwei Blockheizkraftwerken (BHKW) wird hochwertiger Strom erzeugt. Gleichzeitig wird mit der anfallenden Abwärme zum Teil der eigene Wärmebedarf für die Faulung und die Heizung abgedeckt. Überschüssiges Methan wird bei Betriebsausfall der BHKW oder Wartungsarbeiten über die Gasfackel verbrannt.

Notstromkonzept: Die beiden BHKW sind auch als Notstromgruppe eingeplant, mit einer Autonomie von mindestens 2 h. Zusätzlich liesse sich der bereits bestehende Erdgasanschluss (von der ehemaligen Schlamm-trocknungsanlage) nutzen, um die Autonomie der Notstromanlage zu steigern.

Beurteilung:

Das Klärgas wird zu nahezu 100% in den BHKW genutzt. Nur in sehr seltenen Ausnahmefällen wird das Klärgas abgefackelt. Der Eigenversorgungsgrad an Wärme beträgt nur etwa 90%.

Spätestens wenn altersbedingt ein Ersatz der BHKW ansteht, wird die Frage aktuell, welche Nutzung des Klärgases nachhaltig die beste Lösung ist. Grundsätzlich sind die beiden folgenden Verwertungen des Klärgases möglich:

- Strom- und Wärmeproduktion in einer Wärme-Kraft-Kopplungs-Anlage (WKK) auf der ARA und Nutzung der produzierten Energie auf der ARA (bisherige Verwertung auf der ARA Furt)
- Aufbereitung zu Biomethan und Einspeisung in ein Erdgasnetz; die benötigte Wärme auf der ARA wird aus dem Abwasser und der zusätzliche Energiebedarf per Strombezug aus dem Netz gewonnen

Tabelle 28: Beurteilung unterschiedlicher Konzepte für die Gasverwertung

Konzept	Vorteile / Argumente für Konzept	Nachteile/ Argumente gegen Konzept
Wie bisher WKK (BHKW)	<ul style="list-style-type: none"> - Beitrag zur Eigenversorgung - erneuerbare Energieerzeugung - Strom als höherwertigere Energie als Brenn- oder Treibstoff - Festhalten am bisherigen, bewährten Konzept für Wärme, Strom, Notstrom 	<ul style="list-style-type: none"> - Wärmeüberschuss im Sommer kann nicht sinnvoll genutzt werden (z.B. bei ARA mit Co-Vergärung, ohne Möglichkeit der Einspeisung in Wärmenetz) - Periodischer Ersatz/Revision der BHKW notwendig - Platz für Gasspeicherung (Gasometer) kann nicht anderweitig genutzt werden
Umstellung auf Biogas-Einspeisung	<ul style="list-style-type: none"> - Keine BHKW notwendig - Sinnvoll bei grossem ungenutztem Wärmeüberschuss (z.B. ARA mit Co-Vergärung, ohne Möglichkeit der Einspeisung in Wärmenetz) - Alternative Wärmegewinnung z.B. aus Abwasser möglich / nötig - Gasometer nur zum Spitzenausgleich (kleineres Volumen → evtl. Platz für 2.Faulturm oder MV-Stufe) 	<ul style="list-style-type: none"> - Eher nur bei grösseren Anlagen mit Erdgasnetz in der Nähe wirtschaftlich - Wirtschaftlichkeit abhängig vom Einspeisepreis der Gasgesellschaft - Brenn- oder Treibstoff als niederwertigere Energie als Strom - Verfahren zur Gasaufbereitung nötig (z.B. Membranverfahren) - Neues Notstromkonzept notwendig - Evtl. Vergrösserung des elektr. Anschlusses für Wärmepumpen

Fazit:

Die Einspeisung des Klärgases ist aus energetischer Sicht dann sinnvoll, wenn der Wärmebedarf der Kläranlage mit Abwärme aus Kehrrechtverbrennungsanlagen, Industrien oder über interne Prozess- oder Abwasserwärmenutzung abgedeckt werden kann.

Aufgrund der Anlagengrösse dürfte für die ARA Furt eine Einspeisung eher nicht wirtschaftlich sein. Die Nutzung des Klärgases zur Strom- und Wärmeerzeugung in den BHKW ist nach wie vor eine vorbildliche energetische und umweltgerechte Lösung, insbesondere da der grössere Teil der Abwärme genutzt wird.

Wir empfehlen der ARA Furt, an der bisherigen Gasverwertung in den eigenen BHKW mit festzuhalten.

Notstromkonzept: Die beiden BHKW sollen ihre Notstromfunktion beibehalten. Der Anschluss an das Erdgasnetz, um die Autonomie der Notstromanlage zu steigern, soll geprüft werden. Dafür wäre eine Anschlussleitung zu ziehen, sowie die Steuerung des BHKW an die unterschiedlichen Medien (Erdgas / Faulgas) anzupassen.

Im Rahmen des Ausbaus der ARA Furt mit einer Stufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen soll bei Bedarf der Gasometer verlegt werden. Bei der Dimensionierung ist zu berücksichtigen, dass sich künftig auch Niveauänderungen im gasdicht abgedeckten Stapel (heute NED) über das Gasometer-volumen puffern lassen müssen.

6.7 HLKS

Die Heizungs-, Lüftungs- und Sanitärinstallationen wurden grösstenteils 1998 erstellt und sind bald 20 Jahre alt. Aufgrund regelmässiger Instandhaltungsarbeiten sind die Installationen in einem dem Alter entsprechend guten Zustand.

Die Heizungs- und Lüftungsanlagen werden 2016 saniert, die Umwälzpumpen, Ventile, Ventiltriebe, Fühler und die zugehörige Schalt- und Steueranlagen werden ersetzt. Die Steuerung der Heizung und Lüftung wird ins Prozessleitsystem eingebunden. Der Stützheizkessel weist wenige Betriebsstunden auf und wird beibehalten. Die Blockheizkraftwerke (BHKW) werden im Rahmen des Umbaus der Faulung ersetzt, voraussichtlich 2019.

Des Weiteren werden die HLKS-Installationen im Zuge der Umbauten der Reinigungsstufen angepasst und ergänzt.

6.8 EMSRL

Die Lebensdauer der eingesetzten EMSRL-Komponenten steht in direkter Abhängigkeit des Einsatzbereiches und der Dimensionierung. In Anlagen der Abwasserentsorgung lassen sich bei einer nachhaltigen Planung, korrekter Dimensionierung, Ausführung und Wartung der Einrichtungen folgende Lebensdauern erreichen:

- Elektroinstallationen ca. 20-30 Jahre
- Schalt- und Steuerschränke ca. 15-20 Jahre
- Prozessmesstechnik ca. 5-15 Jahre
- Automatisierungs- und Prozessleitsysteme ca. 5-15 Jahre

Die Elektroinstallationen sind häufig nicht aus Materialgründen zu ersetzen, sondern infolge Änderungen und Anpassungen der Anlagen, bei denen die Einrichtungen an neue Vorschriften angepasst werden müssen.

Geräte und Einrichtungen innerhalb von Schalt- und Steuerschränken können bei entsprechender Dimensionierung obgenannte Lebensdauer erreichen. Bei älteren Einrichtungen ergibt sich ein Ersatzbedarf meistens, weil durch die laufende Entwicklung der Komponenten keine entsprechenden Ersatzteile mehr erhältlich sind.

Ein grosser Teil der Prozessmesstechnik ist durch das Anlagepersonal dauernd zu warten und zu pflegen. Diese Messtechnik kann auch eine höhere Lebensdauer erreichen als dargestellt. Vielfach scheitern längere Lebenszyklen jedoch an der Verfügbarkeit entsprechender Ersatzteile.

Die Automatisierungs- und Prozessleitsysteme (AS&PLS) können sehr hohe Lebenszyklen erreichen. Dabei ist zwischen der Ebene der speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS), den Prozessleitsystemen (PLS) und der eingesetzten Software zu unterscheiden.

Beurteilung:

Das Automatisierungs- und Prozessleitsystem wurde in den Jahren 2006-2008 vollständig abgelöst. Das System entspricht dem Stand der Technik und kann jederzeit auch an neue Anforderungen angepasst und erweitert werden. Ersatzteile sind gemäss Hersteller bis ins Jahr 2030 garantiert. Die Erneuerung der EMSRL-Einrichtungen für die HLK-Anlagen ist Gegenstand des Werterhaltungsprogramms 2016.

Alle anderen EMSRL-Einrichtungen sind aufgrund des Alters zu einem grossen Teil als ausgedient einzustufen. Die EMSRL-Einrichtungen der ARA befinden sich dank ausgezeichneter Pflege und Wartung in einem sehr guten Zustand. Dies darf jedoch nicht über das Alter der Einrichtungen hinwegtäuschen. Viele der Einrichtungen stehen im Dauereinsatz und sind darum einem entsprechenden Verschleiss und Alterung ausgesetzt. Zudem sind einige Steuerungseinrichtungen mit elektromechanischen Komponenten ausgeführt. Diese Aufgaben lassen sich heute besser über das AS&PLS lösen.

Fazit:

Der Erneuerungsbedarf der EMSRL-Einrichtungen soll gemäss folgendem Vorgehen abgedeckt werden:

Elektroinstallationen: Die Elektroinstallationen werden periodisch durch zertifizierte Kontrollstellen bezüglich Erfüllung der Vorschriften geprüft. Sofern keine Anlagen geändert werden oder Defekte eintreten, sind keine Erneuerungen vorzusehen. Sobald jedoch irgendwelche Anlagen oder Einrichtungen geändert werden, sind die Installationen ebenfalls zu erneuern. Zu beachten ist zudem, dass die bestehenden Installationen weitgehend mit halogenhaltigem Material ausgeführt sind. Bei einer Erneuerung ist davon Abstand zu nehmen und halogenfreies Material einzusetzen.

Schalt- und Steuerschränke: Die Schalt- und Steuerschränke der ARA sind ähnlich wie die Elektroinstallationen zu handhaben. Da noch für die meisten Einrichtungen Ersatzteile erhältlich sind, können Schalt- und Steuerschränke für verfahrenstechnische Bereiche, bei welchen sich in den nächsten Jahren eine Änderung abzeichnet, vorläufig beibehalten und gleichzeitig mit der verfahrenstechnischen Änderung oder Erweiterung der Anlage abgelöst werden. Für alle anderen Schalt- und Steuerschränke ist eine Ablösung in den nächsten Jahren vorzusehen. Bezüglich halogenhaltigem Material gilt für die Schalt- und Steuerschränke dasselbe wie bei den Elektroinstallationen.

Prozessmesstechnik: Die Prozessmesstechnik lässt sich bei einem Ausfall relativ kurzfristig ersetzen. Von einem altersabhängigen prophylaktischen Ersatz ist abzuraten. Davon ausgenommen sind Anlagen, welche sowieso verfahrenstechnisch erneuert, angepasst oder ersetzt werden.

Automatisierungs- und Prozessleitsysteme: Altersbedingte Ersatzmassnahmen im Bereich der Automatisierungs- und Prozessleitsysteme können sich bei der PC-Hardware und infolge der Entwicklung der Betriebssysteme ergeben. Diese relativ kleinen Massnahmen werden üblicherweise im Rahmen des ARA-Unterhaltes ausgeführt. Bei den Automatisierungs- und Prozessleitsystemen besteht deshalb in den nächsten Jahren kein darüber hinaus gehender Erneuerungsbedarf.



ARA Blindschaltbilder: Die ARA Furt ist mit detaillierten Blindschaltbildern bestückt. Diese Bilder sind für Anlageänderungen nicht mehr anpassbar. Der Unterhalt kann sich zudem als kostenintensiv erweisen. Es empfiehlt sich, die Blindschaltbilder wo notwendig durch Grossmonitore zu ersetzen.

Sonstige Einrichtungen: Die messtechnischen Einrichtungen zur Energieerfassung von Wärme und Strom gemäss dem Handbuch "Energie in ARA" sind altersbedingt nicht mehr auf den Stand der Technik. Eine entsprechende Investition ist deshalb in den nächsten 5 Jahren empfehlenswert.

6.9 Gebäude, Hochbauten

Die bestehenden Gebäude wie Rechengebäude, Garderobengebäude, Betriebsgebäude, Einstellhalle, Schlammfaulungsgebäude, Schlaummentwässerungsgebäude sowie Energiekanal werden beibehalten und laufend instandgehalten.

Für die Elimination der Mikroverunreinigungen wird ein neues zugehöriges Betriebsgebäude erstellt.

Der bestehende Gasometer wird abgebrochen und ein neuer im Norden der Kläranlage erstellt. Allenfalls könnte der neue Gasometer in der Sackhalle im Schlammmentwässerungsgebäude erstellt werden.

7 Variantenstudie Stufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen

7.1 Auswahl der Verfahrensvarianten

Geeignete Verfahren zur Entfernung von MV aus kommunalem Abwasser müssen eine Breitbandwirkung aufweisen. Das heisst, eine möglichst breite Palette problematischer Spurenstoffe muss weitgehend entfernt werden. Zudem müssen die Verfahren technisch machbar und wirtschaftlich tragbar sein. Diese Anforderungen erfüllen nach Stand der Technik oxidative Verfahren mittels Ozonung und adsorptive Verfahren mittels Aktivkohle sowie Verfahrenskombinationen.

Beim Verfahren der **Ozonung** wird in einem Ozonerzeuger aus Sauerstoff unter Einsatz von elektrischer Energie Ozon (O_3) hergestellt und dann in das Abwasser eingetragen. Ozon ist ein sehr reaktives Gas, welches mit den Wasserinhaltsstoffen reagiert, auch schwer abbaubare Verbindungen angreift und so auch Spurenstoffe oxidiert. Eine Nachbehandlung mit einer biologisch aktiven Stufe nach der Ozonung wird sehr empfohlen, um potentiell toxische Reaktionsprodukte effektiv entfernen zu können. Am besten ist dafür nach Stand der Technik eine Raumfiltration geeignet.

Für die adsorptiven Verfahren zur Elimination von Mikroverunreinigungen auf Kläranlagen wird Pulveraktivkohle (PAK) oder Granulierte Aktivkohle (GAK) eingesetzt.

Bei **PAK-Verfahren** wird die Pulveraktivkohle mit einer Korngrösse von einigen μm dem Abwasser beigemischt. Sie muss anschliessend mit einem geeigneten Abtrennverfahren wieder vom Abwasser getrennt werden (z.B. Sedimentation/Filtration, Sandfiltration, Membranfiltration, Flotation). Ein PAK-Verfahren besteht klassisch aus einem Kontaktreaktor und einer Sedimentationsstufe. Das Absetzbecken soll ähnlich einem Nachklärbecken die Pulveraktivkohle zurückhalten.

Zur besseren Ausnützung der Adsorptionskapazität kann die Pulveraktivkohle in die biologische Stufe zurückgeführt werden. Der anfallende PAK-Schlamm muss dann mit dem Belebtschlamm entsorgt werden.

Der Platzbedarf auf der ARA Furt ist beschränkt. Verfahren, welche aus einem Kontaktbecken nach dem NKB und einem konventionellen grossflächigen Absetzbecken bestehen (Ulmer-Verfahren), kommen deshalb nicht in Frage. Kompaktverfahren wie das bereits erfolgreich pilotierte, patentierte Verfahren „Actiflo®Carb“ sind vor allem interessant, wenn dadurch eine Sandfiltration eingespart werden kann, weil zur Abtrennung der PAK bereits eine Tuchfiltration genügt. Da auf der ARA Furt bereits eine Sandfiltration besteht und aufgrund höherer Investitions- und Betriebskosten gegenüber einer PAK-Dosierung auf den bestehenden Sandfilter werden diese Kompaktverfahren nicht weiter betrachtet.

Weiter verfolgt werden die Platz sparenden Verfahren der PAK-Dosierung auf den Sandfilter oder direkt in die Biologie.

Beim **GAK-Verfahren** wird die Adsorption an granulierte Aktivkohle in einem Raumfilter betrieben, der vom Abwasser durchströmt wird. Die im Vergleich zu den Spurenstoffen in weit höherer Konzentration vorliegende Hintergrund-DOC konkurrieren mit den Spurenstoffen um Adsorptionsplätze. Dies führt zu kurzen Standzeiten. Aufgrund der zunehmenden Beladung muss die Aktivkohle periodisch ausgewechselt (regeneriert) werden.

Zurzeit laufen Versuche mit GAK auf der ARA Furt, Bülach. Die Eignung von GAK-Verfahren, insbesondere die Standzeiten und somit die Wirtschaftlichkeit, kann noch nicht abschliessend beurteilt werden. Das Volumen der bestehenden Sandfiltration dürfte für die Umrüstung zu einer reinen GAK-Filtration nicht ausreichen. In dieser Studie wird deshalb das GAK-Verfahren nur in Kombination mit einer Ozonung betrachtet. Eine Sandfiltration wäre bei genügend Reserve auch nachträglich relativ einfach umrüstbar zu einer GAK-Filtration.

Verfahrenskombinationen nutzen die komplementäre Wirkmechanismen Oxidation (Ozonung) plus Adsorption (PAK oder GAK).

Die Verfahrenskombination Ozonung plus PAK ist vor allem für grosse Anlagen und nicht rein kommunal geprägte Abwässer interessant. Aufgrund der grossen Flexibilität bietet diese Kombination grosses Potential für eine Optimierung der Reinigungsleistung. Für eine Anlagengrösse der ARA Furt ist eine Verfahrenskombination Ozonung plus PAK aufgrund der hohen Investition eher unwirtschaftlich. Deshalb wird diese Variante nicht weiter berücksichtigt.

Bei der Verfahrenskombination Ozonung plus GAK wird anstelle eines Sandfilters ein Filter mit granulierter Aktivkohle als bioaktive Stufe eingesetzt. Zum Einsatz von GAK-Verfahren in Kombination mit einer Ozonung fehlen in der Schweiz zurzeit noch die grosstechnischen Erfahrungen. Auf der ARA Furt werden Versuche mit GAK auch in Kombination mit einer vorgeschalteten Ozonung durchgeführt. In Anbetracht der laufenden Versuche wird die Variante Ozon plus GAK-Filtration darum weiter verfolgt.

In dieser Studie werden somit folgende vier für die ARA Furt aus heutiger Sicht geeignete Varianten berücksichtigt:

- **Variante 1 - Ozonung mit bestehender Sandfiltration**
- **Variante 2 - PAK-Dosierung auf den Sandfilter**
- **Variante 3 - PAK-Direktdosierung in die Biologie**
- **Variante 4 - Kombination Ozonung mit GAK-Filtration**

7.2 Ermittlung des Platzbedarfs

Mit den in Kapitel 5 zusammengetragenen Dimensionierungsgrundlagen werden die Beckenvolumina für die in Frage kommenden Verfahren zur Elimination von Mikroverunreinigungen abgeschätzt. Zur Ermittlung des Flächenbedarfs werden die Netto-Volumen und -Flächen der Verfahreseinheiten berechnet auf Basis der notwendigen Aufenthaltszeit in den Kontaktreaktoren und der maximalen Geschwindigkeiten. Die Reaktoroberflächen werden aus dem berechneten Reaktorvolumen unter Annahme der Reaktortiefe geschätzt. Die Reaktortiefe wird für alle Reaktoren zu 4 m angenommen. Dies entspricht der minimalen Tiefe bei der ein wirtschaftlicher Ozoneintrag möglich ist. Zwecks besserer Vergleichbarkeit werden die Oberflächen der Kontaktbecken einer PAK-Stufe mit der gleicher Beckentiefe geschätzt. Die Reaktoren können abhängig von den örtlichen Verhältnissen (Baugrund, Grundwasserspiegel) auch tiefer gewählt werden. Die hier angegebenen Reaktorflächen entsprechen somit Maximalwerten.

Aus den notwendigen Reaktorflächen wird mit einem Faktor der Platzbedarf der Varianten geschätzt. Dieser ausgewiesene Platzbedarf ist ein Erfahrungs-Richtwert für den Flächenbedarf eines Verfahrens bestehend aus den Brutto-Reaktorflächen. Dazu kommt der Platzbedarf für das Betriebsgebäude mit den benötigten Anlagen und Aggregate wie Ozongenerator, oder PAK-Dosier- und Lagereinrichtungen sowie gegebenenfalls für den Sauerstofftank und Schaltschränke. Die ausgewiesenen Flächen geben den minimalen Platzbedarf wieder und berücksichtigen keine Verkehrsflächen zur Umfahrung der Reaktoren oder Flächenreserven für spätere Erweiterungen bei zunehmender Belastung.

Für diese Abklärung des Platzbedarfs auf der ARA Furt werden die im VSA-Bericht zu den Dimensionierungswassermengen und Redundanzen erarbeiteten Grundlagen verwendet [27]. Diese basieren auf einer Auswertung der Pilotierungen der letzten Jahre in der Schweiz und in Deutschland.

Für die Umnutzung der bestehenden Sandfiltration wird berechnet, ob die bestehenden Filterflächen und Filtervolumina dafür ausreichend dimensioniert sind.

7.3 Beurteilung des sachgemässen Gewässerschutzes

Je nach Abwasserzusammensetzung ist nicht immer jedes Verfahren gleich gut zur Elimination von Mikroverunreinigungen geeignet. Gemäss Artikel 63 des GSchG werden Abgeltungen nur geleistet, wenn eine Massnahme auf einer zweckmässigen Planung beruht, einen sachgemässen Gewässerschutz gewährleistet, dem Stand der Technik entspricht und wirtschaftlich ist [1].

Ein sachgemässer Gewässerschutz bedeutet, dass der Zustand des Gewässers durch die Massnahme zur Elimination von MV verbessert werden muss. Massnahmen, die zu einer Verschlechterung führen, entsprechen nicht einem sachgemässen Gewässerschutz [3]. Verschlechterungen sind problematische Abbauprodukte oder zusätzlichen Eintrag von Feststoffen. Der zusätzliche Eintrag von Feststoffen (z.B. aufgrund von PAK-Schlupf) wird durch die richtige Dimensionierung der Filtration gewährleistet.

Bei einer Ozonung muss ausgeschlossen werden, dass es zur übermässigen Bildung von problematischen Abbauprodukten kommen könnte. Durch die Ozonung können aus natürlich vorhandenen organischen sowie aus anorganischen Stoffen sogenannte Oxidationsnebenprodukte gebildet werden, welche toxische Eigenschaften haben können. Kritisch sind vor allem Bromat und Nitrosamine. Nitrosamine gelten als krebserregend. Sie können während der Ozonung aus organischen Aminen gebildet werden.

Das Risiko der Bromat-Bildung besteht bei hoher Bromid-Konzentration im Zulauf zur Ozonung. Bromat gilt als potentiell krebserregend. Es entsteht in einer mehrstufigen Oxidationsreaktion aus Bromid und nimmt prinzipiell mit höherer Bromid-Hintergrundkonzentration, Ozondosis und der Zahl von Hydroxyl-Radikalen zu. Tendenziell sind hohe Bromid-Konzentrationen eher bei ARAs mit einem grossen Anteil an Industrieabwasser und Kehrlichtverbrennungsanlagen (KVA) im Einzugsgebiet zu erwarten.

Bereits zum Zeitpunkt der Verfahrensauswahl sollte die grundsätzliche Eignung der Ozonung abgeklärt werden. Um eine zuverlässige Elimination der MV zu gewährleisten, ist es wichtig, dass:

- das Verhalten von Ozon im Abwasser und die OH⁻-Radikal-Ausbeute voraussagbar sind
- die Spurenstoffe effizient abgebaut werden (Eliminationsrate $\geq 80\%$)
- keine toxischen Nebenprodukte entstehen (v.a. Bromat)

Um kritische Fälle hinsichtlich Spurenstoffelimination und Bildung von toxischen Nebenprodukten frühzeitig zu identifizieren, wurde ein Testverfahren entwickelt. Die EAWAG und das Analytik-Labor Envilab AG bieten beide Testverfahren zur Beurteilung der Behandelbarkeit des Abwassers mit Ozon an. Das Verfahren besteht aus Untersuchungen von bis zu vier Modulen im Labormassstab, sowie allenfalls Pilotversuchen auf der ARA [28].

Es ist empfohlen, die Labortests in einer möglichst frühen Planungsphase durchzuführen, am besten schon, sobald eine Ozonung in die engere Auswahl kommt. Einerseits besteht dann früh Klarheit, ob eine Ozonung grundsätzlich in Frage kommt, andererseits können aufgrund der ermittelten notwendigen Dosierung auch die Betriebskosten genauer abgeschätzt werden. Spätestens vor dem definitiven Verfahrensentscheid für eine Ozonung muss die Eignung dieses Verfahren verifiziert sein.

Die vorgeschlagene Massnahme muss auf Stufe Studie oder Vorprojekt in einem Anhörungsverfahren im Einzelfall vom BAFU bestätigt und vom Kanton angeordnet werden. Das gesamte Verfahren zur Gewährung von Abgeltungen ist in der BAFU-Vollzugshilfe zur Finanzierung von Massnahmen zwecks Elimination von MV beschrieben [3].

7.4 Variantenbeschriebe

7.4.1 Variante 1 - Ozonung mit bestehender Sandfiltration

Verfahrensbeschrieb: Da Ozon ein instabiles Gas ist, muss es vor Ort erzeugt werden. Ozon kann aus Flüssigsauerstoff, aus vor Ort hergestelltem Sauerstoff oder aus getrockneter Luft hergestellt werden. Flüssigsauerstoff (LOX) wird in einen Tank angeliefert. Die komplette Sauerstoff-Versorgungsanlage besteht in diesem Fall aus Lagertank, Verdampferanlage, Druckreduzierstation und Gaserwärmer. Üblicherweise wird diese Installation vom Sauerstofflieferanten nur gemietet. Als Betriebskosten fallen die Mietkosten sowie die Kosten für den Reinsauerstoff nach effektivem Verbrauch an.

Nach der Ozonerzeugung wird das Ozon-Gasgemisch im Ozonierungsreaktor in den zu behandelnden Abwasserstrom eingetragen. Organische Spurenstoffe werden bei der Ozonung von Abwasser über das Ozon direkt und über sekundär gebildete Hydroxyl-Radikale (OH⁻-Radikale) oxidiert.

Mikroverunreinigungen werden durch die Oxidation in der Regel nicht vollständig abgebaut, sondern in sogenannte Transformationsprodukte umgewandelt. Diese sind in einer nachfolgenden bioaktiven Stufe meist besser biologisch abbaubar als ihre Vorläufersubstanzen. Dafür reicht ein biologisch intensiver Einschicht-Raumfilter (Sandfilter).

Dieses Verfahren wurde mehrfach pilotiert und ist auf der ARA Neugut in Dübendorf erfolgreich in Betrieb. Auf dem Klärwerk Werdhölzli in Zürich wird gerade eine vierstrassige Ozonung realisiert. Das Verfahrensprinzip der Ozonung mit Sandfiltration ist in Abbildung 13 dargestellt:

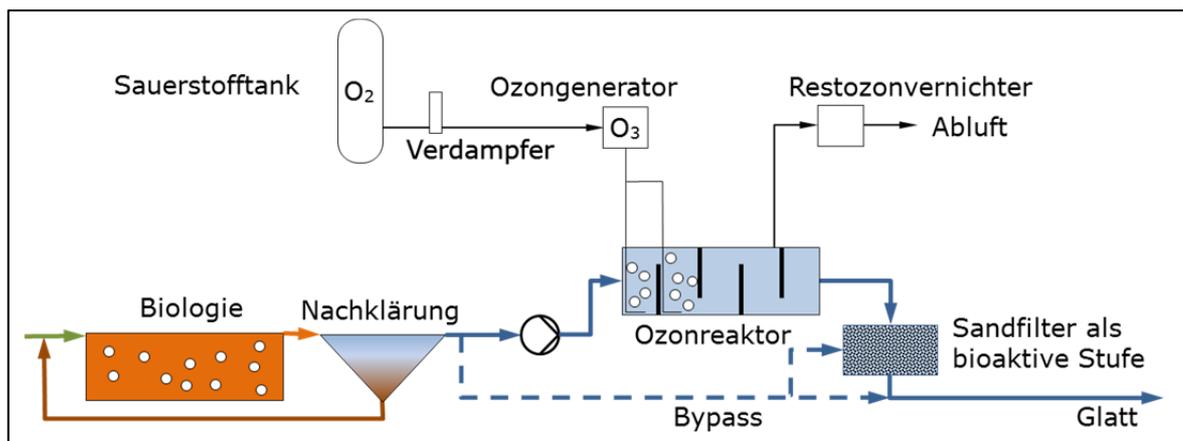


Abbildung 13: Fließschema Ozonung mit Sandfiltration

Dimensionierung: Das Reaktorvolumen wird so dimensioniert, dass die Mindestaufenthaltszeit im Ozonierungsreaktor bei Regenwetter bei 15 min liegt. Das Volumen des Ozonierungsreaktor wird mit diesen Annahmen zu 350 m³ berechnet. Mit einer minimalen Tiefe von 4 m resultiert eine Netto-Reaktorfläche von 88 m² und einen Brutto-Flächenbedarf von 140 m².

Die Filterfläche der Sandfiltration wird über die Filtergeschwindigkeit bestimmt (<15 m/h). Zudem wird die resultierende Aufenthaltszeit (Leerbettkontaktzeit) für den biologischen Abbau berücksichtigt. Gemäss EAWAG liegt die empfohlene Aufenthaltszeit bei Q_{mittel} bei rund 20 bis 30 min. Mit der bestehenden Sandfiltration ergibt sich bei heutigem Q_{mittel} eine hydraulische Aufenthaltszeit von 26 min. Das heisst, der bestehende Zweischicht-Sandfilter ist genügend gross, um als biologisch aktive Stufe einer Ozonung nachgeschaltet zu werden.

Einbindung in die Anlage: Eine Ozonung würde auf der ARA Furt zwischen bestehender Nachklärung und bestehender Sandfiltration installiert. Im Prinzip lässt sich das Verfahren dazwischen schalten, ohne dass das Abwasser nochmals gepumpt werden muss. Dafür muss der Ozonreaktor etwa gleich tief in den Grund zu liegen kommen wie die Sandfiltration. Ob dies mit der bestehenden Infrastruktur machbar ist, muss in der weiteren Projektierung geprüft werden, Für diese Studie wird ein Zwischenpumpwerk eingerechnet.

Die Ozonung hat weder einen Einfluss auf das biologische Verfahren noch auf die bestehende Nachklärung. Der grösste Vorteil dieses Verfahrens liegt also darin, dass die Variantenwahl für die biologische Stufe völlig unabhängig erfolgen kann. Umgekehrt wirkt sich die Reinigungsleistung der biologischen Stufe auf die Ozonung folgendermassen aus: Ozon reagiert nicht nur mit den Mikroverunreinigungen, sondern auch mit der organischen Hintergrundmatrix (DOC) und gewissen anorganischen Abwasserinhaltsstoffen (z. B. Nitrit). Um den Ozonbedarf möglichst gering zu halten, wird die Ozonung daher nach einer weitgehenden biologischen Reinigung (ganzjährige Nitrifikation) eingesetzt. Je tiefer die Belastung an DOC und Nitrit im Zulauf zur Ozonung ist, desto wirtschaftlicher kann das Ozon gezielt zur Elimination von Mikroverunreinigungen eingesetzt werden.

Eine Nachbehandlung mit einer biologisch aktiven Stufe nach der Ozonung ist zwingend empfohlen, um die in der Ozonung entstandenen biologisch abbaubaren organischen Verbindungen aus dem Abwasser effektiv entfernen zu können. Auf der ARA Furt würde der bereits bestehende Zweischicht-Sandfilter diese Funktion übernehmen. Die Filtration wird dadurch kaum zusätzlich belastet. Der Schlammfall durch den zusätzlich abbaubaren DOC ist vernachlässigbar gering. Es entstehen somit keine wesentlichen zusätzlichen Schlammentsorgungskosten.

Die Ozonung verlangt nach einer Lüftungs- und Klimatechnik zur Kühlung der Ozongeneratoren und Behandlung der Abluft. Da Ozon korrosiv wirkt, werden hohe Ansprüche an die Materialien gestellt. Zusätzliche Anlageteile sind zu betreiben, zu warten und zu reinigen. Das Verfahren der Ozonung führt zu spezifischen Herausforderungen an die Sicherheit: Ozon ist ein Reizgas und Flüssigsauerstoff ist ein stark brandförderndes Medium. Die Sicherheitsanforderungen für eine Ozonung sind eher höher als bei einem PAK-Verfahren, aber bei entsprechender Schulung gut handhabbar.

Layout: Das Verfahren der Ozonung lässt sich auf der ARA Furt mit gewissen Anpassungen umsetzen. Der Platzbedarf für eine Ozonung ist leicht grösser als für eine PAK-Dosierung auf den Sandfilter und klar grösser als für eine PAK-Direktdosierung in die Biologie.

Um genügend Platz für die Stufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen zu schaffen, wird empfohlen, den Gasometer zu verschieben. Für den Flüssigsauerstoff muss ausserhalb des Betriebsgebäudes noch Platz und LKW-Zufahrt für die Sauerstoff-Versorgungsanlage vorgesehen werden. Dabei müssen die Mindestabstände berücksichtigt werden. Wie das Verfahren der Ozonung in die Anlage eingebettet werden kann, zeigt Abbildung 14:

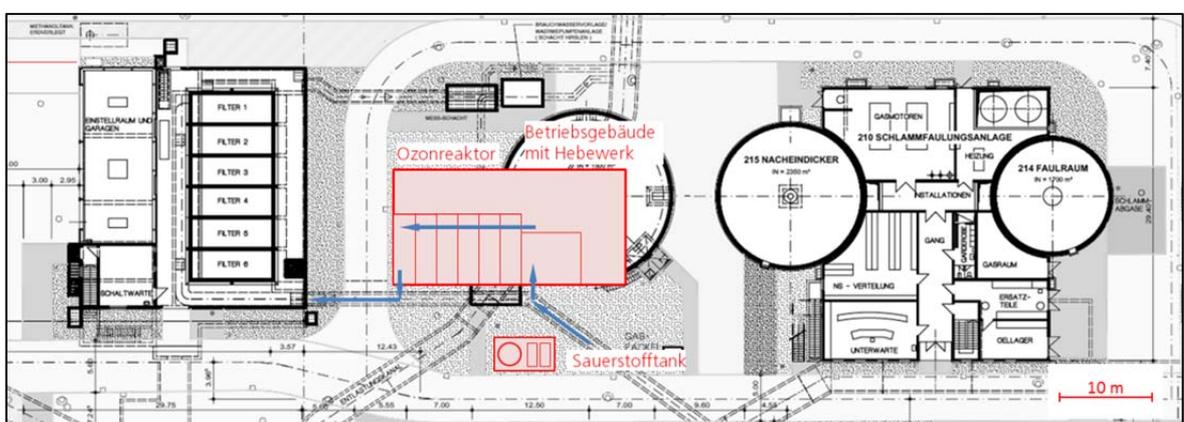


Abbildung 14: Planskizze Layout Ozonung mit Sandfiltration

7.4.2 Variante 2 - PAK-Dosierung auf den Sandfilter

Verfahrensbeschreibung: Bei diesem Verfahren wird die Pulveraktivkohle nach bestehender Nachklärung direkt in den Flockungsraum der Sandfiltration dosiert. Für den PAK-Rückhalt ist eine Flockungsfiltration notwendig, wie am der ARA Furt bereits bestehend. Die Pulveraktivkohle und Flockungshilfsmittel (sowie eventuell Fällmittel) werden in einen Kontaktreaktor (Flockungsraum) vor den Filterzellen dosiert. Der Kontaktreaktor (Flockungsraum) ist im Vergleich zu konventionellen PAK-Verfahren klein und die zusätzliche Sedimentation nach einem Adsorptionsreaktor entfällt.

Durch Rückführung der Kohle in die biologische Stufe lässt sich die Adsorptionskapazität der PAK besser ausnutzen. Durch das Gegenstromprinzip wird die Kohle in der Biologie einem höherem Konzentrationsniveau bezüglich Spurenstoffe ausgesetzt, so dass eine weitere Beladung erfolgen kann. Zudem wird ein Teil des in der Nachbehandlung konkurrierenden DOC in der Biologie entfernt.

Das Verfahren der PAK-Dosierung in den Zulauf zur Sandfiltration wurde in der Schweiz 2010 in einem grosstechnischen Versuch auf der Kläranlage Kloten/Opfikon pilotiert [24]. Auf der ARA Schönau in Cham wird dieses Verfahren ab 2016 realisiert. Das Verfahrensprinzip ist in Abbildung 15 dargestellt:

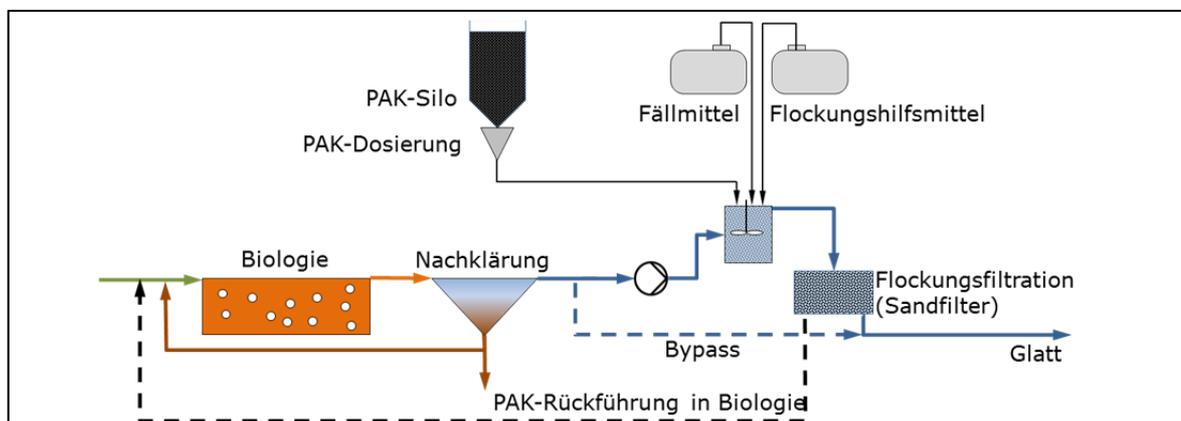


Abbildung 15: Fließschema PAK-Dosierung auf den Sandfilter

Dimensionierung: Der Flockungsreaktor wird so dimensioniert, dass bei mittlerer Abwassermenge eine Aufenthaltszeit von 15 - 30 min resultiert [24]. Für eine Aufenthaltszeit von 30 min bei heutigem Q_{mittel} ergibt sich bei 4 m Beckentiefe eine Fläche von max. 50 m² und einen Brutto-Flächenbedarf von 70 m² für den Flockungsreaktor.

Die bestehende Sandfiltration muss genügend Kapazität haben, um die zusätzliche Belastung durch PAK zu bewältigen. Dies sollte mit der bestehenden Sandfiltration möglich sein.

Einbindung in die Anlage: Der Flockungsreaktor würde auf der ARA Furt zwischen Nachklärung und Sandfiltration installiert. Im Prinzip lässt sich das Verfahren dazwischen schalten, ohne dass das Abwasser nochmals gepumpt werden muss. Ob dies von der Höhenlage her machbar bzw. zulässig ist, muss in der weiteren Projektierung geprüft werden. Für diese Studie wird ein Pumpwerk eingerechnet.

Heute wird Fällmittel zur Phosphorelimination direkt dem Filter-Verteilkanal zugegeben. Es ist prüfenswert, ob sich der bestehende Filter-Verteilkanal auch zur Zugabe von Pulveraktivkohle nutzen liesse. Bis zum Zulauf der ersten Filterzelle beinhaltet der Verteilkanal ein Volumen von nur ca. 18 m³. Da die resultierende hydraulische Aufenthaltszeit für einen PAK-Flockungsreaktor zu knapp wäre, wird in dieser Studie davon ausgegangen, dass ein separater Flockungsreaktor gebaut werden muss. Allenfalls ist es möglich, die nötige Aufenthaltszeit durch eine Erhöhung des Filterüberstands zu schaffen.

Die Elimination der MV findet auf dem Sandfilter statt. Die im Sandfilter zurückgehaltene PAK adsorbiert die Spurenstoffe aus dem vorbeifliessenden Abwasser. Die hohe Beladung des Filters mit Feststoffen resultiert in einer zunehmenden Erhöhung des Filtrationswiderstandes, so dass der Filter in bestimmten Intervallen rückgespült werden muss. Wegen der PAK-Dosierung muss der Sandfilter gegenüber konventionellem Betrieb häufiger rückgespült werden.

Zentral bei diesem Verfahren ist ein effizienter Rückhalt der PAK durch die Filtration. Wichtig ist die Flockenstruktur: Sind die Flocken zu gross, können sie nicht in den Filter eindringen und es entsteht eine Deckschicht, welche zu einem raschen Druckverlust und damit zu kurzen Rückspülintervallen führt. Sind die Flocken zu klein, werden sie im Filter nicht zurückgehalten und gelangen ins Gewässer. Dadurch würde der Vorfluter mit PAK belastet und zudem die effektive Eliminationsleistung durch den PAK-Schlupf vermindert. Die Filtration wird durch die PAK-Dosierung stark zusätzlich belastet. Die Leistung der biologischen Stufe, der Nachklärung und des Filters sind darum besonders relevant. Vor allem bei ungenügender Nachklärung stossen bestehende Filter unter Umständen an die Belastungsgrenze. Da sich PAK-Flocken in der Filtration teilweise anders verhalten als normaler Abtrieb aus der Nachklärung, ist eine Prognose der Filtrationsleistung schwierig.

Die Aufenthaltsdauer der PAK ist abhängig vom Rückspülintervall der Filtrationseinrichtung. Die mittlere Verweilzeit der PAK im Filter entspricht der Hälfte des zeitlichen Rückspülintervalls und übersteigt daher kaum 24 h. Mit der Einleitung des Spülwassers in die Biologie zur besseren Ausnutzung der PAK wird die Aufenthaltsdauer der PAK im Gesamtsystem um das des Biologieschlammes erhöht.

Bei den PAK-Verfahren ist es sinnvoll, aber nicht zwingend, die PAK zur vollständigen Beladung in die Biologie zu führen. Dadurch nimmt die inerte Schlammmenge zu. Um das für die Nitrifikation notwendige Schlammalter zu halten, muss daher die gesamte Schlammmenge erhöht werden. Um die Nachklärung nicht zu überlasten, müsste unter Umständen zusätzliche Nachklärfläche gebaut werden.

Die Überschussschleife erhöht den Schlammanfall in die Faulung, was die Aufenthaltszeit in den Faulräumen beeinflusst. Bei üblicher Entsorgung über Voreindickung, Faulung und Schlammwässerung müsste entweder die Eindickung verbessert oder das Faulraumvolumen vergrössert werden, um die Aufenthaltszeit in der Faulung zu halten. Die zu entsorgende Schlammmenge erhöht sich.

Die Betriebs- und Hilfsmittel PAK, Fällmittel, Flockungshilfsmittel müssen umgeschlagen, gelagert und dosiert werden. Zusätzliche Anlagenteile sind zu betreiben, zu warten und zu reinigen. PAK führt leicht zu gut sichtbaren Verschmutzungen. Oberflächenmaterialien und Beschichtungen im Umkreis des Silos und der Dosierung sollten entsprechend gewählt werden. In Leitungen, Pumpen und Analyseeinrichtungen kann PAK zu Korrosion, Abrasion oder Ablagerungen führen. Auch eine Beeinflussung der Analytik ist nicht ausgeschlossen. PAK-Verfahren führen zu spezifische Herausforderungen an die Sicherheit: Beim Umgang mit PAK müssen Glimmbrände und Staubexplosionen verhindert werden.

Layout: Wie das Verfahren in die Anlage eingebettet werden könnte, zeigt Abbildung 16:

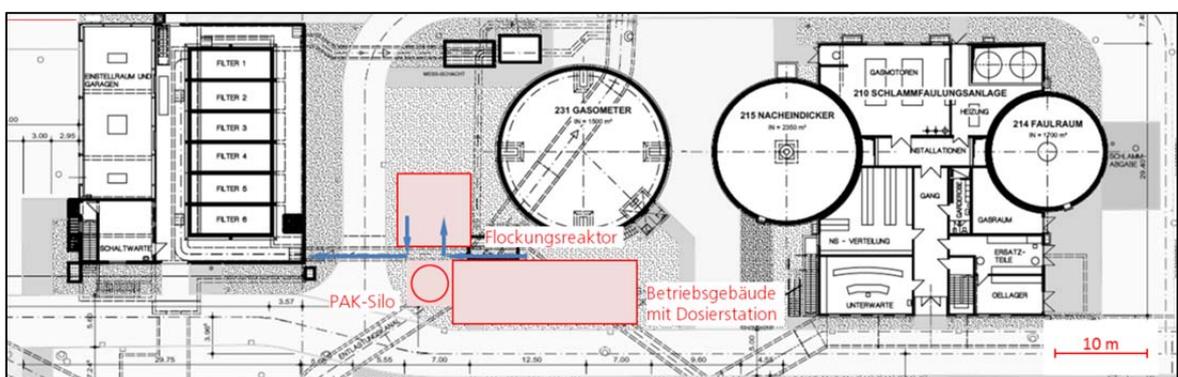


Abbildung 16: Planskizze Layout PAK-Dosierung auf den Sandfilter

7.4.3 Variante 3 - PAK-Direktdosierung in die Biologie

Verfahrensbeschreibung: Bei diesem Verfahren wird die Pulveraktivkohle direkt in die Biologie dosiert. Dieses Verfahren bildet keine nachgeschaltete, sondern eine simultane MV-Stufe.

Die mit dem Belebtschlamm vermischte Aktivkohle setzt sich in der Nachklärung ab und wird mit dem Rücklaufschlamm wieder in die Biologie zurückgeführt. Die beladene Aktivkohle wird mit dem Überschussschlamm der Biologie aus dem System abgezogen. Als Sicherheitsstufe zur Verhinderung eines Abtriebs von Aktivkohle- und Belebtschlamm ist nach der biologischen Stufe mit Aktivkohle eine nachgeschaltete Filtration erforderlich. Diese Aufgabe übernimmt die bestehende Sandfiltration.

Durch die Dosierung in die biologische Stufe muss für dieselbe Eliminationsleistung gegenüber nachgeschalteten PAK-Verfahren mehr PAK dosiert werden. Dieses Verfahren zeichnet sich also durch sehr tiefe Investitionskosten, aber hohe Betriebskosten aus.

Während es bei den nachgeschalteten PAK-Verfahren sinnvoll ist, die PAK zur vollständigen Beladung in die Biologie zu führen, ist dies bei der Direktdosierung von PAK in die Biologie sowieso der Fall. Dadurch nimmt jedoch die inerte Schlammmenge zu. Um das für die Nitrifikation notwendige Schlammalter zu halten muss daher die gesamte Schlammmenge erhöht werden.

Die Hauptbestandteile einer Pulveraktivkohle-Dosieranlage sind Pulveraktivkohle-Lagerung, Dosiereinheit, Einspülsystem und Steuerung. Die Pulveraktivkohle kann in einem Silo oder in Big Bags gelagert werden. Um den Betriebsaufwand gering zu halten, wird eine Bevorratung in einem Silo empfohlen. Die Dosierung erfolgt entweder über die Zugabe einer konzentrierten PAK-Suspension oder durch Einmischen in einen Wasserstrahl.

Das Verfahren der PAK-Direktdosierung wurde 2012-2014 auf der ARA Flos in Wetzikon erstmals in der Schweiz grosstechnisch pilotiert [25]. Das Verfahrensprinzip ist in Abbildung 17 dargestellt.

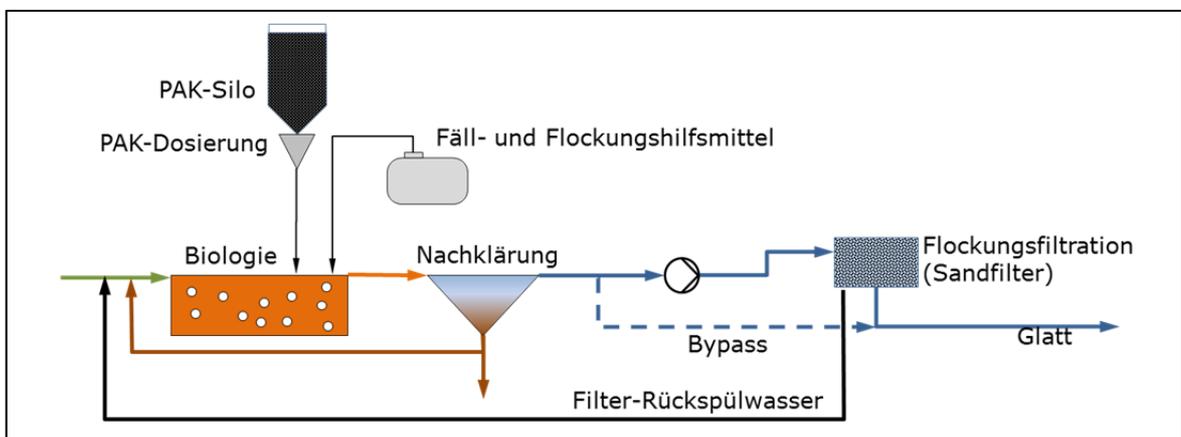


Abbildung 17: Fließschema PAK-Direktdosierung in die Biologie

Dimensionierung: Es angenommen, dass eine mittlere Dosierung von rund $20 \text{ mg}_{\text{PAK}}/\text{l}$ genügt, um das Eliminationsziel zu erreichen. Dieser Wert muss durch Laborversuche zur Bestimmung der geeigneten Aktivkohle gestützt werden. Das Verfahren benötigt keine zusätzlichen Reaktionsbehälter oder Sedimentationsbecken.

Einbindung in die Anlage: Dieses Verfahren hat hydraulisch am wenigsten Konsequenzen. Der Platz für einen zusätzlichen Kontaktreaktor (Flockungsraum) und die zusätzliche Sedimentation nach einem Adsorptionsreaktor entfällt. Grosse Vorteile dieses Verfahrens sind die geringen notwendigen Infrastrukturanpassungen und der geringe Platzbedarf.

Durch die Direktdosierung von PAK in die Biologie nimmt die inerte Schlammmenge zu. Um das für die Nitrifikation notwendige Schlammalter zu halten, muss daher die gesamte Schlammmenge erhöht werden. Um die Nachklärbecken nicht zu überlasten, muss unter Umständen zusätzliche Absetzfläche gebaut werden. Die PAK verbessert aber tendenziell die Absetzeigenschaften bzw. wirkt sich positiv auf einen schlechten Schlammvolumenindex aus. Dadurch könnte die biologische Stufe mit höheren Feststoffkonzentrationen betrieben werden.

Die PAK-Dosierung in die Biologie führt zu einer grösseren Schlammmenge in der biologischen Stufe und in der gesamten Schlammbehandlung. Je nach benötigter PAK-Dosierung fallen etwa 10-20% mehr Schlamm an. Es muss genügend Kapazität vorhanden sein, um diese zusätzliche Schlammmenge aufzunehmen und keine Reduktion der Reinigungsleistung des Systems zu erzeugen. Bei der Planung der MV-Stufe ist die zusätzliche Schlammmenge zu berücksichtigen.

Die Überschussschle erhöht den Schlammfall in die Faulung, was die Aufenthaltszeit in den Faulräumen beeinflusst. Bei üblicher Entsorgung über Voreindickung, Faulung und Schlammwässerung müsste entweder die Eindickung verbessert oder das Faulraumvolumen vergrössert werden, um die Aufenthaltszeit in der Faulung zu halten. Die zu entsorgende Schlammmenge erhöht sich.

Die Betriebs- und Hilfsmittel PAK, Fällmittel, Flockungshilfsmittel müssen umgeschlagen, gelagert und dosiert werden. Zusätzliche Anlagenteile sind zu betreiben, zu warten und zu reinigen. PAK führt leicht zu gut sichtbaren Verschmutzungen. Oberflächenmaterialien und Beschichtungen im Umkreis des Silos und der Dosierung sollten entsprechend gewählt werden. In Leitungen, Pumpen und Analyseinrichtungen kann PAK zu Korrosion, Abrasion oder Ablagerungen führen. Auch eine Beeinflussung der Analytik ist nicht ausgeschlossen. PAK-Verfahren führen zu spezifische Herausforderungen an die Sicherheit: Beim Umgang mit PAK müssen Glimmbrände und Staubexplosionen verhindert werden.

Layout: Für dieses Verfahren müssen keine zusätzlichen Becken gebaut werden. Das PAK-Silo und die PAK-Dosieranlage müssen an einem gut zugänglichen Platz installiert werden. Für die Anlieferung der Pulveraktivkohle muss die Zufahrt zum PAK-Silo gewährleistet sein. Die angemischte PAK müsste in einer Rohrleitung über die Strasse zu den Dosierstellen bei der Biologie geführt werden. Auch ein Standort direkt über der Biologie (an der Dosierstelle) ist prüfenswert, falls die Fundamente der bestehenden Becken die zusätzliche Last aufnehmen können. Abbildung 18 zeigt eine mögliche Anordnung:

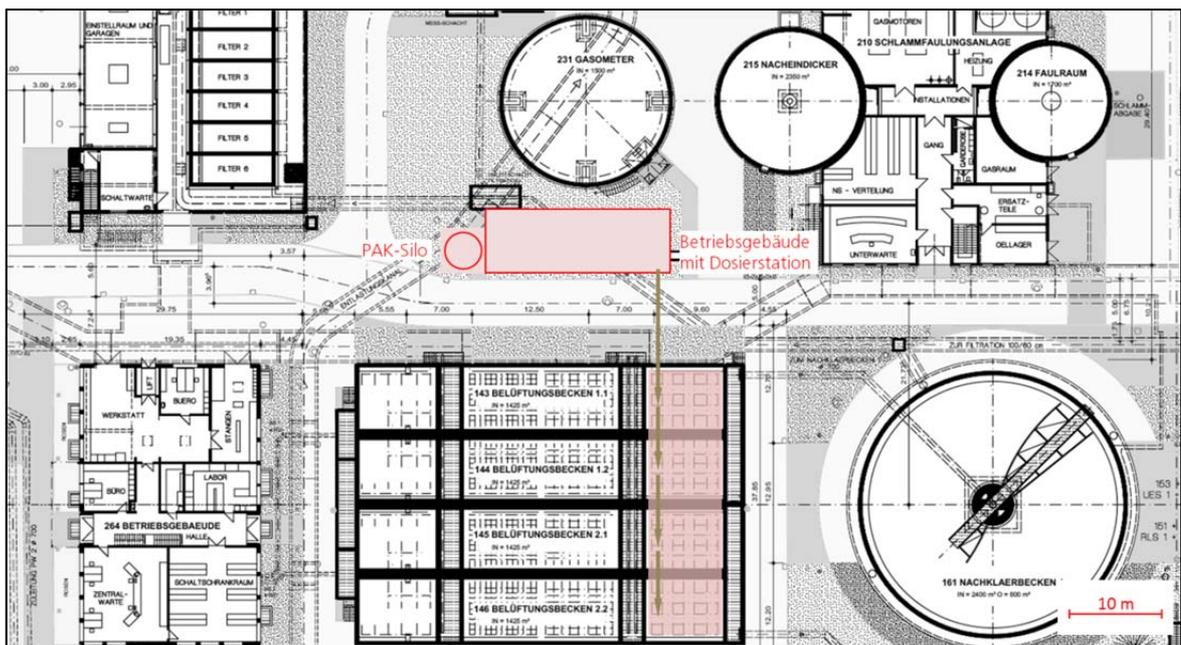


Abbildung 18: Planskizze Layout PAK-Direktdosierung in die Biologie

7.4.4 Variante 4 - Kombination Ozonung mit GAK-Filtration

Verfahrensbeschreibung: Die Kombination Ozonung mit Granulierter Aktivkohle (GAK) verbindet oxidative und adsorptive Verfahren zur Elimination von Mikroverunreinigungen. Das Verfahren der Ozonung funktioniert wie in Kapitel 7.4.1 beschrieben. Anders als dort würde aber keine Sandfiltration folgen, sondern eine Filtration mit biologisch aktivierter granulierter Aktivkohle (GAK-Filtration). Das Filtermedium des bestehenden Sandfilters würde mit granulierter Aktivkohle ausgetauscht.

In dieser Verfahrenskombination würde der Filter als biologisch aktiver GAK-Filter betrieben. Das heisst, auch nach dem Durchbruch der Adsorptionskapazität für Mikroverunreinigungen müsste die Aktivkohle nicht ersetzt bzw. regeneriert werden. Der vorherrschende Abbaumechanismus ist darum die biologische Aktivität. Man spricht in diesem Zusammenhang deshalb auch von biologisch aktiver Aktivkohlefiltration (BAK-Filtration). Die Standzeiten eines GAK-Filters nach einer Ozonung müssten deutlich länger sein als beim reinen GAK-Filter. Ersatz bzw. Regeneration der Aktivkohle soll in langen Intervallen (z.B. alle 10 Jahre) erfolgen.

Die Adsorption und die allenfalls erhöhte biologischen Aktivität auf dem Aktivkohlefilter gegenüber dem Sandfilter soll für die gleiche Reinigungsleistung eine reduzierte Ozonung ermöglichen. Dadurch liessen sich in der Ozonung Betriebskosten sparen. Oder es liesse sich die Reinigungsleistung steigern, da zusätzliche Stoffe und Reaktionsprodukte adsorbiert oder besser biologisch abgebaut würden.

Bisher gibt es noch sehr wenig Erfahrung aus Praxis und Wissenschaft mit GAK-Filtern, insbesondere kaum zu Verfahrenskombination Ozonung und biologisch aktiver GAK-Filtration. Die Literatur erlaubt nicht, die Einsparung von Ozon zu quantifizieren. Zurzeit wird dieses Verfahren auf der ARA Furt in Bülach im Grossversuch pilotiert.

Das Verfahrensprinzip ist in Abbildung 19 dargestellt.

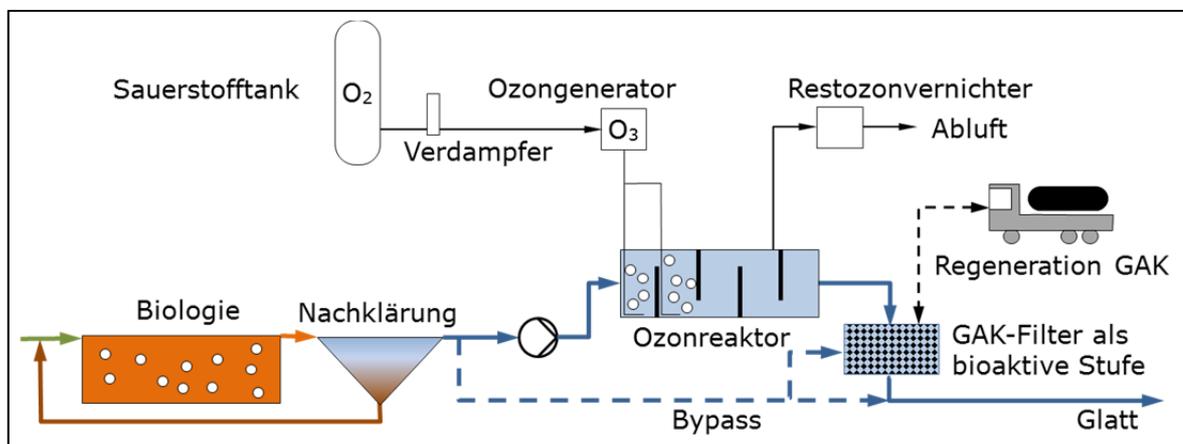


Abbildung 19: Fließschema Ozonung mit GAK-Filtration

Dimensionierung: Die Dimensionierung der Ozonung ist gleich wie die Ozonung in Kombination mit Sandfiltration (siehe Kapitel 7.4.1). Die Ozonanlage kann nicht kleiner dimensioniert werden, da nach wie vor die gesamte Abwassermenge mit Ozon behandelt werden können soll. Dies ist notwendig, weil auch bei erschöpfter Adsorptionskapazität der Aktivkohle der Filter als biologisch aktiver Aktivkohlefilter weiterbetrieben werden soll.

Die Filtrationsgeschwindigkeit eines biologisch aktiven GAK-Filters sollte idealerweise nur rund halb so hoch sein wie bei einem Sandfilter, also rund 5 bis 10 m/h. Bei der bestehenden Sandfiltration beträgt die maximale Filtergeschwindigkeit über 12 m/h.

Erfahrungen aus der Trinkwasseraufbereitung gehen von einer Leerbettkontaktzeit (Empty Bed Contact Time EBCT) von 2 bis 3 min für gut assimilierbare DOC aus; in der Praxis von 15 min für Anwendungen in der Trinkwasseraufbereitung. In der Literatur findet sich keine Empfehlung für Anwendungen zur Elimination von Mikroverunreinigungen. Versuche in Australien zeigten aber, dass eine Leerbettkontaktzeit in der Grössenordnung von 15 bis 20 min sinnvoll ist, abhängig von der Ozondosis.

Mit dem bestehenden Filtervolumen ergibt sich eine Leerbettkontaktzeit von nur rund 7 min. In den bestehenden Filterzellen könnte das Filterbett allenfalls noch leicht erhöht werden. Selbst wenn die Filterbetthöhe von 1.5 m auf 2.0 m erhöht würde, ergäbe sich noch eine Leerbettkontaktzeit von unter 10 min. Das Volumen der bestehenden Sandfiltration würde für die Umrüstung zu einer reinen GAK-Filtration nicht ausreichen. Die Fläche für einen GAK-Filter sollte idealerweise fast verdoppelt werden. Da in der Verfahrenskombination mit einer Ozonung die Filtration in erster Linie die biologische Aktivität gewährleisten muss, ist eine Umrüstung auch bei knappem Volumen bezüglich Adsorptionszeit zumindest denkbar.

Einbindung in die Anlage: Das Verfahren der Ozonung würde wie in Kapitel 7.4.1 beschrieben nach der bestehenden Nachklärung installiert. Der Sand aller nachfolgenden Filterzellen würde aber mit Granulierter Aktivkohle ersetzt. Um den Filterwiderstand gegenüber dem Filtermedium Sand nicht massiv zu erhöhen, käme wohl höchstens eine relativ grobe granulierten Aktivkohle in Frage.

Die Filtration darf nur mit einer geringen GUS-Belastung beaufschlagt werden. Biologie und Nachklärbecken müssen also optimal betrieben werden. Eine GAK-Filtration muss so ausgelegt werden, dass die GUS-Elimination gegenüber der Sandfiltration mindestens gleich bleibt.

Ersatz bzw. Regeneration der Aktivkohle soll in langen Intervallen erfolgen (z.B. alle 10 Jahre). Trotzdem fallen gegenüber einem Sandfilter dafür Mehraufwendungen an. Die Rückspülung von GAK-Filtern muss schonender als bei Sandfiltern erfolgen, damit es nicht zu übermässiger Abrasion von Aktivkohle kommt. Der Abrieb würde sich entweder im Ablauf finden oder müsste mit dem ÜSS entsorgt und dann ersetzt werden. Erste Erfahrungen auf der ARA Bülach zeigen, dass dies kein Problem darstellt. Der Feststoffrückhalt ist bisher gleich gut wie im Sandfilter und die GUS-Reinigungsleistung kann bisher problemlos aufrechterhalten werden.

Die Biologie wird infolge des geänderten Filtermediums nur unwesentlich beeinflusst. Der Abrieb von Aktivkohle kann sich im anfallenden Schlammwasser bei der Filtrerrückspülung finden und würde zu leicht erhöhtem ÜSS führen.

Zusätzliche Anlageteile sind zu betreiben, zu warten und zu reinigen. Das Verfahren der Ozonung führt zu spezifischen Herausforderungen an die Sicherheit: Ozon ist ein Reizgas und Flüssigsauerstoff ist ein stark brandförderndes Medium. Die Sicherheitsanforderungen für eine Ozonung sind zwar höher als bei einem PAK-Verfahren, aber erfahrungsgemäss sind diese bei entsprechender Schulung gut handhabbar.

Die Ozonung verlangt nach einer Lüftungs- und Klimatechnik zur Kühlung der Ozongeneratoren und Behandlung der Abluft. Da Ozon korrosiv wirkt, werden hohe Ansprüche an die Materialien gestellt.

Zum sporadischen Ersatz bzw. zur Regeneration der Aktivkohle muss die GAK umgeschlagen, gelagert und dosiert werden. Ebenfalls ersetzt werden muss gegebenenfalls Abrieb.

Layout: Würde sich dieses Verfahren mit bestehenden Filterflächen und Filtervolumina eignen, wäre der Platzbedarf gleich wie für die Kombination Ozonung mit Sandfilter. Für die Umrüstung der Sandfilter zu GAK-Filtern wäre dann keine zusätzliche Fläche notwendig, aber Installationen / Umschlagplätze zum Ersatz /zur Regeneration der granulierten Aktivkohle.

Wie das Verfahren der Ozonung mit GAK-Filtration in die Anlage eingebettet wird, zeigt Abbildung 14 in Kapitel 7.4.1. Einziger Unterschied ist, dass das Filtermedium Sand durch GAK ersetzt würde.

7.5 Kostenschätzung der Varianten zur Elimination von Mikroverunreinigungen

Es handelt sich um Kostenschätzungen auf Stufe Variantenstudie. Diese groben Kostenschätzungen dienen dazu die Wirtschaftlichkeit der Varianten miteinander zu vergleichen. Die Kosten dürfen nicht verwendet werden, um einen Projektkredit für die Umsetzung zu beantragen. Dafür muss zuerst ein Vor- und Bauprojekt erstellt werden.

Kostenstand	März 2016
Kostengenauigkeit	± 30 %
Mehrwertsteuer	exklusive Mehrwertsteuer

Die **Investitionskosten** wurden auf der Basis von Kosten aktueller vergleichbarer Projekte der Hunziker Betatech AG ermittelt. Die Investitionskosten beinhalten jeweils die MV-Stufe ohne nachgeschalteter Filtration (bereits bestehend). Wo notwendig, wurden die Kosten für ein Pumpwerk eingerechnet. Die Kosten wurden mit Kostenkurven auf Plausibilität geprüft [27]. Es ist zu beachten, dass diese Kostenwerte eine Schätzung darstellen und dass die Entwicklung in Technologie und Markt in Zukunft Veränderungen bewirken können / werden.

Der Bund gewährt Abgeltungen von 75% der anfallenden Erstinvestitionskosten von technischen Verfahren zur Spurenstoffelimination. Die Abgeltungen werden über einen Fonds finanziert. Der Fonds speist sich durch eine Abwasserabgabe von maximal 9 Franken pro angeschlossenen Einwohner und Jahr, welche schweizweit bei allen ARA erhoben wird. Die Abgabe wurde per 1. Januar 2016 eingeführt und entfällt spätestens am 31.12.2040. Nach der Inbetriebnahme einer neuen Eliminationsstufe wird der ARA-Betreiber von der jährlichen Abgabe befreit. Er muss aber die Betriebskosten und die Amortisation der Rest-Investition (nach Abzug der Subventionen) selber bezahlen.

Es werden sowohl die vollen Kosten als auch die Kosten unter Berücksichtigung der Abgeltungen von 75% der anfallenden Erstinvestitionskosten berechnet.

Die **Betriebskosten** wurden mit Hilfe von Erfahrungs- und Literaturwerten geschätzt. Die Betriebskosten werden vor allem von den Dosiermengen beeinflusst. Verbrauchsszenarien werden anhand von spezifischen Kennwerten und den heute vorliegenden Dimensionierungsgrundlagen hergeleitet. Die dargestellte Kostenschätzung basiert auf der Annahme einer guten Ablaufqualität der ARA (Ablauf NKB), gemäss ausgewerteten Betriebsdaten.

Die wichtigsten Positionen sind Betriebsmittel (Sauerstoff bzw. PAK) und Energiekosten (0.15 Fr./kWh). Der mittlere Betriebsmittelbedarf wird für den heutigen mittleren Abwasseranfall von 110 l/s ermittelt (Betriebsdaten 2015). Es wurde angenommen, dass Ozon aus von extern angeliefertem Flüssigsauerstoff (LOX) hergestellt wird. Es wurde mit einer mittleren Ozondosis von 5 g O₃/m³ gerechnet, und mit 15 g PAK/m³ für die Variante PAK auf Sandfilter sowie 20 g PAK/m³ für die Variante PAK-Direktdosierung in die Biologie. Zusatzkosten für zusätzlichen Personalaufwand, Analytik, Service-Verträge sowie Wartung und Unterhalt sind berücksichtigt.

Die **Kapitalkosten** werden als Annuität mit einem langfristigen Kapital-Zinssatz von 3% berechnet. Zur Ermittlung der Kapitalkosten wurden die folgenden Nutzungsdauern für die Abschreibung angenommen: Bau 30 Jahre, Elektromechanische Ausrüstung und HLKS 15 Jahre, EMSRL 10 Jahre.

Die **Jahreskosten** ergeben sich aus der Summe von Kapital- und Betriebskosten.

Tabelle 29 zeigt die vollen Investitionskosten. Bei den Werten in Tabelle 30 sind die 75% Subventionen an die Erstinvestitionskosten bereits abgezogen.

Tabelle 29: Kostenschätzung für die MV-Stufe, volle Investitionskosten, exkl. MwSt.

Kosten (Subvention nicht berücksichtigt)	Einheit	Variante 1: Ozonung mit Sandfiltration	Variante 2: PAK auf Sandfiltration	Variante 3: PAK direkt in Biologie	Variante 4: Kombi Ozon plus GAK-Filter
Investitionskosten	Mio. Fr.	4.5	3.2	2.3	5.6
Betriebskosten	Fr./a	220'000	380'000	440'000	200'000
Kapitalkosten (3% Zins)	Fr./a	300'000	220'000	170'000	380'000
Jahreskosten	Fr./a	520'000	600'000	610'000	580'000

Tabelle 30: Kostenschätzung für die MV-Stufe, Subvention berücksichtigt, exkl. MwSt.

Kosten (Subvention berücksichtigt)	Einheit	Variante 1: Ozonung mit Sandfiltration	Variante 2: PAK auf Sandfiltration	Variante 3: PAK direkt in Biologie	Variante 4: Kombi Ozon plus GAK-Filter
Investitionskosten	Mio. Fr.	1.13	0.80	0.56	1.56
Betriebskosten	Fr./a	220'000	380'000	440'000	200'000
Kapitalkosten (3% Zins)	Fr./a	70'000	50'000	40'000	110'000
Jahreskosten	Fr./a	290'000	430'000	480'000	310'000

Randbedingungen / Rolle der Abwasserinhaltsstoffe

Falls PAK in die Biologie rückgeführt wird, fallen infolge der dadurch erhöhten Schlammkonzentration unter Umständen höhere Energiekosten für die Belüftung an, welche in dieser Kostenschätzung nicht enthalten sind.

Bei Variante 3: PAK-Direktdosierung in die Biologie werden keine Erweiterungen von Biologie und Schlammbehandlungen berücksichtigt

Bei Variante 4: Kombination Ozonung mit GAK-Filtration wird zum aktuellen Zeitpunkt davon ausgegangen, dass die GAK eine Standzeit von > 10 a aufweist und dass der Filter nicht ausgebaut wird. Für das GAK-Filtermaterial werden keine Abgeltungen von 75% an die Investition berücksichtigt, da Kombiverfahren nur bei eindeutigem Zusatznutzen abgeltungsberechtigt sind.

Die dargestellte Auslegung und Kostenschätzung basieren auf der Annahme einer guten Ablaufqualität. Verschiedene Inhaltsstoffe haben einen bedeutenden Einfluss auf die Betriebskosten:

- DOC wird durch Ozon oxidiert und adsorbiert an die Aktivkohle. Eine erhöhte Ablaufkonzentration von DOC führt zu einem höheren Betriebsmittelverbrauch.
- Nitrit wird durch Ozon oxidiert. Dies verbessert zwar die Ablaufqualität, benötigt aber sehr viel Ozon (3.4 gO₃/gNO₂-N), was die Betriebskosten deutlich erhöht.
- Bei der Ozonung von bromidhaltigem Wasser entsteht krebserregendes Bromat. Obwohl es technische Minderungsmöglichkeiten gibt, ist in Fällen mit überhöhter Bromidkonzentration im Abwasser eher von einer Ozonung abzugehen.



7.6 Variantenvergleich

In Tabelle 31 werden die beschriebenen vier Varianten für die Stufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen beurteilt und ohne unterschiedliche Gewichtung bewertet:

Tabelle 31: Qualitativer Vergleich der Verfahrensvarianten (alle Kriterien gleich gewichtet)

Verfahren Kriterien	Variante 1: Ozonung mit Sandfiltration	Variante 2: PAK auf Sandfiltration	Variante 3: PAK direkt in Biologie	Variante 4: Kombi Ozon plus GAK-Filter
Implementierung in bestehendes Anlagenlayout	1 Freier Platz beschränkt	1 Freier Platz beschränkt	0 Biologie bereits knapp bemessen	0 verfügbares SF-Volumen zu knapp
Platzbedarf Reaktorfläche und Peripherie	1 Ozonungsreaktor	2 Flockungsreaktor	3 Sehr klein, kein zusätzl. Reaktor	0 Ozonungsreaktor, evtl. Ausbau Filter
Leistungsnachweis erbracht (Realisierung oder Pilotversuche)	3 Bewiesene Technologie	2 Pilotierung ARA Kloten/Opfikon, ARA Ergolz, Sissach	2 Pilotierung ARA Flos, Wetzikon	1 Standzeiten? zurzeit Pilotierung ARA Furt, Bülach
Beeinflussung der bestehenden Anlage (Biologie, Schlamm, Filter)	3 Keine Beeinflussung	1 Beeinflussung von SF und Biologie, mehr Schlamm	0 Grosse Beeinflussung der Biologie, mehr Schlamm	2 Umbau Sandfilter
Risiko kritischer Abbauprodukte	0 kein Rückhalt, nur Umwandlung	2 Rückhalt bzw. Entfernung der MV	2 Rückhalt bzw. Entfernung der MV	3 Komplementäre Mechanismen
Energieverbrauch auf ARA (ohne Primärenergie AK)	0 Strombedarf ARA stark erhöht	2 (graue Energie für PAK-Herstellung)	2 (graue Energie für PAK-Herstellung)	0 Strombedarf ARA f. Ozonung erhöht
Betriebsmittelbedarf	3 Sauerstoff	2 Pulveraktivkohle, FHM	1 viel Pulveraktivkohle, FHM	2 Sauerstoff, evtl. Regeneration GAK
Aufwand für Betrieb (inkl. Wartung & Unterhalt)	3 Betrieb weitgehend automatisch	1 Handling Betriebsmittel, Abrasion PAK	1 Handling Betriebsmittel, Abrasion PAK	1 Zwei neue Verfahren
Sicherheitstechn. Anforderungen	1 Ozon, Sauerstoff	1 PAK-Staub	1 PAK-Staub	1 Ozon, Sauerstoff
Prozessrisiko	3 unabhängig	1 Doppelnutzung Filtration	0 Doppelnutzung Biologie	2 Doppelnutzung Filtration
Kosten	3 Tiefe Betriebskosten	2 Tiefe Investitionskosten	1 Tiefe Investitions-, Hohe Betr.kosten	3 Tiefe Betriebskosten
Total	21	17	13	15

Punkte: 0-3 Punkte, je mehr Punkte, desto besser geeignet

Beurteilung:

Beim nicht unterschiedlich gewichteten Variantenvergleich schneidet das Verfahren der Ozonung mit Sandfiltration am besten ab. Dieses Verfahren beeinflusst die bestehende Anlage am wenigsten. Eine Ozonung vor der bestehenden Sandfiltration ist auch die wirtschaftlichste Variante. Die Jahreskosten der Ozonung sind deutlich tiefer als jene von Pulveraktivkohle-Verfahren. Vor allem durch die tiefen Betriebskosten hebt sich dieses Verfahren von Aktivkohleverfahren ab. Da die Investitionskosten zu 75% subventioniert werden, ist die Kostenverteilung zwischen Investitionskosten und Betriebskosten ein wichtiges Argument zugunsten der Ozonung.

Auch das Verfahren der PAK-Dosierung auf den Sandfilter punktet relativ hoch. Aufgrund der Jahreskosten ist diese Variante weniger wirtschaftlich als eine Ozonung. Die dominierenden Kosten fallen für die Betriebsmittel an. Die Kosten für die Betriebsmittel (benötigte Menge, Marktpreise) sowie für die Entsorgung des zusätzlichen Schlammes sind äusserst schwierig langfristig zu schätzen. Der Markt wird sich in Zukunft weiter entwickeln und die Erfahrung mit solchen Anlagen wird in der Schweiz in den nächsten Jahren rasch zunehmen. Darum deckt die Kostenbetrachtung und Dimensionierung die heutige Situation ab.

Das Verfahren Ozonung mit GAK-Filtration folgt an dritter Stelle. Negativ bewertet wird vor allem, dass das bestehende Filtervolumen für eine Adsorptionsstufe zu knapp wäre. Der Zusatznutzen einer vorwiegend biologisch betriebenen GAK-Filtration anstelle einer Sandfiltration ist zurzeit noch nicht genügend belegt, um diesen Umbau zu rechtfertigen. In Anbetracht des kommunal geprägten Abwassers auf der ARA Furt ist ein Kombiverfahren Ozon und GAK-Filtration nicht zwingend. Zur definitiven Beurteilung der GAK-Filtration müssen die Resultate der laufenden Versuche abgewartet werden.

Das Verfahren der PAK-Direktdosierung in die Biologie wird am schlechtesten bewertet. Falls PAK direkt in die Biologie dosiert wird, oder rückgeführt wird, müsste die bestehende Biologie mit Nachklärung ausgebaut werden, um das gleiche Schlammalter zu erreichen. Auch die Schlammfäulung würde zusätzlich belastet. Deshalb wird vom Verfahren der PAK-Direktdosierung in die Biologie abgeraten.

Ein gewichtiger Nachteil der PAK-Verfahren ist, dass bei Direktdosierung, aber auch bei der Rückführung der PAK in die Biologie, die inerte Schlammmenge in der Biologie zunimmt. Dies reduziert die Reserven in Biologie und Nachklärung.

Fazit:

Insgesamt wird die Ozonung besser als die Aktivkohle-Verfahren bewertet. Für die Stufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen empfehlen wir aus heutiger Sicht die Variante Ozonung mit bestehender Sandfiltration. Diese Empfehlung gilt unter dem Vorbehalt der grundsätzlichen Eignung der Ozonung. Die Behandelbarkeit des Abwassers mit Ozon muss bereits vor dem Verfahrenentscheid mittels Labortests geprüft werden. Die Bildung von unerwünschten Nebenprodukten infolge der Ozonung muss ausgeschlossen werden. Vor allem muss gewährleistet sein, dass es nicht aufgrund hoher Bromid-Konzentration im Zulauf zu übermässiger Bildung von Bromat kommt.

Falls Vorbehalte oder die Resultaten aus den Labortests gegen eine Ozonung sprechen, wird als Alternative das ebenfalls gut geeignete Verfahren der PAK-Dosierung auf den Sandfilter empfohlen. Bei PAK-Rückführung in die Biologie muss berücksichtigt werden, dass dadurch die Reserve der Biologie reduziert wird und deren Ausbau allenfalls dadurch früher in die Wege geleitet werden muss.

Ein definitiver Verfahrenentscheid soll erst nach Abschluss der Pilotversuche mit GAK gefällt werden.

8 Raumentwicklung

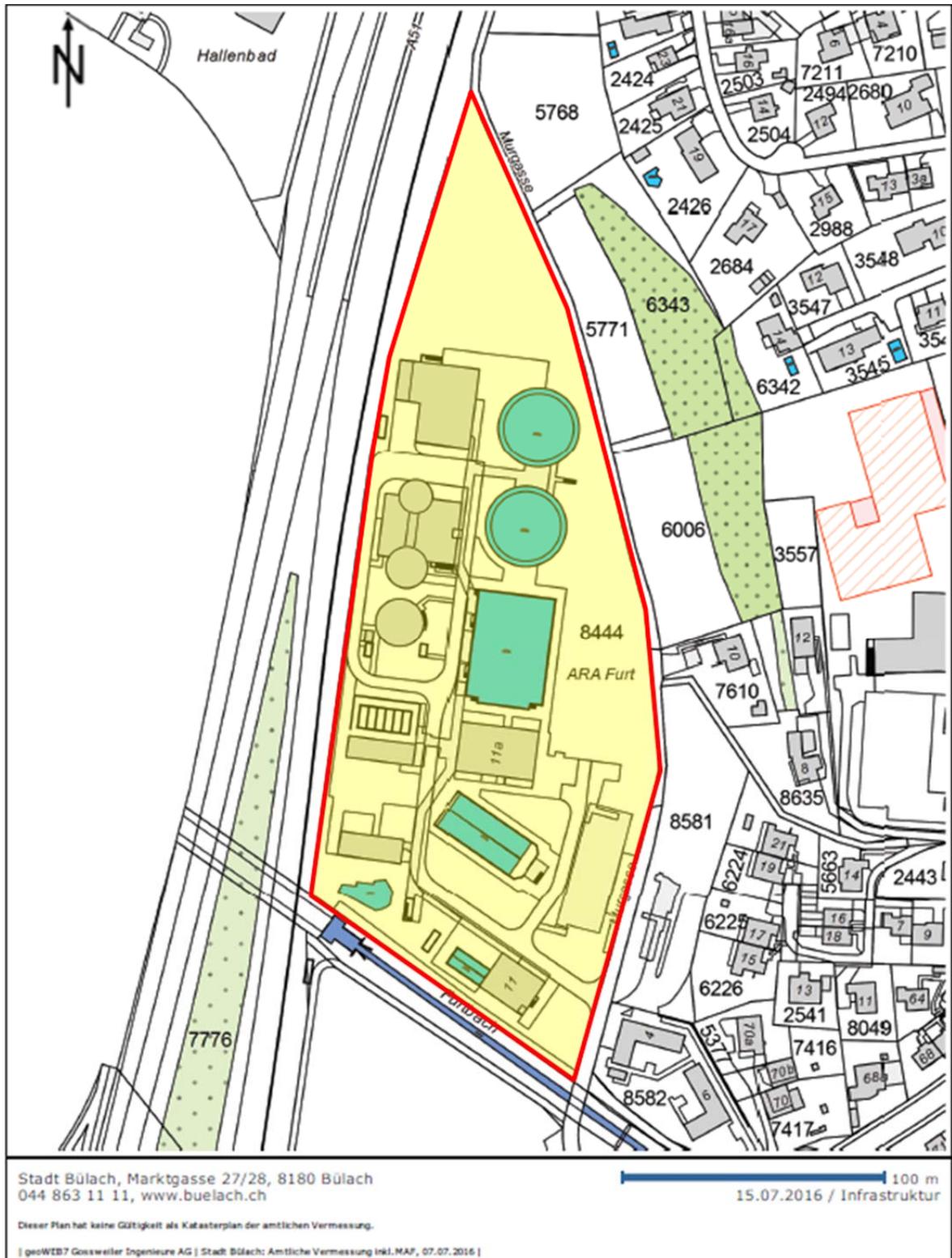


Abbildung 20: Kataster ARA Furt (Kat. Nr. 8444) [Stadt Bülach]

Die gesamte Parzelle Nr. 8444 (in Abbildung 20 gelb hinterlegt) ist Eigentum der Stadt Bülach. Es ist ratsam, frühzeitig zu prüfen, ob die umliegenden Grundstücke zur späteren Nutzung durch die ARA Furt gesichert werden sollen (z.B. Parzelle Nr. 8581 sowie Grundstücke in der Freihaltezone östlich der ARA gemäss Abbildung 21).

Wo keine Waldabstandslinien festgelegt sind, gilt im Kanton Zürich ein Waldabstand von 30 m. Dieser kann mit einer Ausnahmegewilligung reduziert werden. Wie Abbildung 22 zeigt, hat ein Waldabstand von 30 m Konsequenzen auf das ARA-Gelände. Dies ist bei einem Ausbau (3. NKB) zu berücksichtigen, bzw. die Bewilligungsfähigkeit eines Waldabstands von kleiner 30 m zu prüfen.

Entlang von Fließgewässern ist beidseitig ein Uferbereich in der Breite der Gerinnesohle zuzüglich 8 m, jedoch höchstens 20 m, von Bauten und Anlagen freizuhalten. Der Abstand zum Wasser ist selbst unter Berücksichtigung des maximalen Abstands von 20 m für das ARA-Gelände unkritisch.

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die vorgeschlagene Raumentwicklung auf der ARA Furt auf. Dabei wird zwischen mittelfristigem Platzbedarf im Betrachtungshorizont dieser Studie (bis 2030) und langfristigen Platzreserven (über diesen Zeithorizont hinaus) unterschieden.

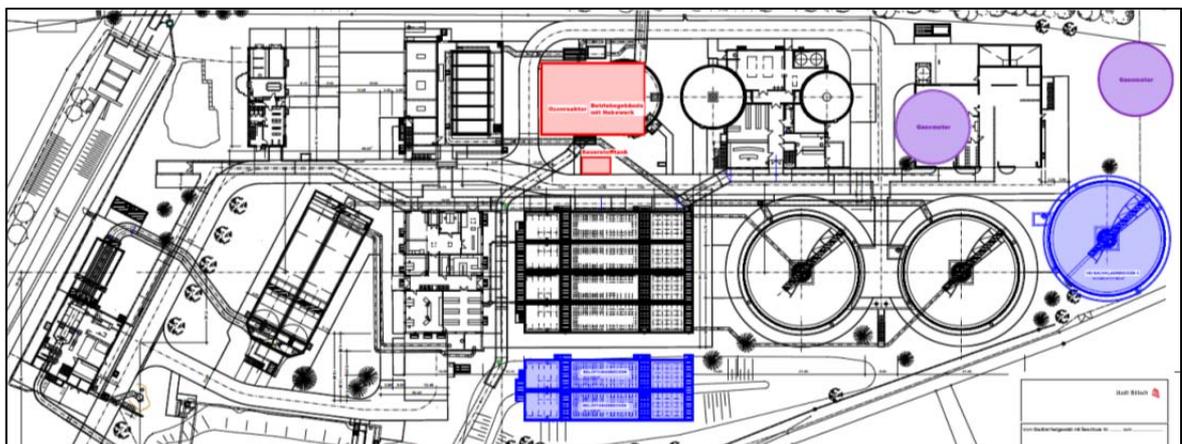


Abbildung 23: Mittelfristige Raumentwicklung auf der ARA Furt, Betrachtungshorizont dieser Studie (2030)

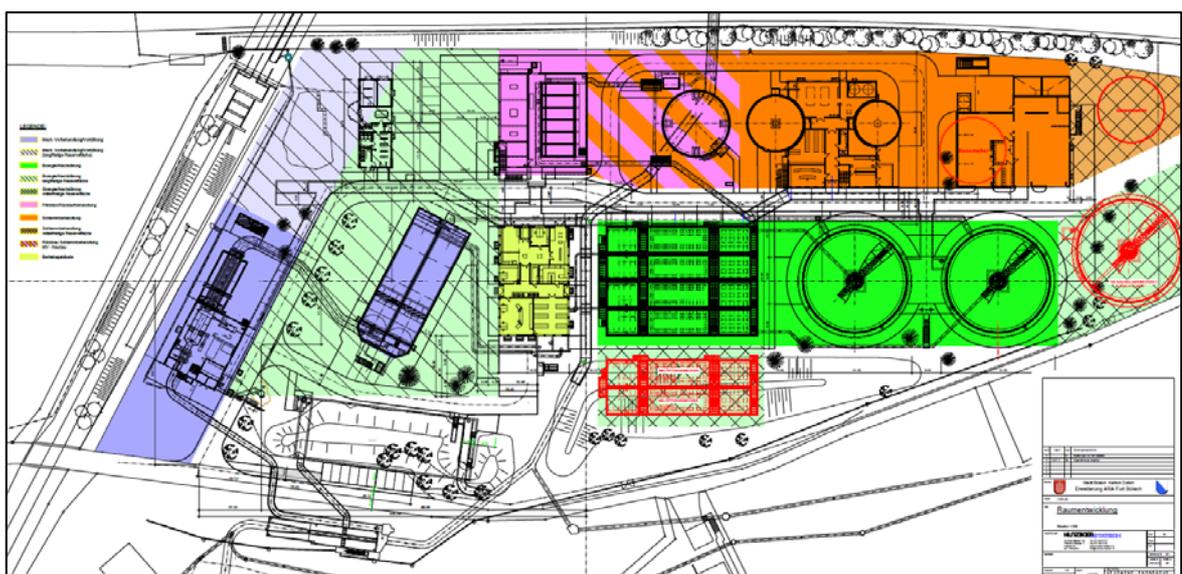


Abbildung 24: Vorgeschlagene langfristige Platzreserven auf der ARA Furt (über Horizont dieser Studie hinaus)

Platzbedarf für Ausbau der Biologie: Falls die Kapazität der bestehenden Biologie nicht innerhalb der bestehenden Infrastruktur gesteigert werden kann, ist eine Erweiterung um eine dritte Strasse östlich an die bestehenden Becken anschliessend möglich.

Ein zusätzliches Nachklärbecken kann auf dem freien Gelände im Norden angeordnet werden. Wegen der schräg verlaufenden Murgasse kann dieses Becken nicht in derselben Flucht wie die beiden bestehenden NKB angeordnet werden, sondern muss nach Westen hin verschoben werden. Grundsätzlich kommt für die erweiterte Nachklärung auch ein rechteckiges Becken in Frage. Unterschiedliche Typen von Technologien sind aber aufwändiger für Betrieb, Wartung und Ersatzteilhaltung.

Die Platzreserve für eine dritte Strasse Biologie und Nachklärbecken ist in Abbildung 23 blau dargestellt. Langfristig ist auch ein Standortwechsel für Biologie und NKB (z.B. verbunden mit einem Verfahrenswechsel) oder eine Erweiterung der Biologie in den in Abbildung 24 hellgrün, einfach schraffierten Bereich denkbar.

Platzbedarf für Sanierung / Erneuerung der Faulung: Der Platzbedarf für die Erneuerung der Faulung hängt stark von den gewählten Massnahmen ab, welche mehr oder weniger schwerwiegende Auswirkungen auf die Raumentwicklung haben. Beim vorgeschlagenen Umbau des NED zu einem zweiten Faulturm bleiben die Auswirkungen auf die Raumentwicklung relativ gering. Soll aber der 2. Faulturm zusätzlich gebaut werden, sind die Platzverhältnisse relativ begrenzt. Der Faulraum sollte in der Nähe der Schlammfauungsanlage bleiben. Somit müsste allenfalls der Nacheindicker verlegt werden. Der Platz, welcher in Abbildung 24 nur orange eingefärbt ist, ist für die Schlammbehandlung vorgesehen.

Die Gasverwertung ist am wenigsten standortgebunden. Daher könnte der Gasometer am einfachsten verschoben werden, zum Beispiel ins freie Gelände im Norden (hellorange, doppelt schraffiert in Abbildung 24) oder in Bereich des Lagerraums der ehemaligen Schlamm-trocknungsanlage.

Platzbedarf für Erweiterung mit einer MV-Stufe: Auch für die MV-Stufe hängen die Optionen für die räumliche Anordnung stark von der gewählten Variante ab. Die vorgeschlagenen Anlagenlayouts für die Varianten der MV-Stufe sind im Kapitel 7 dargestellt. Die Anlagen der MV-Stufe müssen im Rahmen einer Vorprojektierung detaillierter ausgelegt werden. Für die vorgeschlagenen Varianten der MV-Stufe ist eine Lage am Ablaufkanal, wenn möglich in der Nähe der Filtration, am sinnvollsten, wie in Abbildung 23 für die Bestvariante Ozonung rot dargestellt. Denkbar wäre auch eine Aufstellung über der bestehenden Sandfiltration. Da dadurch die gesamte Abwassermenge über eine ganze Stockwerkhöhe gepumpt werden müsste, wird nicht dazu geraten.

Um genügend Platz für die MV-Stufe zu schaffen und Gefahrenbereiche (Sauerstoff oder PAK und Methan) sauber zu trennen, muss der Gasometer verschoben werden (in Abbildung 23 violett dargestellt). Der in Abbildung 24 orange/rosarot schraffierte Bereich für die MV-Stufe oder für ein Verschieben von Verkehrswegen und Ablaufkanal frei. In diesem Fall müsste die Strasse nicht unbedingt verlegt werden, wenn die Leitung von der MV-Stufe zur Sandfiltration gedükert unter der Strasse durchgeführt werden kann. Ebenfalls denkbar ist eine Anordnung des Ozonreaktors unterhalb der bestehenden Strasse, direkt neben der Filtration. Somit müssten die Leitungskanäle nicht verlegt werden.

Bei Anordnung der MV-Stufe in der Nähe des Ablaufkanals und auf einer ähnlichen Höhenlage wie die Sandfiltration steht genügend hydraulische Reserve zur Verfügung. Somit muss das Abwasser nicht nochmals gepumpt werden, was sich positiv auf den Energiebedarf der Anlage auswirkt.

Das Abwasser fällt über eine Überfallkante vom Nachklärbecken (Kote Ruhewasserspiegel 402.1) in den Ablaufkanal (Kote Sohle 401.35). Der Reaktor einer MV-Stufe verursacht nur geringen zusätzlichen hydraulischen Verlust. Bei Anordnung der MV-Stufe in der Nähe des Ablaufkanals und auf einer ähnlichen Höhenlage wie die Sandfiltration steht also genügend hydraulische Reserve zur Verfügung. Somit muss das Abwasser nicht nochmals gepumpt werden, was sich positiv auf den Energiebedarf der Anlage auswirkt.

Alternativ ist auch der nördlich an die Schlammbehandlung anschliessende freie Platz ein möglicher Standort für die MV-Stufe. Bei dieser Standortwahl müsste zwar der Gasometer nicht verlegt werden, aber zusätzliche Leitungen von NKB auf die MV-Stufe und zurück auf die bestehende Leitung zur Sandfiltration müssten gebaut werden. Auch sind die in diesem Bereich sehr beengten Platzverhältnisse für die Leitungsführung kritisch und die hydraulischen Reserven sind für lange Leitungen knapp. Zudem muss der Platzbedarf für ein allfällig später notwendiges drittes NKB berücksichtigt werden.

Auswirkungen auf den Entlastungskanal: Bei der Erweiterung der ARA inkl. allfälliger Anpassung von Strassen und Leitungskanälen müssen die Auswirkungen auf den Entlastungskanal berücksichtigt werden. Andere Linienführungen von Strassen und Leitungskanälen, aber auch eine Verlegung des Entlastungskanals, sind denkbar.

Verkehrskonzept: Zufahrt und Rangiermöglichkeit zur Anlieferung von Sauerstoff oder Aktivkohle für Tanklastwagen müssen vorgesehen werden. Die Anordnung der Erneuerungen und der neuen MV-Stufe ist technisch machbar, bedingt aber je nach Variantenkombination ein angepasstes Verkehrskonzept. Bei der Nutzung der Fläche im Norden des Geländes muss der neu erstellte Rangierplatz neben dem Muldenbahnhof berücksichtigt werden.

Naturschutzkonzept: Auf dem Gelände der ARA Furt müssen keine Abstandslinien zu Gewässern und Wald beachtet werden.

Hochwasserschutz: Gemäss Naturgefahrenkartierung besteht auf dem Gelände der ARA Furt keine oder vernachlässigbare Gefährdung. Der Standort ist auch bei einem Extrem-Hochwasser (EHQ) nicht betroffen. Dies zeigt Abbildung 25:

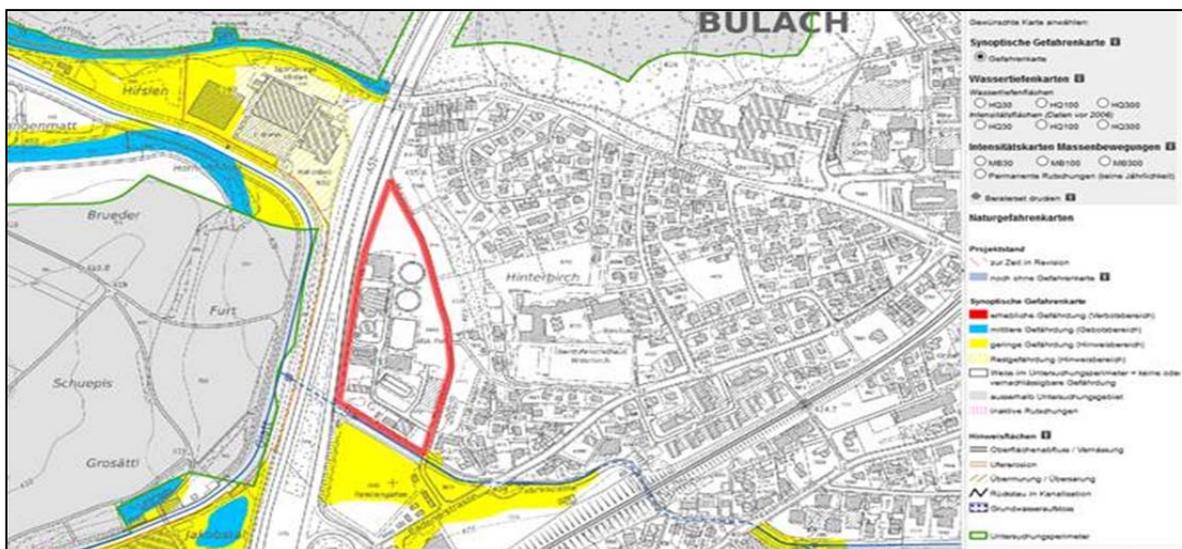


Abbildung 25: Synoptische Gefahrenkarte: keine Gefährdung auf der Parzelle der ARA (rot umrandet) [GIS-Browser des Kantons Zürich]

9 Kostenschätzung

9.1 Art der Kostenermittlung

Es handelt sich um Kostenschätzungen auf Stufe Studie. Diese grobe Kostenschätzung dient der Finanzplanung. Die Kosten dürfen nicht verwendet werden, um einen Projektkredit für die Umsetzung zu beantragen. Dafür muss zuerst ein Vor- und Bauprojekt erstellt werden.

Kostenstand: Juli 2016; Kostengenaugigkeit: ± 30 %; Mehrwertsteuer: exklusive MwSt.

9.2 Investitionskosten

Anlagenteil / Infrastruktur	Kosten [CHF]	Gesamtkosten [CHF]
Optimierung der Frischschlammbehandlung		600'000
Bau / Rückbau		
Elektromechanische Ausrüstung		
- <i>Separate Leitung von Fremdschlammsschacht auf Schlammtriebung</i>	50'000	
- <i>Zweite Leitung von Schlammtriebung in Vorlage Frischschlamm SFA</i>	150'000	
- <i>evtl. Wiederinbetriebnahme Wärmerückgewinnung mit CIP-Anlage</i>	50'000	
EMSRL	100'000	
Unvorhergesehenes	50'000	
Diverses	100'000	
Technische Arbeiten, Nebenkosten	100'000	
Kapazitätssteigerung der Rücklaufbehandlung (2. Reaktor, allenfalls Verfahrenswechsel)		800'000
Bau / Rückbau		
Elektromechanische Ausrüstung		
- <i>Umbau des Sedimentationsbeckens zu einem zweiten Reaktor</i>	200'000	
- <i>Verfahrenswechsel (Deammonifikationsverfahren DEMON®)</i>	100'000	
EMSRL	108'000	
Unvorhergesehenes	98'000	
Diverses	200'000	
Technische Arbeiten, Nebenkosten	94'000	
Umbau Faulraum und Nacheindicker mit Totalsanierung		2'100'000
Bau / Rückbau		
- <i>Umbau und Sanierung des Nacheindickers zu einem zweiten Faulraum</i>	405'000	
- <i>Umbau und Sanierung des bestehenden Faulraums zu Nachfaulraum mit variablem Volumen</i>	180'000	
Elektromechanische Ausrüstung		
- <i>Umbau des Nacheindickers zu einem zweiten Faulraum</i>	240'000	
- <i>Umbau des bestehenden Faulraums zu einem Nachfaulraum mit variablem Volumen</i>	160'000	
EMSRL	215'000	
Unvorhergesehenes	230'000	
Diverses	400'000	
Technische Arbeiten, Nebenkosten	270'000	
Verschieben des Gasometers bzw. Neubau Ballongasspeicher		1'500'000
Bau / Rückbau	540'000	
Elektromechanische Ausrüstung	130'000	
EMSRL	122'000	
Unvorhergesehenes	190'000	
Diverses	300'000	
Technische Arbeiten, Nebenkosten	218'000	
Neue Stufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen (Variante Ozonung, Sandfilter bestehend)		5'700'000
Bau / Rückbau	2'100'000	
Elektromechanische Ausrüstung	900'000	
EMSRL & HLKS	700'000	
Unvorhergesehenes	300'000	
Diverses	1'200'000	
Technische Arbeiten, Nebenkosten	500'000	
Umlegung Entlastungskanal		1'300'000
Bau / Rückbau		
- <i>Umlegung Entlastungskanal</i>	360'000	
- <i>Verschieben von Umleitungsschacht, Zulaufkanal Filtration, Messschacht, Brauchwasservorlage</i>	325'000	
Elektromechanische Ausrüstung		
EMSRL & HLKS	49'000	
Unvorhergesehenes	126'000	
Diverses	300'000	
Technische Arbeiten, Nebenkosten	140'000	
Kapazitätssteigerung / Ausbau von Biologie und Nachklärung		14'000'000
Bau / Rückbau	4'500'000	
Elektromechanische Ausrüstung	1'300'000	
EMSRL	1'600'000	
Unvorhergesehenes	1'800'000	
Diverses	3'000'000	
Technische Arbeiten, Nebenkosten	1'800'000	



9.3 Betriebskosten

Zusätzliche Betriebskosten fallen vor allem für die neue Stufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen an. Dies sind insbesondere Kosten für die Betriebsmittel (Sauerstoff mit Tankmiete für einen Flüssigsauerstofftank oder PAK). Zudem erhöht sich der Strombedarf (für die Ozonerzeugung und evtl. ein Pumpwerk). Auch fallen Unterhalts- und Analysekosten für die neue Behandlungsstufe an.

Die Erneuerung der Rücklaufbehandlung auf Vollstrombehandlung führt zu erhöhtem Bedarf an Methanol als Kohlenstoffquelle, weshalb ein Wechsel zum Deammonifikations-Verfahren „DEMON®“ empfohlen wird. Da dafür kein Methanol und deutlich weniger Sauerstoff benötigt werden, lassen sich Betriebskosten einsparen. Tabelle 32 zeigt eine Abschätzung der jährlichen Betriebskosten, hochgerechnet auf eine Vollstrombehandlung. Es liessen sich zu heutigen Betriebsbedingungen rund 60'000 Fr./a an Kosten für Betriebsmittel sparen.

Tabelle 32: Vergleich Betriebskosten der Rücklaufbehandlung SBR vs. Deammonifikations-Verfahren „DEMON®“

	Einheit	SBR konventionell		„DEMON®“
		Teilstrom 64%	Vollstrom	Vollstrom
Verbrauch Methanol	l/a	70'339 ¹⁾	110'000	0
Verbrauch Methanol ²⁾	kg/a	55'568	87'000	0
Spezifische Kosten Methanol ³⁾	Fr./kg	0.5	0.5	0.5
Strombedarf für RLB	kWh/a	126'112	200'000	100'000
Strompreis	Fr./kWh	0.15	0.15	0.15
Kosten Methanol	Fr./a	28'000	43'000	0
Energiekosten für Belüftung	Fr./a	19'000	30'000	15'000 ⁴⁾
Total	Fr./a	47'000	73'000	15'000

¹⁾ Gemäss Betriebsdaten 2015

²⁾ Dichte Methanol: 0.79 kg/l

³⁾ Aussage Betrieb: 428 Euro/t

⁴⁾ Annahme Einsparung von mindestens 50 % des Sauerstoffbedarfs

9.4 Kostenteiler

Kostenteiler Abwasser:

Die Kosten für die Abwasserreinigung auf der ARA Furt werden von den Anschlussgemeinden getragen.

Die Anteile der Anschlussgemeinden für **Investitionskosten** bzw. Baukosten wurden ursprünglich gemäss den Anteilen an den Einwohnerwerten im Ausbauziel festgelegt, wie in Tabelle 33 gezeigt.

Der heutige Baukostenteiler für Abwasser wurde im Jahr 1998 festgelegt (siehe Stadtrat Bülach, Beschluss-Nr. 118, Sitzung vom 20. Mai 1998). Die Werte sind in der rechten Spalte in Tabelle 33 aufgelistet.

Tabelle 33: Heute gültiger Baukostenteiler (Abwasser) ARA Furt.

Gemeinde	Ursprüngliches Ausbauziel			Verteiler		
				provisorisch 1994 (verteilt wie EW_{gesamt} im urspr. Ausbauziel)	Gem. SR-Beschluss vom 12.11.1997	Ohne Solidaritäts- beitrag / Leer- wohnungsbestand (seit 1998 gültig)
	Einw. [E]	Industrie [EW]	Total [EW_{gesamt}]	Anteil an Baukosten		
			[%]	[%]	[%]	
Bülach	19'000	4'000	23'000	61.0	62.2	63.6
Bachenbülach	4'500	1'300	5'800	15.4	12.2	11.9
Höri	2'300	600	2'900	7.7	8.4	8.3
Hochfelden	2'000	400	2'400	6.4	5.3	5.1
Winkel	3'600	-	3'600	9.5	11.9	11.1
Total	31'400	6'300	37'700	100.0	100.0	100.0

Für den Bau von neuen Regenbecken wurden separate Kostenteiler definiert.

An den **Betriebskosten** beteiligen sich die Anschlussgemeinden im Verhältnis der Einwohnerzahl sowie den Einwohnergleichwerten von Industrie-, Gewerbe- und Handelsbetrieben. Diese werden aufgrund des Netto-Wasserverbrauchs ermittelt (effektiver Wasserverbrauch abzüglich 1'000 m³, dividiert durch den spezifischen Nettoverbrauch von 60 m³/EW). Massgebende Bemessungsgrundlagen sind die Einwohnerzahl per 31. Dezember des dem entsprechenden Betriebsjahres vorangehenden Jahres sowie der ermittelten Einwohnerwerten des entsprechenden Betriebsjahres.

Kostenteiler Schlamm:

Die Kosten für die Schlammmentwässerungsanlage werden von den Vertragsgemeinden getragen: Bülach sowie den Fremdschlammlieferanten Rorbas, Eglisau, Glattfelden und Stadel.

Schlammseitige Investitionskosten werden über die Betriebskosten bzw. Jahreskosten den Vertragsgemeinden während einer bestimmten Anzahl Jahre weiterverrechnet. Der Betriebskostenteiler basiert auf den angelieferten Klärschlammengen als Trockensubstanzgehalt.

Fazit:

Der Kostenteiler Abwasser soll in der Folge dieser Strategiestudie bzw. im Zusammenhang mit der Gebührenplanung geprüft und bei Bedarf angepasst werden.

10 Fazit und Empfehlungen

10.1 Zusammenfassende Empfehlungen

Ein detailliertes Fazit mit Empfehlungen wurde im Kapitel 6 für jede Verfahrensstufe separat gezogen. Hier sind die Empfehlungen nur zusammenfassend als Übersicht dargestellt:

Mechanische Vorbehandlung: Eine Sanierung von Rechen und Sandfang ist für 2017 geplant. Nach Möglichkeit soll ein feinerer Rechen eingesetzt werden. Massnahmen zur Kapazitätssteigerung sind nicht erforderlich, weil die hydraulische Belastung nicht zunimmt. Wenn die organische Belastung für die biologische Stufe zu hoch wird, kann bei Bedarf das zweite Vorklärbecken wieder in Betrieb genommen werden.

Biologie und Nachklärung: Der Ausbau der Biologie drängt sich gemäss Wachstumsszenarien nicht akut auf. Mit leistungssteigernden Massnahmen der bestehenden Biologie können mindestens bis zum Zwischenziel 2030 auch mit der bestehenden Biologie die Ablaufwerte eingehalten werden. Folgende Massnahmen kommen zur Optimierung der bestehenden Biologie in Frage:

Vorfällung zur Entlastung der biologischen Stufe (grosse Reserven in der Vorklärung)

- Einsatz von Utopur® zur Verbesserung des Schlammvolumenindex und Flockungshilfsmitteln
- Erneuerung der Rücklaufbehandlung (Vollstrombehandlung) zur Entlastung der biologischen Stufe bezüglich Stickstoffs

Es wird empfohlen, bei Erreichen des Zwischenziels (vor 2030) erneut zu prüfen ob zusätzliches Beckenvolumen zur Verfügung gestellt werden muss oder ein Verfahrenswechsel in Frage kommt. Dies soll basierend auf dem bis dahin real erfolgten Wachstum sowie aktualisierten Wachstumsprognosen erfolgen. Es wird nicht als zielführend erachtet, bereit zum jetzigen Zeitpunkt basierend auf einem Szenario mit relativ hohem Wachstum auszubauen. Falls ein Szenario mit eher geringem Wachstum eintritt, wird die Anlagenbelastung im Jahr 2030 erst knapp über dem heutigen Ausbauziel liegen. Auch bei Szenarien mit mittlerem bis hohem Wachstum wird die Anlagenbelastung im Jahr 2030 erst 5-8% über dem heutigen Ausbauziel liegen.

Filtration: Es wird empfohlen, die Sandfiltration im Rahmen der Erweiterung der ARA mit einer MV-Stufe zu sanieren bzw. die Funktion anzupassen.

Schlammbehandlung: Durch eine gleichmässigeren, kontinuierlichen Betriebsweise der Schlammstrasse sollen homogenere Schlämme mit höherem TS-Gehalt erreicht werden. Dazu sollen Engpässe behoben und Zwischenpuffer reduziert werden. Die Frischschlammbehandlung soll insbesondere durch kontinuierlichere Entnahmen und Beschickungen sowie zuverlässige Einmischungen optimiert werden. Die Kapazität der Faulung soll gesteigert und die Faulung kontinuierlicher beschickt werden. Anstelle eines Nacheindickers soll Stapelvolumen für das Handling der (ausgefauten) Fremdschlämme zur Verfügung gestellt werden. Dazu werden folgende Massnahmen empfohlen:

- Neue / separate Leitung für Frischschlamm ab VKB bis Vorlage Frischschlamm SFA
- Umbau Faulturm & Nacheindicker: Umbau des NED zu einem Faulraum und Umnutzung des Faulraums zu einem Nachfaulraum bzw. Schlammstapel
- Umfahren von Frischschlammschacht, Vorlage Beschickung NED/Stapel und Dünnschlammstillos

Mit den vorgeschlagenen Massnahmen wird die bestehende Infrastruktur optimal und kosteneffizient ausgenutzt. So ist ein deutlich optimierter Betrieb möglich, ohne dass ein zusätzlicher Faulturm oder Stapel gebaut werden muss.

Rücklaufbehandlung: Um den verschärften Anforderungen an die Stickstoffelimination gerecht zu werden, bietet sich ein Weiterbetrieb der Rücklaufbehandlung an. Zur weiteren Entlastung der Hauptbiologie soll die Kapazität der bestehenden Rücklaufbehandlung gesteigert werden (Vollstrombehandlung). Dafür soll das Sedimentationsbecken (welches heute als Zulaufpuffer dient) zu einem zweiten Reaktor umgebaut werden. Es wird empfohlen, einen Verfahrenswechsel auf das Deammonifikations-Verfahren „DEMON®“ zu prüfen.

Gasverwertung: Wir empfehlen der ARA Furt, an der bisherigen Gasverwertung in den eigenen BHKW mit Notstromfunktion festzuhalten. Im Rahmen des Ausbaus der ARA Furt mit einer Stufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen soll bei Bedarf der Gasometer verlegt werden.

EMSRL: Für das Automatisierungs- und Prozessleitsystem sind in den nächsten rund 10 Jahren keine Massnahmen notwendig. Ersatzteile sind gemäss Hersteller bis ins Jahr 2030 garantiert. Das System kann jederzeit auch an neue Anforderungen angepasst und erweitert werden.

Die EMSRL-Einrichtungen der einzelnen Verfahrensstufen sollen bei entsprechenden Sanierungen ersetzt werden. EMSRL-Einrichtungen für Anlagenteile, bei welchen in den nächsten 5 Jahren keine Erneuerung / Änderung geplant ist, sollen in das Werterhaltungsprogramm aufgenommen werden.

Stufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen: Als Bestvariante empfehlen wir aus heutiger Sicht das Verfahren der Ozonung zwischen der biologischen Abwasserreinigung und der bestehenden Sandfiltration. Der Betrieb einer Ozonung hat am wenigsten Auswirkungen auf den Betrieb und andere Teile der Kläranlage. Weder Biologie noch Schlammbehandlung werden dadurch wesentlich beeinflusst.

Die Empfehlung zugunsten der Ozonung gilt unter dem Vorbehalt der grundsätzlichen Eignung der Ozonung. Es wird dringend geraten, die prinzipielle Eignung des Verfahrens der Ozonung bereits vor dem Verfahrensentcheid mit Labortests abzuklären.

Falls Vorbehalte oder die Resultaten aus den Labortests gegen eine Ozonung sprechen, wird als Alternative das ebenfalls gut geeignete Verfahren der PAK-Dosierung auf den Sandfilter empfohlen. Die Annahmen zu notwendiger Dosierung und Kosten für Aktivkohle müssten dabei durch Laborversuche zur Bestimmung der geeigneten Aktivkohle erhärtet werden. Ein definitiver Verfahrensentcheid soll erst nach Abschluss der Pilotversuche mit GAK gefällt werden.

Bei den heute 32'179 angeschlossenen Einwohnern (2015) müssen bis zum Bau einer MV-Stufe pro Jahr rund 300'000 Fr. an Abwassergebühren entrichtet werden. Dies ist unter Berücksichtigung der Subventionen ungefähr im Bereich der Jahreskosten für eine Ozonung, aber tiefer als für Pulveraktivkohle-Verfahren. Das heisst, eine ökonomische Betrachtung lässt den optimalen Ausbaupunkt frei, wann eine Ozonung realisiert wird. Wenn ein PAK-Verfahren realisiert werden soll, ist ein möglichst später Ausbaupunkt ökonomischer.

Umweltverträglichkeitsprüfung: Die Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPV) vom 19. Oktober 1988 legt fest, welche Anlagen bei einem Neubau oder bei einer Änderung einer bestehenden Anlage einer Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) unterstehen.

Gemäss Ziffer 40.9 im Anhang der UVPV sind Abwasserreinigungsanlagen mit einer Kapazität von mehr als 20'000 Einwohnergleichwerten der UVP unterstellt. Nach Art. 2 Abs. 1 Bst. a UVPV unterliegen Änderungen bestehender Anlagen der Prüfung, wenn die Änderung wesentliche Umbauten Erweiterungen oder Betriebsänderungen betrifft.

Die geplanten Massnahmen auf der ARA Furt sind zum Teil sehr umfassend und im Sinne der UVPV als wesentlich einzustufen. Somit muss im Rahmen des Bauprojektes eine Umweltverträglichkeitsprüfung durchgeführt und ein Umweltverträglichkeitsbericht erstellt werden.

10.2 Priorisierung / Etappierung

Die Massnahmen zur Optimierung der Frischschlammbehandlung sollen möglichst bald bzw. als erste Etappe umgesetzt werden. Diese Massnahmen bringen mit relativ geringen Kosten einen grossen Nutzen. Dadurch wird die Faulung bereits deutlich verbessert.

Auch die Kapazitätssteigerung der Rücklaufbehandlung mit allenfalls einem Verfahrenswechsel soll mit einer relativ hohen Priorität angegangen werden. Deshalb wird diese Massnahme in zweiter Priorität zur Umsetzung empfohlen.

Nach der Optimierung der Frischschlammbehandlung ist der Umbau von Faulturm und Nacheindicker nicht mehr dringend. Aufgrund des Sanierungsbedarfs von Faulturm und Nacheindicker wird dieser Massnahme trotzdem eine hohe Priorität eingeräumt. Gemäss Zustandsbeurteilung von 2009 werden für Faulraum und Nacheindicker bereits bis 2017, sowie in den Jahren 2019 bis 2024 Sanierungsmassnahmen empfohlen [17]. Aus betrieblichen Gründen empfiehlt es sich, eine Totalsanierung im Rahmen des Funktionstauschs gemäss dieser Strategiestudie durchzuführen. Deshalb wird eine Priorisierung für den Funktionstausch inklusive Sanierung vorgeschlagen, welche eine Realisierung 2020 ermöglicht. Wäre dies nicht möglich, müssten gewisse Sanierungsmassnahmen vorgezogen werden, oder zumindest der Zustand vorgängig erneut überprüft werden. Dies ist bei heutigem Betrieb mit nur einem Faulraum schwierig und nach Möglichkeit zu vermeiden.

Es wird als sinnvoll erachtet, den Standort für den Gasometer bereits im Rahmen der Umbauarbeiten von Faulturm und Nacheindicker zu wechseln. Somit können die Anschlussleitungen zur Gasfassung des abzudeckenden Nacheindickers bereits zum definitiven Standort des Gasometers verlegt werden. Auch das benötigte Gasometervolumen lässt sich bei Bedarf in diesem Zusammenhang anpassen.

Die neue Stufe zur Elimination von MV wird in der Priorität so eingeordnet, dass die Massnahmen vor 2025 umgesetzt werden können.

Damit nicht zu viele grosse Projekte zur selben Zeit parallel realisiert werden müssen, wird eine koordinierte Abfolge vorgeschlagen, bei der sich jeweils nur ein Projekt gleichzeitig in der Realisierung befindet. Aufgrund der beschriebenen Dringlichkeiten der Sanierungs- und Erneuerungsmassnahmen wird folgende Priorisierung bzw. Etappierung der wichtigsten Massnahmen vorgeschlagen:

- 1. Priorität: Optimierung der Frischschlammbehandlung (Wechsel auf kontinuierliche Betriebsweise)
- 2. Priorität: Kapazitätssteigerung der Rücklaufbehandlung (inkl. allenfalls Verfahrenswechsel)
- 3. Priorität: Umbau Faulturm und Nacheindicker mit Totalsanierung, (inkl. Verschieben Gasometer)
- 4. Priorität: Neue Stufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen
- 5. Priorität: Bei Bedarf Kapazitätssteigerung / Ausbau von Biologie und Nachklärung

Abbildung 26 stellt die beschriebene Priorisierung im Verfahrensschema grafisch dar:

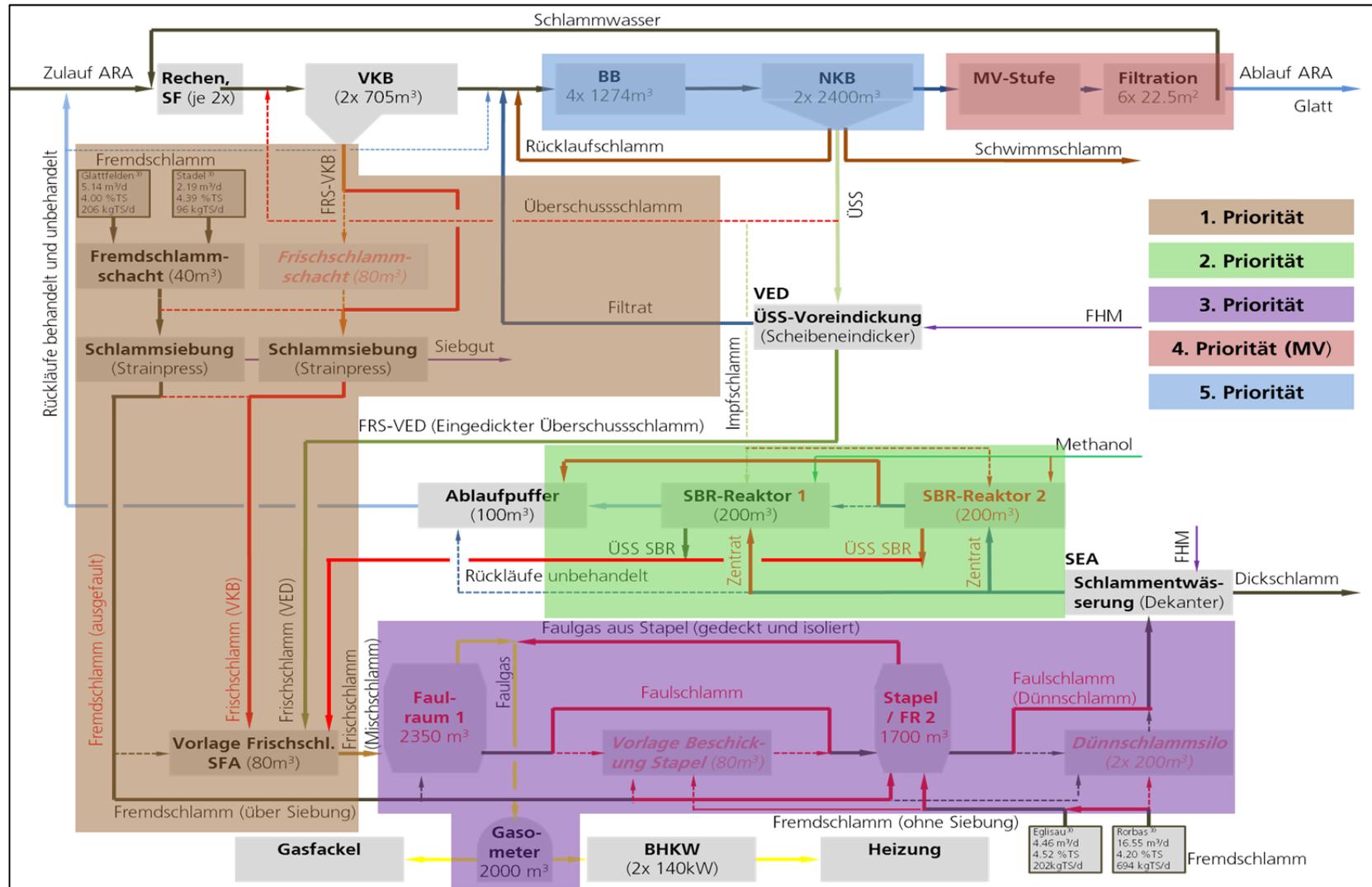


Abbildung 26: Verfahrensschema ARA Furt – Priorisierung der Massnahmen

10.3 Zeitachse / Termine

Abbildung 27 zeigt ein mögliches Vorgehen auf der Zeitachse, wobei die Realisierung nacheinander in der Reihenfolge der definierten Prioritäten erfolgen würde:

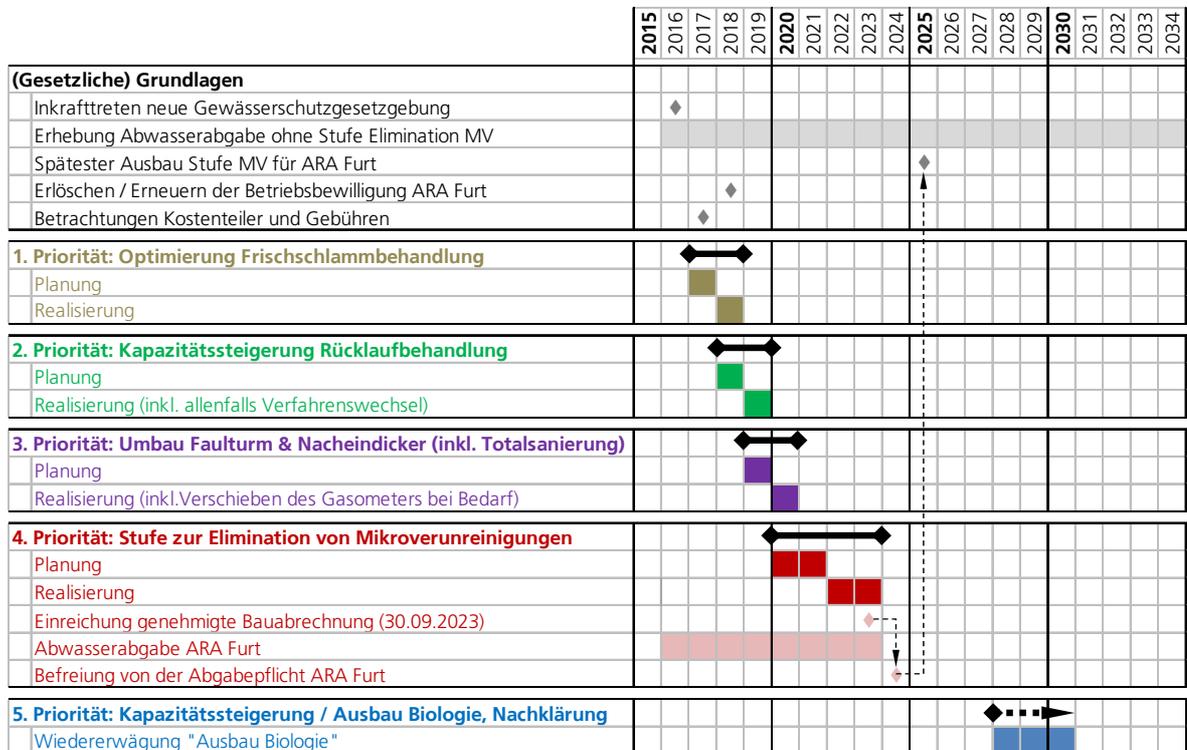


Abbildung 27: Zeitachse Entscheide und wichtigste Projekte für die ARA Furt, Bülach

11 Anhang

- Anhang 1: Alternativen zur Optimierung der Faulung
- Anhang 2: Abdeckung des NED zur Methanreduktion („KliK“)
- Anhang 3: Verfahrensvarianten der Rücklaufbehandlung

Anhang 1: Alternativen zur Optimierung der Faulung

Zur Optimierung der Faulung bezüglich Schlammanfall, Gasausbeute und Entwässerbarkeit gibt es verschiedene Verfahren, welche eine Desintegration des Schlammes bewirken. Unter Desintegration ist die Zerkleinerung und der Aufschluss des Schlammes durch die Einwirkung äusserer Kräfte zu verstehen. Die Einwirkung der Kräfte führt zu einer Auflösung der Struktur einer Schlammflocke und somit zu einem Schlammaufschluss. Der mögliche Aufschlussgrad hängt vom eingesetzten Verfahren, der eingesetzten Energie und den Eigenschaften des Schlammes ab. Bei geringen Energieeinträgen findet in erster Linie eine Flockenzerstörung statt, bei hohen Energieeinträgen eine Flockenzerstörung sowie ein Aufschluss der Mikroorganismen. Eine Übersicht über mögliche Desintegrationsverfahren gibt Abbildung 28:

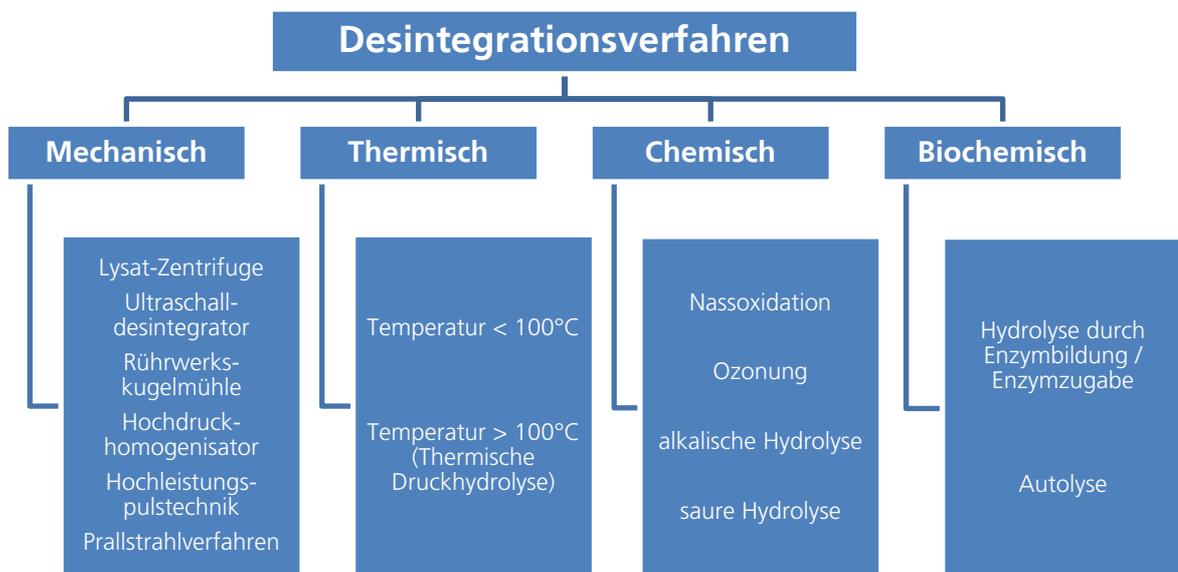


Abbildung 28: Übersicht über mögliche Desintegrationsverfahren

Durch die Desintegration kann der im Faulturm biochemisch nur langsam ablaufende Hydrolyseschritt erheblich beschleunigt werden. Die Hydrolyse ist der geschwindigkeitsbestimmende Schritt im gesamten Faulprozess.

Vor allem der Aufschluss von Überschussschlamm wirkt sich deutlich auf das Abbauverhalten aus. Der Überschussschlamm besteht zu einem wesentlichen Teil aus Substraten, welche nicht hydrolysiert werden und somit nicht bzw. nur schwer abbaubar sind. Zu diesen Stoffen gehören Hydrogele oder Extrazelluläre Polymere Substanzen (EPS), Proteine und Polysaccharide. Sie bestehen bis zu 90% aus gebundenem Wasser. Durch eine Desintegration werden die Strukturen dieser Stoffe aufgebrochen. Somit erhöht sich die Bioverfügbarkeit der organischen Stoffe im Schlamm. Dies verbessert und beschleunigt die nachfolgenden anaeroben Abbauprozesse und steigert die Entwässerbarkeit. Zur Desintegration sind folgende Varianten denkbar:

- Desintegration nur des Überschussschlammes
- Desintegration des gesamten Frischschlammes (Primärschlamm und Überschussschlamm)
- Desintegration des vorgefaulten Schlammes (zwischen Vor- und Nachfäulung geschaltete Stufe)

Beurteilung: Nur wenige der prinzipiell in Frage kommenden Verfahren befinden sich im grosstechnischen Einsatz für die Behandlung von kommunalem Klärschlamm. Deshalb werden hier nur zwei Verfahren näher erläutert, welche bereits ausgereift sind und sich in vergleichbaren Anwendungen bereits in der Praxis bewährt haben.

Lysat-Zentrifugen

Mittels Lysierung in einer Dekanterzentrifuge wird eine physikalische Desintegration des Überschussschlammes erreicht. Das Ziel der Lysierung besteht darin, durch die Zerschlagung von Mikroorganismenzellen des in Zentrifugen eingedickten Schlammes einen Zellaufschluss zu erreichen.

Verschiedene Zentrifugen-Hersteller haben Überschussschlamm-Eindickzentrifugen mit einer Einrichtung zur mechanischen Zellzerstörung entwickelt. Bei diesen Lysat-Zentrifugen ist im Bereich des Austrags der Zentrifuge ein spezielles Schlagwerk in die Maschine integriert. Die Zentrifugqualität wird von der Desintegrations-Einrichtung in der Regel nicht beeinflusst. Der Schlamm ist nach der Lysierung wesentlich homogener. Er weist eine geringere Viskosität auf und hat somit eine verbesserte Fließfähigkeit. Somit ist gemäss Literatur der ÜSS selbst mit hoher TS noch sehr gut pumpfähig und mischbar. Zusätzliche Effekte sind die höhere Gasausbeute und die zum Teil deutliche Dezimierung/Schwächung von Fadenbakterien. Die Restorganik im Faulschlamm wird vermindert und der Faulschlamm lässt sich besser entwässern. Nachteile sind höherer Energiebedarf und höherer Verschleiss in der Maschine. Verschleissteile müssen regelmässig getauscht werden. Es gibt nur wenige Lysat-Zentrifugen im grosstechnischen Einsatz, wobei bisher wenig Datenmaterial zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit vorliegt.

Thermische Druckhydrolyse

Ein vielversprechendes Verfahren ist die Thermische Druckhydrolyse (TDH). Von den verschiedenen Anbietern weist die Firma Cambi am meisten Erfahrung und realisierte Anlagen in der thermischen Druckhydrolyse vor. Ihr Verfahren nennt sich CambiTHP® (Thermal Hydrolysis Process). Beim CambiTHP®-Verfahren handelt es sich um einen kontinuierlichen Prozess zur beschleunigten Hydrolyse unter Anwendung hoher Temperaturen bei hohem Druck. Dabei wird der Schritt der Hydrolyse dem Faulprozess vorgelagert. So lässt sich der Ausfallgrad in den Faultürmen steigern. Dies soll zu einer erhöhten Gasproduktion sowie deutlich verbesserten Entwässerbarkeit und damit weniger Schlammanfall führen. Die Hydrolyse des Überschussschlammes nach CambiTHP® erfolgt in drei nacheinander durchflossenen Reaktoren mit Aufenthaltszeiten von je 20 bis 30 Minuten. In Fließrichtung sind dies ein Vorheizbehälter, ein mit Dampf beheizter Reaktor und ein Entspannungsbehälter.

Eine Thermische Druckhydrolyse wäre bei heutiger Situation mit nur einem Faulturm nur als vorgeschaltete Variante möglich. Ein Nachteil der Thermischen Druckhydrolyse ist das Ansteigen der Rückbelastung (CSB und NH₄-N).

Fazit: Die Effekte der Desintegration sind stark von den spezifischen Schlammeneigenschaften abhängig und müssten verfahrensspezifisch im Detail untersucht werden. Die Verfahren zur Desintegration benötigen mehr oder weniger umfangreiche zusätzliche Installationen und erhöhen den Energiebedarf sowie den Betriebsaufwand. Die Erhöhung des CSB im Ablauf kann einen erhöhten Betriebsmittelbedarf für eine nachfolgende Stufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen bewirken. Für die ARA Furt wird von einer Thermischen Druckhydrolyse darum zurzeit eher abgeraten.

Für eine Lysierung des Überschussschlammes müsste der bestehende Scheibeneindicker durch eine Dekanterzentrifuge mit Lysiervorrichtung ersetzt werden. Darum ist dieses System nicht erste Wahl.

Als Alternative zur TS-Erhöhung des Frischschlammes könnte die TS im Faulraum auch durch Abzug von Wasser im Faulraum mittels **Membrananlage** erfolgen. Dies ist eine unkonventionelle Lösung, funktioniert aber, da der Faulschlamm nicht mehr klebrig ist und sich das Fouling deshalb auf der Membrane in Grenzen hält. Aufgrund von erhöhtem Betriebsaufwand und eingeschränkter Flexibilität wird eine Membrananlage nicht empfohlen.

Anhang 2: Abdeckung des NED zur Methanreduktion („KliK“)

Die „South Pole Group“ betreibt im Auftrag der Stiftung Klimaschutz und CO₂-Kompensation „KliK“ ein Förderprogramm zur Reduktion von Methanemissionen auf Schweizer Kläranlagen. Das Förderprogramm ermöglicht Kläranlagenbetreibern mit einfachen Massnahmen, die Klimabilanz der Anlage zu verbessern und deren Eigenversorgungsgrad zu erhöhen. Die Stiftung „KliK“ ist eine CO₂-Kompensationsgemeinschaft im Rahmen des CO₂-Gesetzes. Sie erfüllt branchenweit für Mineralölgesellschaften, welche fossile Treibstoffe in Verkehr bringen, deren gesetzliche Pflicht, einen Teil der bei der Nutzung der Treibstoffe entstehenden CO₂-Emissionen zu kompensieren. Dazu fördert sie Projekte in der Schweiz, die den Ausstoss von Treibhausgasen reduzieren. Ein solches Programm ist die „Methanreduktion in ARAs“. Das Programm beinhaltet das Fassen und Vernichten oder Verwerten von bis anhin ungenutzten Methanströmen, welche in die Atmosphäre entweichen. Eine Abdeckung des Nacheindickers könnte frühestens 2017 realisiert werden, womit nur 3 Jahre für den Erhalt der Kompensationszahlungen zur Verfügung stünden.

CO₂-Reduktionspotential: Die South Pole Group hat das Potential für die ARA Bülach bereits im September 2015 abgeschätzt. Die Zahlen der South Pole Group basieren auf einem quantitativen Modell zur Berechnung von Methangasemissionen aus Schlammstapeln. Das Modell wurde von der South Pole Group zusammen mit der Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften und der EAWAG entwickelt. Das Modell basiert auf einem mathematischen Modell für die anaerobe Faulung, welches an der EAWAG entwickelt wurde. Bisherige Erfahrungen zeigen, dass sowohl in Abbautests im Labor wie auch in der Realität die abgeschätzten Methanreduktionen erreicht wurden. Das Potential wurde basierend auf den Betriebsdaten für das ganze Jahr 2015 von der South Pole Group im Februar 2016 bestätigt.

Zur Berechnung des kompensierten CO₂ wird das bei Abdeckung der Stapel zusätzlich zurückgehaltene Methan (CH₄) in CO₂-Equivalent (CO₂-eq.) umgerechnet. Da der Ausstoss von Methan rund 25-mal schädlicher für das Klima ist als CO₂, entspricht 1 t CH₄ somit 25 t CO₂-eq. Da bei der Verstromung einmal die Menge als CO₂ freigesetzt wird, entspricht 1 t zusätzlich zurückgehaltenes Methan effektiv 24 t reduziertem CO₂-Equivalent.

Die abgeschätzten jährlich möglichen Methanreduktionen sowie die entsprechend umgerechneten Reduktionen in CO₂-Equivalent sind in Tabelle 34 dargestellt.

Tabelle 34: Abgeschätzte jährliche Methanreduktion und Reduktion in CO₂-Equivalent

Parameter	Zusätzliches Gas		Reduktion CH ₄	Reduktion CO ₂
	% ¹⁾	m ³ CH ₄ /a	t CH ₄ / a ²⁾	t CO ₂ -eq. / a
Abdeckung NED	16-22%	43'000-58'000	31...42	750...1'000

Annahme: Gleichmässige Beschickung des Nacheindickers

¹⁾ 100% = 430'000 m³ Gas/a ~260'000 m³ CH₄/a (60% Methan-Anteil)

²⁾ Dichte Methan: 0.716 kg/m³ (bei 0 °C, 1,013 bar a)

Gestehungskosten: Aus den Investitionskosten und den erwarteten CO₂-Einsparungen über die maximal 3 Jahre Programmlaufzeit werden die Gestehungskosten berechnet. Dies sind die Kosten pro eingesparte Tonne (siehe Tabelle 35):

Tabelle 35: Abgeschätzte Gestehungskosten durch Abdeckung des Nacheindickers

Parameter	Investitionskosten	CO ₂ -Einsparungen	Gestehungskosten
Abdeckung NED	~500'000.--Fr.	2'250-3'000 t CO ₂ -eq./3a	167-222.-- Fr./t CO ₂ -eq.



Beiträge für CO₂-Kompensation: Der Preis, der im Rahmen des Förderprogramms offeriert wird, wird auf Basis folgender Kriterien fest-gelegt:

1. Erwartete Investitionskosten (Bau und Planung, vor Steuern, ohne Teilnahmegebühr)
2. Erwartete Einsparungen in CO₂-eq. bis Ende 2020

Die Stiftung KliK bezahlt für jede im Rahmen des Programms eingesparte Tonne 100.-- Fr. Der Preis, welcher der Kläranlage offeriert wird, richtet sich nach den Gestehungskosten. Da die abgeschätzten Gestehungskosten über 100.-- Fr./t CO₂-eq. liegen, kann die ARA Bülach im Rahmen des KliK-Förderprogramms zur Methanreduktion in Kläranlagen mit einem Beitrag von 100.-- Fr./t CO₂-eq. rechnen. Über die restliche Programmlaufzeit von 3 Jahren (2018 bis 2020) entspricht das etwa den in Tabelle 36 aufgeführten Beträgen:

Tabelle 36: Abschätzung CO₂-Kompensation bei Förderprogrammdauer von 4 Jahren (2017-2020)

Parameter	Reduktion CO ₂ -Equivalent	Erwartete CO ₂ -Einsparungen (3 a)	Kompensation (3 a) gerundet
Abdeckung NED	750 - 1'000 t CO ₂ -eq. / a	2'250 - 3'000 t CO ₂ -eq.	225'000 - 300'000.-- Fr.

Weitere Einnahmen: Zusätzlich zu den Beiträgen für die CO₂-Kompensation können Einnahmen dank Mehrertrag an Strom und Wärme im BHKW generiert werden. Diese Mehrerträge bzw. Mehrerlöse sind in Tabelle 37 und Tabelle 38 abgeschätzt.

Tabelle 37: Abschätzung jährlicher Mehrertrag an Strom und Wärme

Parameter	Nutzbare Gasmenge m ³ /a ¹⁾	Heizwert kWh/a ²⁾	Stromnutzung kWh/a ³⁾	Wärmenutzung kWh/a ³⁾
Abdeckung NED	70'000 - 90'000	448'000 - 576'000	170'000 - 219'000	224'000 - 288'000

¹⁾ 100% Gasmenge: 430'000 m³ Gas/a

²⁾ Unterer Heizwert des Klärgases: 6.4 kWh/Nm³, nach Handbuch Energie in ARA

³⁾ Wirkungsgrad-Richtwerte BHKW: 38% Strom; 50% Wärme nach Handbuch Energie in ARA

Tabelle 38: Abschätzung jährlicher Mehrerlös durch Mehrertrag an Strom und Wärme

Parameter	Erlös Strom Fr./a ¹⁾	Erlös Wärme Fr./a ²⁾	Erlös total gerundet Fr./a
Abdeckung NED	30'000-40'000	22'000-28'000	50'000-70'000

¹⁾ 0.18 Fr./kWh inklusive KEV-Förderung

²⁾ Substitution von Öl: 0.1 Fr./kWh, während 12 von 12 Monaten

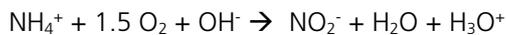
Falls in den Sommermonaten bereits genügend Wärme zur Verfügung steht, kann der Mehrertrag an Wärme gar nicht genutzt werden und der Mehrerlös verringert sich.

Vorbehalte: Sämtliche Veränderungen (z.B. Optimierung der Frischschlammbehandlung), welche Auswirkungen auf die Faulung haben, wirken sich auch auf die Gasproduktion in NED aus. Infolge verbesserter Faulung im Faulturm reduziert sich das Potential der zusätzlichen Gasproduktion im NED. Bei einem (späteren) Tausch der Funktion von Faulturm und Nacheindicker kann nicht mehr eindeutig per Messung nachgewiesen werden, welche Gasmenge auf die Massnahme der Abdeckung des NED zurückgeführt werden kann. Dementsprechend wird es schwierig, zu bestimmen, welche Gasmenge vergütet werden kann.

Anhang 3: Verfahrensvarianten der Rücklaufbehandlung

Abbildung 29 zeigt die unterschiedlichen relevanten Stickstoff-Transformationsprozesse. Das heutige Verfahren auf der ARA Furt ist in grün dargestellt, die mögliche Verfahrensvariante der Deammonifikation ist gelb hinterlegt. Das ebenfalls mögliche Verfahren der Nitrifikation-Denitrifikation ist blau dargestellt.

Die Deammonifikation ist ein zweistufiger biologischer Prozess zum Abbau von Ammonium. Das Ammonium muss in einem ersten Schritt rund zur Hälfte aerob zu Nitrit oxidiert werden (Teil-Nitrifikation). Die Nitrifikation entspricht dem ersten Schritt der Nitrifizierung:



Im zweiten Schritt wird Ammonium mit dem gebildeten Nitrit unter anaeroben Bedingungen zu gasförmigem Stickstoff und Nitrat (ca. 11 % des umgesetzten Ammoniums) umgewandelt. Dieser Verfahrensschritt der anaeroben Ammonium-Oxidation wird auch Anammox-Prozess genannt.

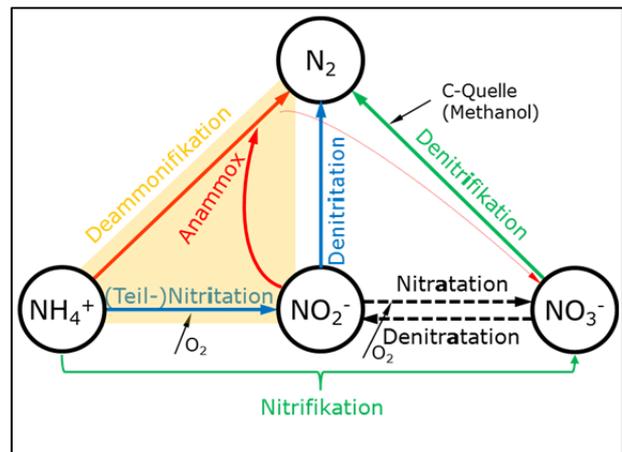
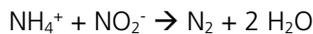


Abbildung 29: Stickstoff-Transformationsprozesse (grün: heutiges Verfahren, gelb hinterlegt: Deammonifikation)

Die Steuerung des Anammox-Prozesses ist an bestimmte Rahmenbedingungen gebunden:

- Einerseits muss den deammonifizierenden Bakterien genügend Nitrit angeboten werden, andererseits darf die Nitritkonzentration nicht zu hoch sein, da dies zu einer irreversiblen Toxizität führt.
- Aus diesem Grund wird die intermittierende Belüftung über den pH-Wert gesteuert (pH-Abfall während der Belüftung durch Nitritbildung)
- Die Nitrat bildenden Bakterien dürfen nicht angereichert werden, um eine Umwandlung von Nitrit zu Nitrat möglichst zu vermeiden. Dies gelingt durch Begrenzung der Luftzufuhr (Belüftungsdauer und Sauerstoffkonzentration). Der Steuerung der Belüftung kommt folglich eine entscheidende Bedeutung zu.

Der große Vorteil beim Verfahren der Deammonifikation ist, dass keine Kohlenstoff-Quelle (Methanol) benötigt wird. Zudem wird rund 60% des Sauerstoffs gegenüber der Nitrifikation / Denitrifikation eingespart. Der Sauerstoff wird nur noch für die Umwandlung des Ammoniums zu Nitrit benötigt. Es werden etwa 10% des Ammoniums zu Nitrat umgewandelt, so dass eine vollständige Stickstoffentfernung nicht möglich ist, was aber bei einem Stickstoffabbau von ca. 85 bis 90% kein Problem darstellt. Nachteilig ist, dass die Anammox Bakterien langsam wachsen und Nitrit, Sauerstoff und Ammonium toxisch sein können, was eine komplexere Regelungstechnik erfordert.

Es gibt verschiedene unternehmensspezifische Lösungen, welche auf dem Verfahren der Deammonifikation beruhen. Für die ARA Furt käme am ehesten das DEMON®-Verfahren in Frage. Patentierte ist die Regelstrategie und patentangemeldet die Anreicherung der Anammox-Biomasse in einem Hydrozyklon. Die anaeroben Bakterien bilden große Pellets in dichter Packung welche gute Absetzeigenschaften aufweisen. Die Wachstumsgeschwindigkeit dieses Schlammes ist sehr gering, weshalb ein hohes Schlammalter zwingend ist. Das DEMON®-Verfahren ist bei mehreren Anlagen erfolgreich in Betrieb und wird z.B. in der ARA Glarnerland seit einiger Zeit erfolgreich für die Faulwasserbehandlung eingesetzt.

