Elimination von organischen Spurenstoffen

Ergebnisse zum 1. Betriebsjahr ARA Thunersee

ara thunersee

ARA Thunersee
Aarestrasse 62
CH-3661 Uetendorf

www.arathunersee.ch

+41 (0)33 346 00 80

Bearbeitung:

Bruno Bangerter, Geschäftsführer
bangerter@arathunersee.ch

Juli 2019

Inhalt

Einleitung 4
Die Anlage: Kurzbeschreibung 4
Betrieb der Anlage 5
Dosierungen und PAK-Schlammalter 5
Betrieb Filtration 6
Eingesetzte Pulveraktivkohlen 7
Auswirkungen auf den Belebtschlamm 7
Auswirkungen auf den Faulschlamm 7
Betriebsergebnisse Juli 2018 bis Juni 2019 7
Online-Messungen 7
Laboranalytik 8
Fazit 10
Anhang 1 11
Anhang 2 12
Anhang 3 13
Anhang 4 14
Anhang 5 15

Einleitung

Der Gemeindeverband ARA Thunersee hat 2013 entschieden, den gesetzlichen Auftrag zur Elimination von organischen Spurenstoffen rasch zu realisieren und dafür das „Ulmer Verfahren“ mit Pulveraktivkohle zu wählen. 124‘000 Einwohner sind zur Zeit an die ARA angeschlossen. Die Ausbaugrösse beträgt 200‘000 Einwohnerwerte.

Der Planungsauftrag ist im Mai 2015 erteilt worden. Im August 2016 hat der Bau mit dem Spatenstich begonnen. Im Juni 2018 konnte die Anlage in Betrieb genommen werden. Ab Juli war der Dauerbetrieb noch mit einigen Einschränkungen möglich, ab Oktober zuverlässig mit einer geregelten Dosierung der PAK.

Die Anlage: Kurzbeschreibung

Nach der Nachklärung der biologischen Stufe wird das Abwasser mit 2 Pumpwerken angehoben und in 2 Kontaktbecken mit je 1‘100 m^3 Inhalt gefördert. Das Abwasser durchläuft 4 mit Invent-Rührwerken ausgerüstete Zonen, wobei zwischen Zone 2 und 3 keine Trennwand besteht. In die erste Zone wird die Pulveraktivkohlesuspension und eine Fe^{3+}-Lösung dosiert. Dabei ist wichtig, dass die Fe^{3+}-Lösung rasch eingemischt wird. Dies wird mit einer gemeinsamen Einmischung mit der PAK-Suspension erreicht (Bild links). Ein anionisches Flockungshilfsmittel wird in der 4. gerührten Zone an der Beckensohle in der Nähe des Rührwerks zugegeben.

In 4 Absetzbecken mit je 1‘944 m^3 wird der PAK-Schlamm abgesetzt und mit Rücklaufschlammpumpen in die erste gerührte Zone der Kontaktbecken zurückgefördert.

Der PAK-Überschussschlamm wird von den Kontaktbecken im freien Gefälle in den Rücklaufschlamm der Biologie geführt. Wahlweise ist auch eine Ableitung in den Anlagezulauf möglich. Das PAK-Schlammalter ergibt sich aus dem Volumenverhältnis Kontaktbeckeninhalt zu Abzugsmenge.

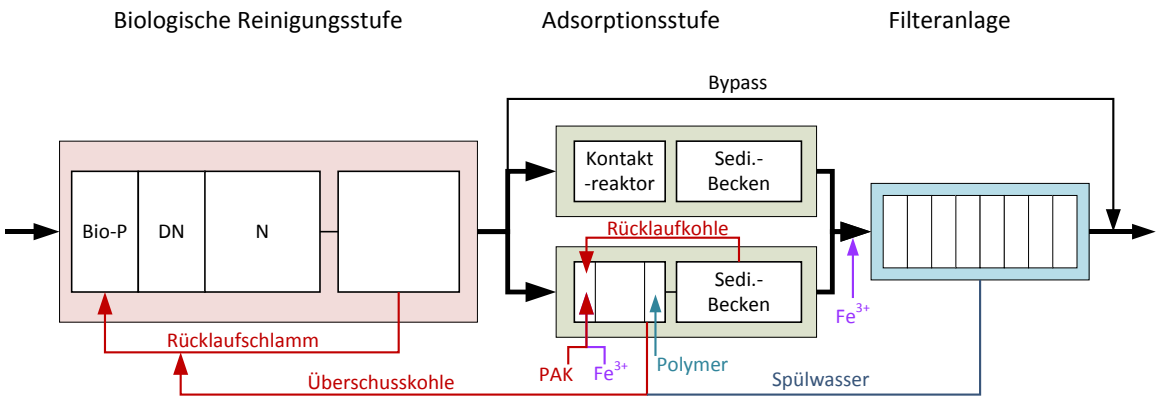
Nach den Absetzbecken erfolgt eine Filtration auf 8 Raum-Filterzellen mit einer Oberfläche von je 42 m^2 und folgendem Schichtaufbau: oben 70 cm Anthrazit, unten 50 cm Quarzsand.

<u>Die wichtigsten Dimensionierungswerte</u>

Parameter	Wert	Einheit
max. Zulauf biologische Stufe	1‘350	m^3/d
max. Zulauf PAK-Anlage	800	l/s
min. Kontaktzeit PAK-Reaktor	46	min
min. Aufenthaltszeit PAK-Sedimentation	2.7	h
max. Oberflächenbeschickung PAK-Sedimentation	1.8	m/h
max. Filtergeschwindigkeit	9.8	m/h

Die PAK-Lagerung erfolgt in 2 Silos à 80 m^3. 2 Dosiereinrichtungen mit mehreren Auskreuzungsmöglichkeiten stellen den Dauerbetrieb der Anlage sicher.

Anlageschema (mehr Details im Anhang 1)



Betrieb der Anlage

Dosierungen und PAK-Schlammalter

Gestartet wurde der Betrieb mit folgenden Einstellungen für die mengenproportionale Dosierung und das PAK-Schlammalter:

Pulveraktivkohle	10	mg/L
Fällmittel Fe^{3+}	2	mg/L
Flockungshilfsmittel anionisch	0.3	mg/L
PAK-Schlammalter	6	Tage

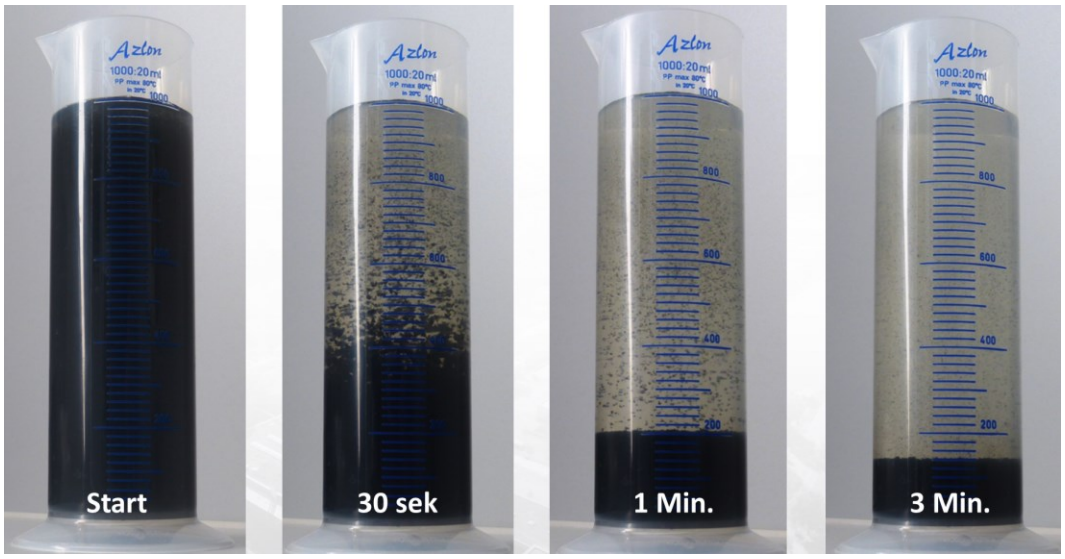
Bereits nach 20 Stunden Betrieb wurden grosse Flocken und klare Absetzbecken erreicht. Dieses Dosierungsverhältnis wird bis heute weitgehend so beibehalten. Je nach eingesetzter PAK oder nach CSB-Restbelastung nach der biologischen Stufe wird die PAK-Dosierung zwischen 9 und 12 mg/L variiert und die Fe- und FHM-Dosierung im Verhältnis angepasst. Im Jahresmittel über die Zeit von 1. Juli 2018 bis 30. Juni 2019 lag die PAK-Dosierung bei 10.4 mg/L oder bezogen auf den gelösten CSB bei 0.56 mg PAK pro mg $CSB_{gelöst}$ (anhand von Vergleichsanalysen umgerechnet auf DOC entspricht dies ungefähr 1.5 mg PAK pro mg DOC).

Höhere Fe-Dosierungen sind nur bei grösserer Phosphorbelastung[1] sinnvoll und können dann zu geringeren Trübungen in den Absetzbecken führen (Vgl. Trübung NTU Seite 7 unten).

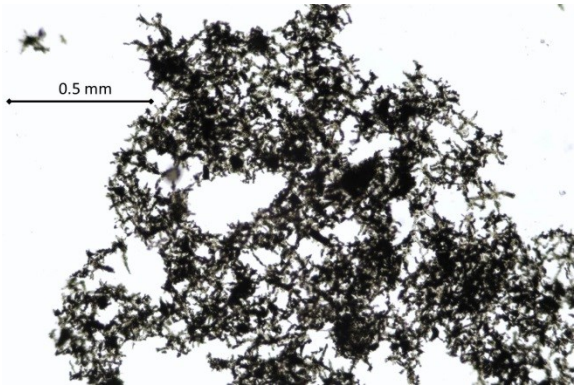
Bei einem PAK-Schlammalter von 6 Tagen resultiert Schlammgehalte von 1 bis 1.8 g/L je nach Abwassermenge und PAK-Qualität. Der Schlammvolumenindex bewegt sich zwischen 40 und 80 mL/g. Bei einer Steigerung des Schlammalters auf 12 Tage steigt die Trübung in den Absetzbecken, der Schlammgehalt im Kontaktbecken nimmt zu, der Index liegt bei gleich bleibendem Absetzvolumen zwischen 40 und 50 mL/g. Ab Juli 2019 wurde das PAK-Schlammalter auf 4 Tage gesenkt mit guten Eliminationsleistungen, geringeren Trübungen und einem Schlammvolumenindex von 80 bis 90 mL/g.

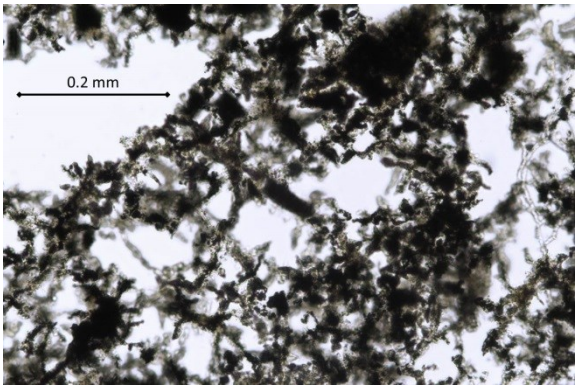
Neben dem Schlammvolumenindex ist die Beobachtung wichtig, dass der PAK-Schlamm sich sehr rasch absetzt und bereits innerhalb von Minuten das gleiche Absetzvolumen anzeigt wie nach einer halben Stunde.

[1] eingeschränkte biologische P-Elimination nach Regenfällen oder im Sommer aus Mangel an gut abbaubaren Substraten durch Abbau im langen Kanalnetz

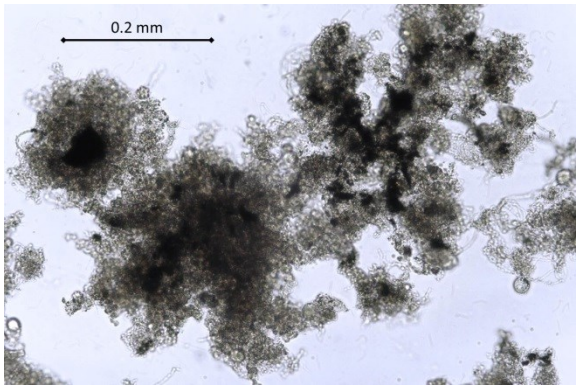


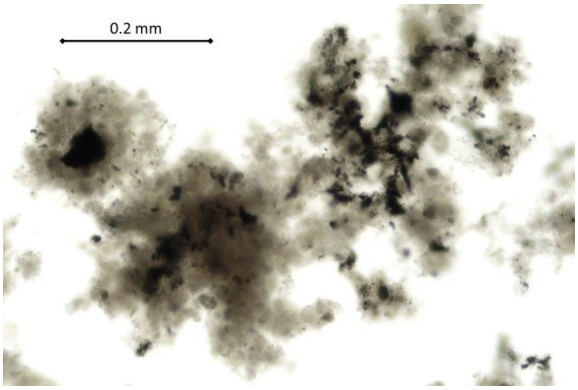
PAK-Schlammflocken und PAK-Einbindung im Belebtschlamm:





Die PAK-Schlammflocken aus den Kontaktbecken mit zwei Vergrösserungen zeigen eine sehr lockere, gitterförmige Struktur. Freie Kohlepartikel werden in der Regel nicht beobachtet.





Belebtschlammflocke links mit geschlossener, rechts mit offener Blende. PAK-Partikel werden gut überwachsen und eingeschlossen.

Betrieb Filtration

Die Filterzellen werden bei Trockenwetter spätestens nach einer Betriebsdauer von 4 - 5 Tagen gespült oder bei Regenwetter, wenn für das Erreichen der erforderlichen Durchflussmenge der Drosselschieber über den gesetzten Grenzwert geöffnet werden muss nach 1 – 2 Tagen.

Eingesetzte Pulveraktivkohlen

Bisher haben wir 4 Produkte über eine bis vier Silobefüllungen im Betrieb eingesetzt:

- pharmA-Clean von CSC (Carbon Service & Consulting GmbH & Co. KG)
- Norit SAE Super von Cabot Norit Nederland
- AquaSorb XP-W PAC-S von Jacobi Carbons GmbH
- PAK C 880 SR von CarboTech AC GmbH

Mit allen 4 PAK konnten die geforderten Leistungen erbracht werden. Anpassungen in der Dosierung (Dosiermenge PAK) waren teilweise erforderlich. Nicht abschliessend ist dabei erklärbar, ob allein die PAK-Qualität dafür verantwortlich war oder die unterschiedlichen Leistungen der vorgeschalteten biologischen Reinigungsstufe. Ebenfalls zu unterschiedlichen Leistungen beitragen können die jahreszeitlich bedingte Schwankung der Belastung unserer Anlage sowie Temperatureinflüsse.

Zwischen den einzelnen Lieferungen des gleichen Produktes konnten wir teilweise beachtliche Differenzen in der Beschaffenheit beobachten, z. B. in der Schüttdichte (gemessen im Raumanspruch nach der Befüllung eines Silos). Für das gleiche Produkt konnten Werte zwischen 250 und 360 kg/m^3 beobachtet werden. Zudem vermuten wir, dass bei einer besonders leichten Lieferung mit Schüttdichte um 260 sehr viele Feinanteile enthalten waren. Im Lauf der Dosierung sind in den Absetzbecken die Trübungswerte kontinuierlich angestiegen. Auf den Filtern zu Bestimmung der ungelösten Stoffe (abfiltrierbaren Stoffe) im Auslauf nach der Filtration wurden zunehmend sehr kleine Kohlepartikel <1 µm gefunden. Wir vermuten, dass durch den Lufteintrag zur Vermeidung von Brückenbildungen feine, leichte Kohlepartikel im Silo nach oben verschoben wurden und so bis zur Siloleerung zunehmend feinste Partikel dosiert wurden. Diese PAK erzielte bei der Elimination von organischen Spurenstoffen eher eine unterdurchschnittliche Leistung.

Auswirkungen auf den Belebtschlamm

Im Belebtschlamm wurde das Schlammalter bei rund 10 % höherem Schlammgewicht beibehalten. Der Schlammvolumenindex blieb unverändert oder hat tendenziell eher abgenommen. Die Leistungen konnten auf bisherigem Niveau gehalten werden. Probleme sind bisher nicht aufgetreten.

Auswirkungen auf den Faulschlamm

Der Schlammanfall steigt durch die eingesetzte Kohle leicht an. Tendenziell wird ein leicht höherer TS-Anteil in der Faulung erreicht, dies bei tieferem Glührückstand, was den Erwartungen entspricht. Ein Einfluss auf die Schlammentwässerung, den Entwässerungsgrad oder die Zentratbehandlung konnte bisher nicht festgestellt werden.

Betriebsergebnisse Juli 2018 bis Juni 2019

Online-Messungen

<u>Trübung gemessen in NTU</u>:

Die Trübung im Zulauf zur PAK-Stufe liegt im Mittel bei 1 NTU. Nach den PAK-Absetzbecken liegt das Mittel knapp über 1.6 NTU, bei stabilen Betriebsverhältnissen im Sommer mehrheitlich unter 1 NTU. Im Ablauf der Filtration wird ein Mittelwert von 0.8 NTU erreicht.

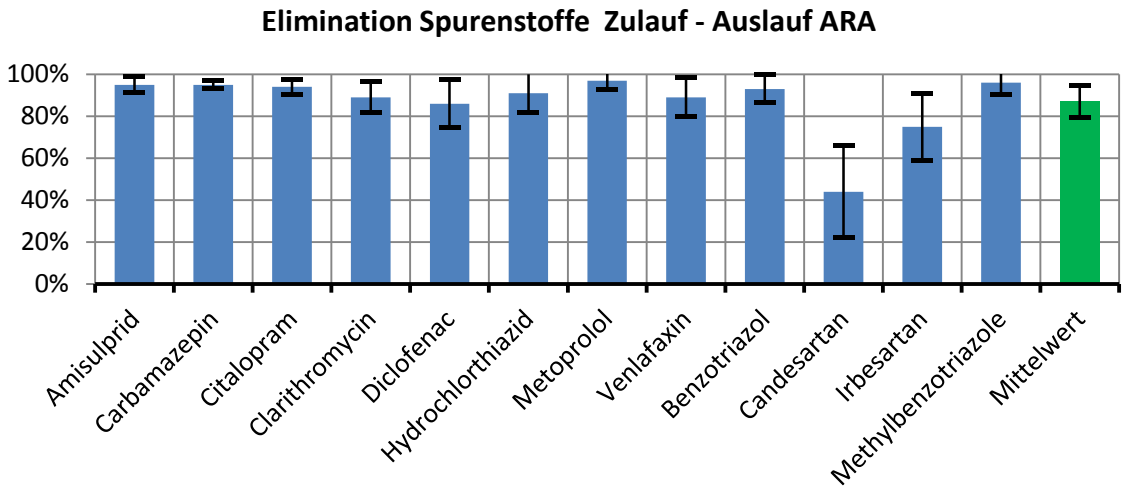
Höhere NTU-Werte ergeben sich, wenn das Fe^{3+} im PAK-Kontaktbecken nicht optimal eingemischt und $Fe(OH)_3$ gebildet wird. Dies kann ebenfalls geschehen, wenn Fe^{3+} höher dosiert wird und gleichzeitig die Phosphorkonzentrationen nach der biologischen P-Elimination sehr tief liegen.

Phosphor:

Die online gemessenen Phosphorkonzentrationen lagen im Zulauf zur PAK-Stufe im Mittel bei 0.4 mg/L, im Ablauf der Absetzbecken bei 0.17 mg/L und im Ablauf Filtration bei 0.09 mg/L. Die sehr guten Leistungen bezüglich P-Elimination können mit tendenziell geringeren Fe-Dosierungen erreicht werden als vor der Inbetriebnahme der PAK-Anlage.

Laboranalytik

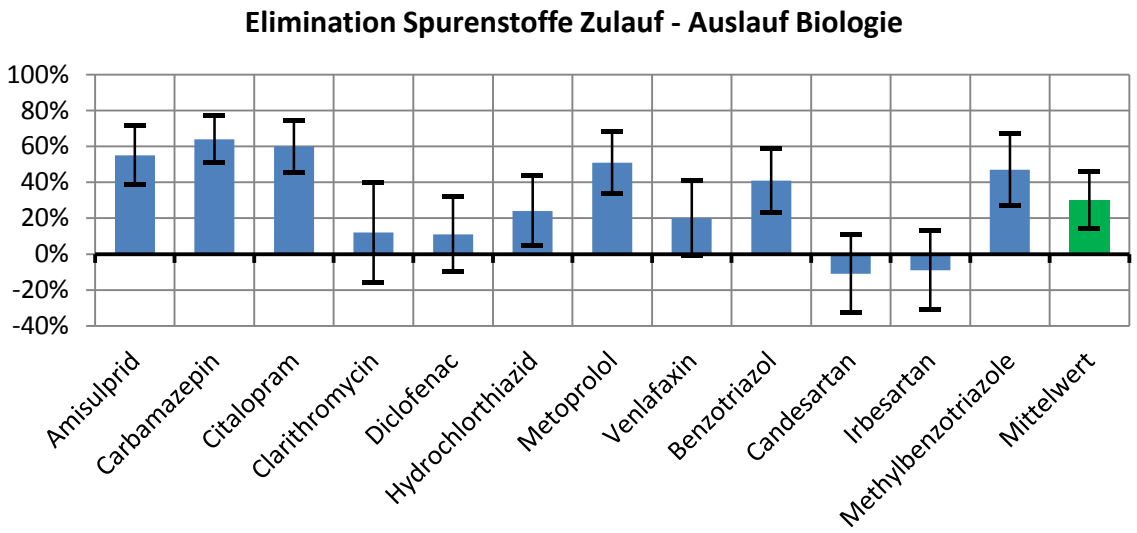
Organische Spurenstoffe:



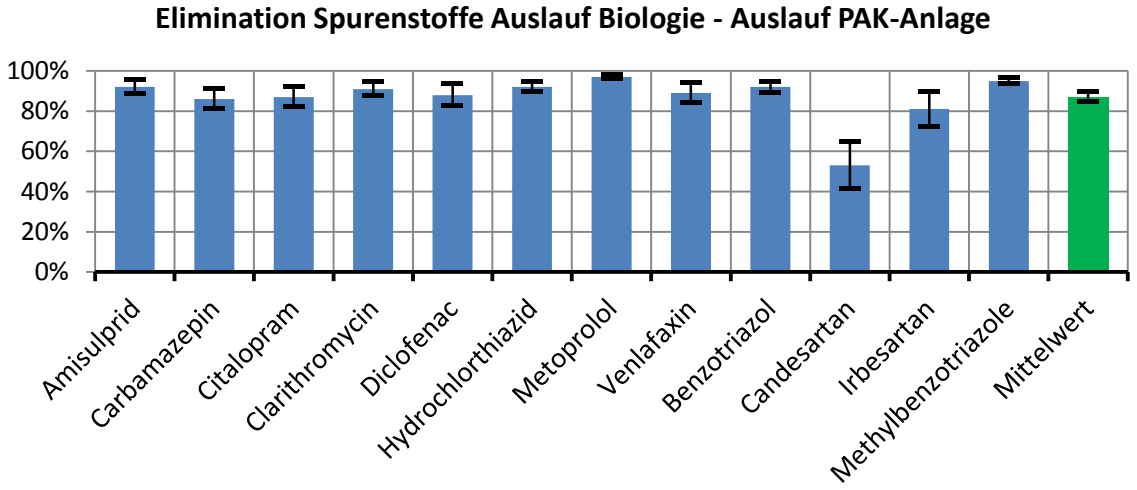
Mit Beginn am 26. Oktober 2018 sind bis Ende Juni 2019 24 48-Stunden-Proben aus dem Rohzulauf der ARA, dem Auslauf der Nachklärbecken der biologischen Stufe und dem Auslauf der Filtration auf Spurenstoffe analysiert worden. Insgesamt über alle 24 Proben werden sehr gute Resultate erzielt. In nur 2 Probeserien lag die Elimination für die 12 relevanten Spurenstoffe unter 80 % (Anhang 4). Starke Regenfälle führten dazu, dass die PAK-Anlage mit einem Anteil von 22 % bzw. 9 % des Abwassers umfahren wurde. Bei allen anderen Serien lagen die Eliminationsleistungen zwischen 81 und 95 %.

Nur für die Blutdrucksenker Candesartan und Irbesartan werden Eliminationen unter 80 % gemessen. Für diese beiden Stoffe zeigt sich, dass nach der biologischen Stufe im Auslauf Nachklärung tendenziell eine Zunahme zu beobachten ist. Dafür bestehen zwei Möglichkeiten:

- Sie sind im Rohzulauf an Partikel gebunden, die die Vorklärung durchlaufen und die in der Biologie abgebaut werden. Dadurch können die beiden Stoffe in Lösung gehen und mit der Analyse erfasst werden.
- Die andere Möglichkeit besteht darin, dass die beiden Stoffe in der Biologie von anderen Stoffen aus der PAK verdrängt werden und wieder in Lösung gehen.



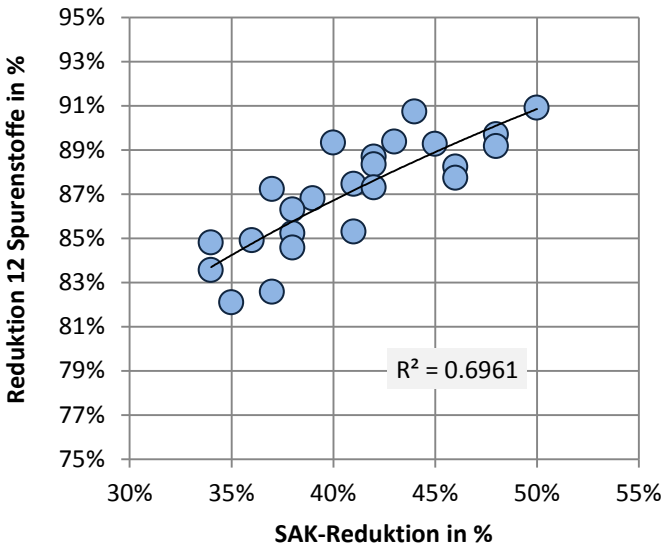
Wird nur die Elimination über die PAK-Stufe betrachtet (Zulauf Kontaktbecken bis Auslauf Filtration), werden ausser für Candesarten Eliminationen über 80 %, für die meisten Stoffe um die 90 % erreicht.



Insgesamt kann also über die Gesamtanlage die von der Verordnung in der Schweiz geforderte Eliminationsleistung von 80 % gut erreicht werden.

SAK:

SAK wird im Auslauf der biologischen Stufe und im Auslauf der Filtration Online gemessen. Alle 5 Tage werden 24-h-Stunden-Proben gemessen, zusätzlich auch im Ablauf der PAK-Absetzbecken. Die Online-Messungen liefern einen zuverlässigen Anhaltspunkt zur aktuellen Eliminationsleistung für organische Spurenstoffe. Die im Labor gemessenen Werte korrelieren gut mit den ermittelten Eliminationsleistungen für die 12 Spurenstoffe.



Bereits eine Reduktion der SAK-Werte um 35 % reicht, um eine Elimination der Spurenstoffe um 80 % erreichen zu können. Da wir die PAK-Anlage nur mit max. 800 L/s beschicken, der Durchfluss durch die Biologie bei Starkregen aber bei 1‘350 L/s liegen kann, ist bei Regen ein Bypass der PAK-Stufe erforderlich. Um trotzdem auf die geforderten 80 % Eliminationsleistung zu kommen, streben wir für die SAK-Reduktion Werte um 40 % an.

CSB und abfiltrierbare Stoffe / gesamte ungelöste Stoffe GUS:

Der gelöste CSB wird zwischen Auslauf Nachklärung der biologischen Stufe und Ablauf Filtration um 31 % reduziert (von im Mittel 18.8 mg/L auf 13.0 mg/L). Die ungelösten Stoffe sind bereits im Auslauf der Nachklärung mit 1.6 mg/L sehr tief. Nach der Filtration liegt die mittlere Konzentration bei 0.6 mg/L.

Da vor allem der Raumfilter noch eine biologisch aktive Schicht aufweist, werden die Ammonium- und Nitritwerte als Nebeneffekt um 40 bzw. 60 % reduziert.

Fazit

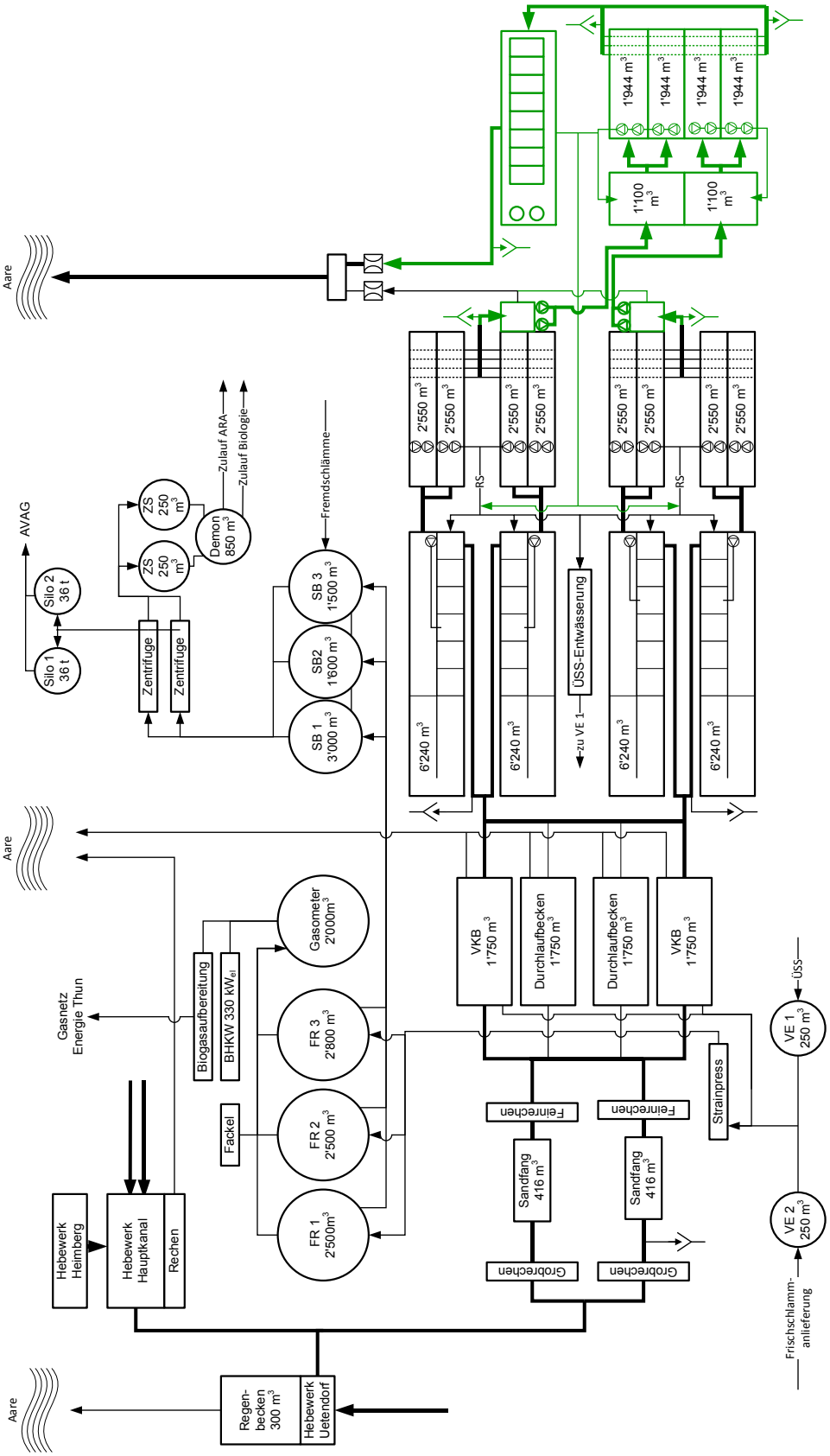
Die Inbetriebsetzung der neuen Anlage zur Elimination von organischen Spurenstoffen und der Leistungsnachweis über das erste Betriebsjahr sind erfolgreich verlaufen. Zu optimieren bleiben:

- die Fe^{3+}-Dosierung in Abhängigkeit der Phosphorkonzentrationen im Zulauf zur PAK-Anlage;
- die Anpassung der PAK-Dosierung an die Qualität der eingesetzten PAK und die jeweilige Leistung der biologischen Stufe, insbesondere an die jahreszeitlichen Schwankungen.

Weiter gilt es abzuklären, weshalb für einige organische Spurenstoffe im Auslauf der biologischen Stufe oft höhere Frachten gemessen werden als im Zulauf zur Anlage.

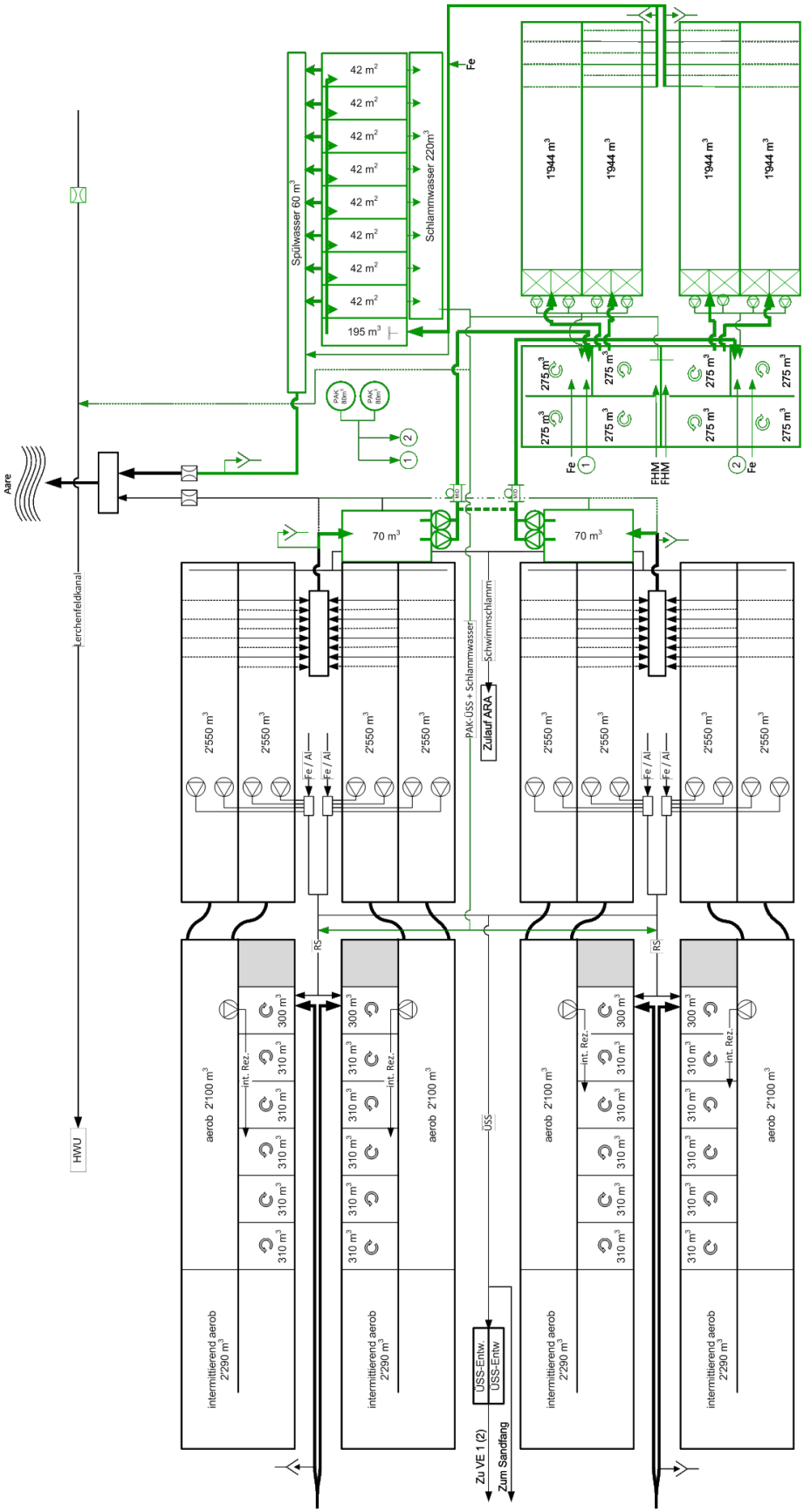
Anhang 1

Übersicht über die gesamte Anlage; grün neu erstellte PAK-Anlage



Anhang 2

Detailschema Biologie und grün neu erstellte PAK-Anlage



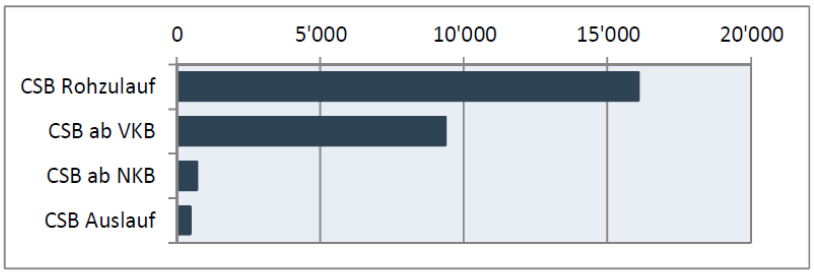
Anhang 3

Gesamtleistung der ARA Thunersee 1. Juli 2018 bis 30. Juni 2019

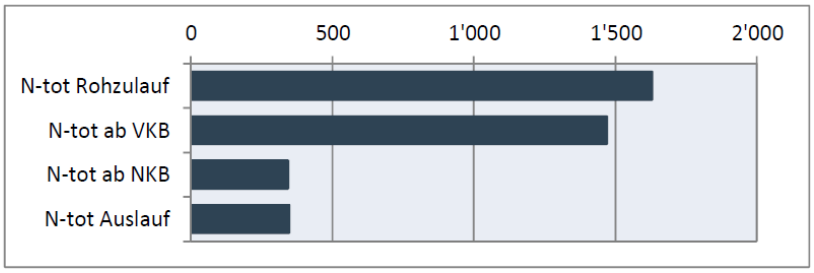
Auslaufkonzentrationen und Grenzwerteinhaltung								
Angaben in mg / l	CSB-tot	CSB-gel	GUS	NH4-N	NO2-N	NO3-N	N-tot	P-tot
Mittelwert	14	13	0.67	0.24	0.04	8.08	9.98	0.16
90%-Wert	17	16	1.42	0.47	0.16	10.64	12.96	0.31
Maximalwert	24	23	2.91	1.91	0.76	12.83	15.26	0.73
					grösstes 30-Tagemittel			0.42
Grenzwert 90%	**35**	**30**	**5**	**2**	**0.3**	**Jahresmittel P-tot**		**0.50**
Höchstwert	**75**	**45**	**30**		**grösstes Monatsmittel P-tot**			**0.80**

Frachten und Eliminationsleistungen

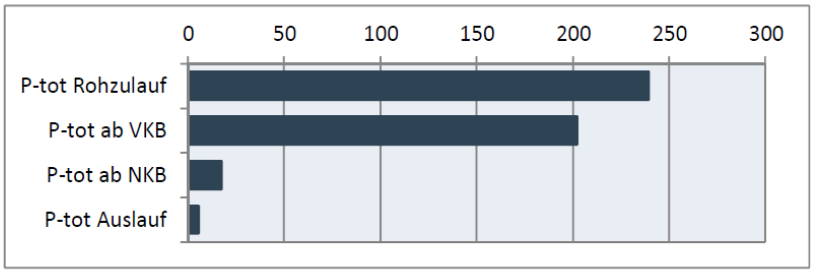
CSB Rohzulauf	16'096
CSB ab VKB	9'384
CSB ab NKB	719
CSB Auslauf	498
Elimination VKB	41.7%
Elimination Biologie	53.8%
Elimination PAK	1.4%
CSB-Elimination	**96.9%**
gefordert	**85%**



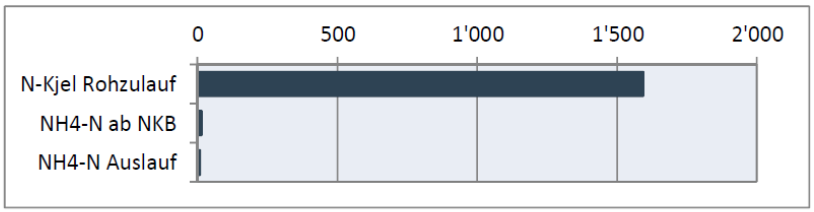
N-tot Rohzulauf	1'631
N-tot ab VKB	1'471
N-tot ab NKB	345
N-tot Auslauf	348
Elimination VKB	9.8%
Elimination Biologie	68.8%
Elimination PAK	-0.2%
N-Elimination	**78.7%**
gefordert	**60%**



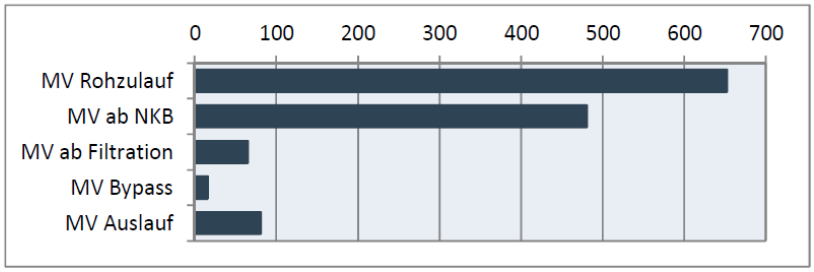
P-tot Rohzulauf	240
P-tot ab VKB	202
P-tot ab NKB	17.6
P-tot Auslauf	5.8
Elimination VKB	15.5%
Elimination Biologie	82.1%
Elimination PAK	4.9%
P-Elimination	**97.6%**
gefordert	**90%**



N-Kjel Rohzulauf	1'595
NH4-N ab NKB	15.2
NH4-N Auslauf	9.5
Nitrifikation	**99.4%**
gefordert	**90%**
N-Kjel = N-tot - NO3-N	

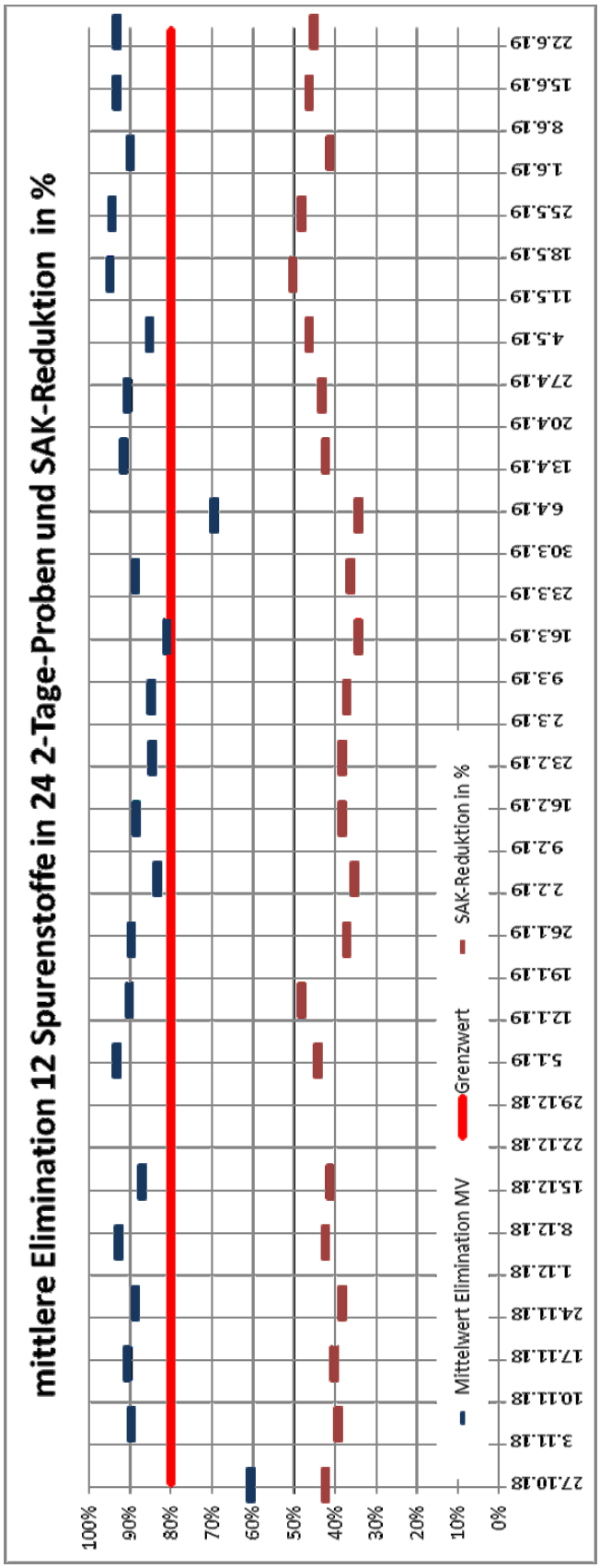


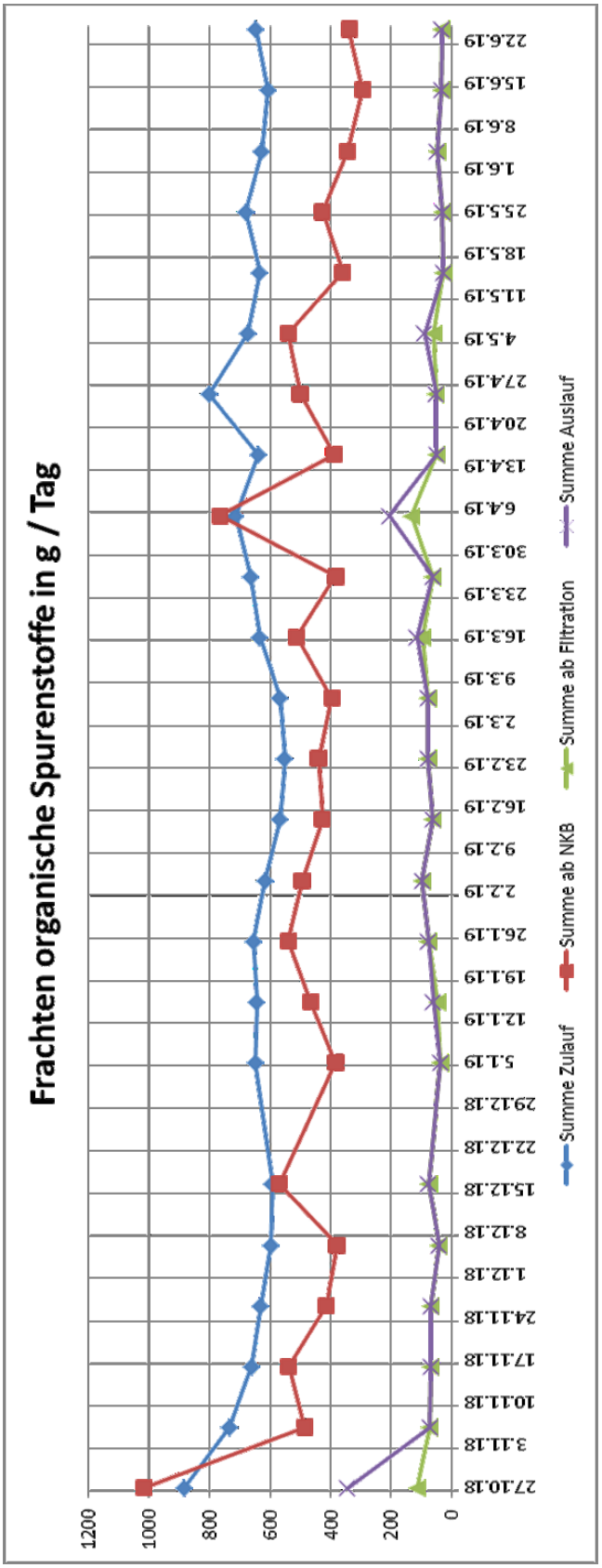
MV Rohzulauf	653
MV ab NKB	481
MV ab Filtration	65.3
MV Bypass	16.1
MV Auslauf	81.4
Elimination Biologie	26.3%
Elimination gesamt	**87.5%**
gefordert	**80%**



Anhang 4

Elimination in % für die 12 relevanten Spurenstoffe in den 24 2-Tage-Proben des 1. Betriebsjahres



Anhang 5

Frachten der 12 relevanten Spurenstoffe in den 24 2-Tage-Proben des 1. Betriebsjahres im Rohzulauf, nach der biologischen Reinigung, im Auslauf der Filtration und im Auslauf der Anlage inkl. Bypass.